



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad

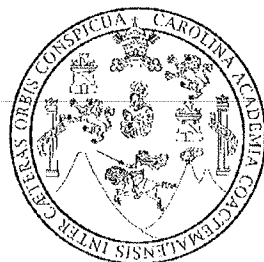
## **MODELACIÓN Y PROSPECCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN UNA CUENCA URBANA: ESTUDIO DE CASO CIUDAD GUATEMALA**

**Presentado por: Msc. Ing. Leonel Ignacio de la Paz Gallardo**

Asesorado por: Ing. Agr. Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**MODELACIÓN Y PROSPECCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN UNA  
CUENCA URBANA: ESTUDIO DE CASO CIUDAD GUATEMALA**

TRABAJO DE TESIS

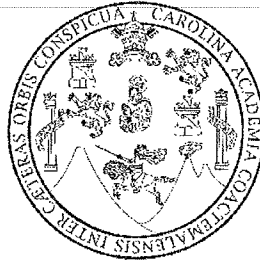
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**MSc. INGENIERO QUIMICO LEONEL IGNACIO DE LA PAZ GALLARDO**  
ASESORADO POR EL DOCTOR MARVIN ROBERTO SALGUERO BARAHONA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS EN CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2018.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS**

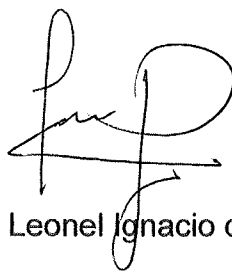
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR(A)	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR(A)	Dr. Alfredo Salvador Gálvez Sinibaldi
EXAMINADOR(A)	Dra. Rosa María Amaya Fabián
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado

**MODELACIÓN Y PROSPECCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN  
UNA CUENCA URBANA: ESTUDIO DE CASO CIUDAD GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado y que pertenece a línea de investigación de Gestión de recursos Hídricos con fecha 11 de octubre del 2014



Maestro en Energía y Ambiente Leonel Ignacio de la Paz Gallardo

## DEDICATORIA

**A:**

### **DIOS**

Nuestro Omnipotente creador del universo por darme la vida y el momento de alcanzar tan grande logro.

### **MIS PADRES**

Carlos Enrique de la Paz y Zoila Catalina Gallardo (QEPD) como un reconocimiento a sus esfuerzos que Dios los bendiga eternamente.

### **MIS HIJOS**

Bianka Valesska, Krista Sofía y María Cristina por su valioso apoyo paciencia y sacrificio

### **MI ESPOSA**

Por su aliento apoyo y entrega durante todo el tiempo que duro esta aventura.

### **MIS AMIGOS**

Mto. Zenón Much, Mto. Fredy Rodríguez Mto. Dennis Argueta Mto. Aníbal Chicojay como momentos inolvidables de grandes esfuerzos y de alegría

**LA FACULTAD DE INGENIERIA COMO MI SEGUNDA CASA.**

**LA TRICENTENARIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**MI PATRIA GUATEMALA**

## **AGRADECIMIENTOS**

---

### **A MI ASESOR:**

Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona,

Por compartir sus conocimientos, paciencia y amistad a lo largo de la asesoría.

### **A LOS CATEDRATICOS DEL DOCTORADO EN CAMBIO CLIMATICO Y SOSTENIBILIDAD.**

Por su paciencia entrega y entusiasmo en esforzarse por dar su amistad, apoyo y todos los conocimientos brindados durante mi formación profesional

### **MUY ESPECIALMENTE**

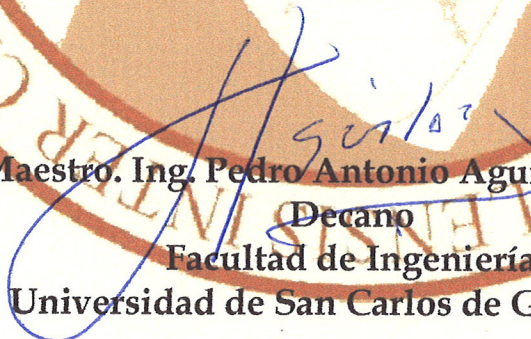
A la coordinadora del Programa Doctoral por confiar en mi y darme la oportunidad de hacer realidad este logro al elegirme como candidato de este Programa Doctoral como lo fue la Dra. Mayra Virginia Castillo Montes

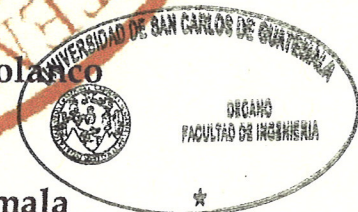
Ref. APTD-2018-002

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado a la Tesis Doctoral en Cambio Climático y Sostenibilidad titulado: **"MODELACIÓN Y PROSPECCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN UNA CUENCA URBANA: ESTUDIO DE CASO CIUDAD GUATEMALA"** presentado por el Maestro en Energía y Ambiente Leonel Ignacio de la Paz Gallardo procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2018.

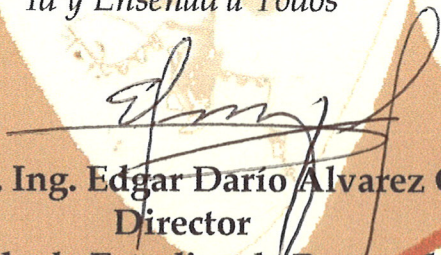
Cc: archivo/L.Z.L.A.

Ref. APTD-2018-002

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística de la Tesis Doctoral titulado **"MODELACIÓN Y PROSPECCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN UNA CUENCA URBANA: ESTUDIO DE CASO CIUDAD GUATEMALA"** presentado por el Maestro en Energía y Ambiente Leonel Ignacio de la Paz Gallardo, correspondiente al programa de Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

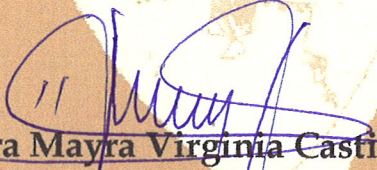


Ref. APTD-2018-002

Como Coordinadora del Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad doy el aval correspondiente para la aprobación de la Tesis Doctoral titulada **"MODELACIÓN Y PROSPECCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN UNA CUENCA URBANA: ESTUDIO DE CASO CIUDAD GUATEMALA"** presentado por el Maestro en Energía y Ambiente **Leonel Ignacio de la Paz Gallardo**.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
**Doctora Mayra Virginia Castillo Montes**  
**Coordinadora de Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**



Guatemala, noviembre de 2018.


Cc: archivo/L.Z.L.A.

Ref. APTD-2018-002

En mi calidad como Asesor del Maestro en Energía y Ambiente **Leonel Ignacio de la Paz Gallardo** doy el aval correspondiente para la aprobación de la Tesis Doctoral titulada **"MODELACIÓN Y PROSPECCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD HÍDRICA EN UNA CUENCA URBANA: ESTUDIO DE CASO CIUDAD GUATEMALA"** quien se encuentra en el programa de Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*



**Doctor Marvin Roberto Salguero Barahona**  
**Asesor(a)**  
**Doctor en Gestión del Agua**

Guatemala, noviembre de 2018.

Cc: archivo/LZLA.

## ÍNDICE GENERAL

Índice de ilustraciones	VII
Índice de tablas	XIV
Índice de acrónimos	XXII
Resumen	XXIII
Planteamiento del problema	XXV
Formulación de preguntas orientadoras	XXVII
Objetivo general y específicos	XXVIII
Justificación	XXIX
Hipótesis de investigación	XXXII
Introducción	XXXIII

### CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1	La sostenibilidad y los recursos naturales	1
	1.1.1 Reseña histórica de la sostenibilidad	6
	1.1.2 Ejes de la sostenibilidad	6
1.2	El estado de los recursos hídricos en el mundo	11
	1.2.1 Los recursos hídricos	11
	1.2.2 Inventario hídrico mundial	13
	1.2.3 Distribución del agua en el mundo	14
	1.2.4 Principales usos del agua	20
	1.2.5 La demanda del agua	23
1.3	El estado de los recursos hídricos en Guatemala	28
	1.3.1 Disponibilidad de recursos hídricos	28
	1.3.2 Usos y aprovechamientos del agua en Guatemala	30
	1.3.3 Principales problemas del agua en Guatemala	33
	1.3.4 Relación de los recursos hídricos con el cambio climático	35
	1.3.5 Relación de los recursos hídricos con la pobreza	38

1.3.6	Relación de los recursos hídricos con la educación	39
1.3.7	Relación de los recursos hídricos con la salud	40
1.3.8	Marco legal de los recursos hídricos en Guatemala	42
1.3.9	Soluciones recomendadas a los problemas del agua	44
1.4	Situación de los recursos hídricos en la Ciudad Guatemala	46
1.4.1	Estudios realizados sobre agua en Ciudad Guatemala	51
1.5	Análisis prospectivo	53
1.5.1	Características de los Estudios prospectivos	58
1.5.2	Los estudios prospectivos en los recursos hídricos	60
1.5.3	Métodos utilizados en los estudios prospectivos	61
1.5.4	Construcción de escenarios	65
1.6	El Fenómeno de estudio	69
1.6.1	El estrés hídrico	69
1.6.2	Evolución del estrés hídrico	70
1.6.3	Determinación del estrés hídrico	74
1.6.3.1	Índice social de estrés hídrico (ISEH)	74
1.6.4	Sostenibilidad hídrica	82
1.6.5	Metodologías para evaluar la sostenibilidad hídrica	86

## CAPÍTULO 2 MARCO METODOLÓGICO

2.1	Propuesta de metodología a utilizar (Estado del arte)	91
2.1.1	Las fases de análisis	97
2.1.2	Diagnóstico integral	106
2.1.3	Diferentes enfoques del futuro	109
2.1.4	Propuesta metodológica (Aporte Científico)	110
2.2	Las entrevistas a expertos	112
2.2.1	La definición de un experto	112
2.2.2	La selección de expertos	112
2.2.3	Diseño del cuestionario	114

2.3	Objeto de estudio a investigar	118
2.3.1	La zona de análisis	119
2.3.2	Población base	122
2.3.3	Actividad económica	123
2.3.4	Demanda hídrica	123
2.3.5	Oferta hídrica para la zona de estudio	125
2.3.6	Visita de campo	130
2.3.6.1	Planta El Cambray y Bombeo Hincapié	131
2.3.6.2	Estación de bombeo Hincapié	134
2.3.6.3	Planta Ojo de Agua	134
2.3.6.4	Sistema Xayá Pixcayá	135
2.3.6.5	Planta Lo de Coy	136
2.4	Las encuestas de evaluación del servicio	142
2.4.1	El diseño	142
2.4.2	La muestra representativa	143

### CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE DATOS Y PRUEBAS ESTADÍSTICAS

3.1	Determinación de la población o universo de la muestra	145
3.2	Selección de la muestra	146
3.2.1	Representatividad de la muestra	147
3.3	Unidad de análisis	147
3.4	Instrumentos de medición	148
3.4.1	Validez de los instrumentos	148
3.5	Variables dependientes	150
3.5.1	El PIB	150
3.5.2	IDH Índice de desarrollo humano	153
3.5.3	IESH (índice estrés social hídrico)	156
3.6	Variables independientes	157
3.7	Propuesta de modelos y pruebas estadísticas	157

3.7.1	Regresión múltiple	158
3.7.1.1	Estadística inferencial	163
3.7.1.2	Análisis de confiabilidad	165
3.7.1.3	Estimaciones de errores	166
3.7.2	El software Eureka	170
3.7.3	Diseño del modelo propuesto	170
3.7.3.1	La red conceptual múltiple	172
3.7.3.2	Los criterios de sostenibilidad	173
3.7.3.3	Funcionamiento de la cuenca urbana	174
3.7.3.4	Balance hídrico de la cuenca	175

#### CAPÍTULO 4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Los actores clave	191
4.2	Las variables claves	191
4.3	Recolección de datos	192
4.4	Índice de demanda de agua	203
4.5	Índice de oferta de agua	261
4.6	Índice de criterios de sostenibilidad hídrica (ISH)	274
4.6.1	Índice de criterio ambiental 1 $f$ (CA1)	274
4.6.2	Índice de criterio ambiental 2 $f$ (CA2)	297
4.6.3	Índice de criterio ambiental 3 $f$ (CA3)	312
4.6.4	Índice total de la componente ambiental $f$ (CA1, CA2, CA3)	324
4.6.5	Índice de criterio económico 1 $f$ (CE1)	328
4.6.6	Índice de criterio económico 2 $f$ (CE2)	366
4.6.7	Índice de criterio económico 3 $f$ (CE3)	373
4.6.8	Índice total de la componente económica $f$ (CE1, CE2, CE3)	375
4.6.9	Índice del criterio social 1 $f$ (CS1)	385
4.6.10	Índice del criterio social 2 $f$ (CS2)	400
4.6.11	Índice total de la componente social $f$ (CS1, CS2)	407

4.7	Modelo matemático del índice de sostenibilidad hídrica	412
4.8	Propuesta de escenarios	417
4.8.1	Escenario Tendencia	418
4.8.2	Escenario pesimista	429
4.8.3	Escenario optimista	431
4.8.4	Escenario Alcanzable o deseado	433
CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN		
5.1	Los actores claves	437
5.2	Las variables claves	437
5.3	Recolección de datos	437
5.4	Índice de demanda de agua	439
5.5	Índice de oferta de agua	441
5.6	Discusión de índice de criterios de sostenibilidad hídrica (ISH)	454
5.6.1	Discusión de índice del criterio ambiental 1	456
5.6.2	Discusión de índice del criterio ambiental 2	468
5.6.3	Discusión de índice del criterio ambiental 3	470
5.6.4	Discusión de índice total de la componente ambiental	472
5.6.5	Discusión de índice de criterio económico 1 $f(CE1)$	475
5.6.6	Discusión de índice de criterio económico 2 $f(CE2)$	483
5.6.7	Discusión de índice de criterio económico 3 $f(CE3)$	485
5.6.8	Discusión de índice total componente económica	488
5.6.9	Discusión de índice de criterio social 1 $f(CS1)$	492
5.6.10	Discusión de índice de criterio social 2 $f(CS2)$	498
5.6.11	Discusión de índice total de la componente social	500
5.7	Modelo matemático del índice de sostenibilidad hídrica	501
5.8	Propuesta de escenarios	504

CONCLUSIONES	507
RECOMENDACIONES	509
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	511
ANEXOS	
Anexo 1      Boleta de evaluación del servicio	525
Anexo 2      Boleta de selección de un experto	526
Anexo 3      Guía de preguntas clave para entrevista a profundidad	527



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

No.	Descripción	pagina
1	Componentes del desarrollo sostenible	8
2	Extracción de agua por sectores y por región	21
3	Total de recursos renovables de agua anuales	24
4	Total de recursos renovables de agua anuales per cápita	24
5	Cronología del crecimiento demográfico del mundo	26
6	Distribución temporal de la población mundial	26
7	Pronostico de la disponibilidad de recursos hídricos per cápita	28
8	Descripción, factura de cobro de agua	48
9	Usos del agua en ciudad Guatemala	51
10	Metodología de la prospectiva estratégica	60
11	Diagrama mundial de escasez de agua	71
12	Índice de Pobreza del agua	79
13	Ciclo integral del agua en una cuenca urbana	84
14	Modelo para cuantificar la sostenibilidad hídrica con una RCM	87
15	Esquema de las principales metodologías para evaluar SH	96
16	Diseño de una matriz FODA	100
17	Componentes de un sistema de sostenibilidad hídrica	101
18	Fases del análisis prospectivo de la sostenibilidad hídrica	106
19	Esquematzación de los diferentes escenarios del futuro	109
20	Metodologías para la sostenibilidad hídrica	111
21	Boleta de evaluación de experto	113
22	Mapa de la ciudad de Guatemala	119
23	Ubicación de la ciudad en el departamento de Guatemala	120
24	Distribución de zonas en cuenca sur de Guatemala	120

25	Impactos hídricos de la cuenca sur de Guatemala	121
26	Hidrografía de la cuenca urbana de la ciudad de Guatemala	121
27	Ubicación de la planta El Cambray	133
28	Ubicación aérea 1 de la planta El Cambray	133
29	Ubicación aérea 2 de la planta El Cambray	134
30	Represa el Tesoro	136
31	Plano de ubicación de planta Lo de Coy	137
32	Propuesta de Red Conceptual Multinivel (RCM) para modelar	173
33	Análisis del ciclo actual del agua en la cuenca Urbana.	174
34	Actores claves	191
35	Variables claves	191
36	Jerarquías de las necesidades del agua	200
37	Proporción de agua en el cuerpo	202
38	Consumo del agua en el hogar	202
39	Requerimientos mínimos medios de agua en ciudad	204
40	Proyección de la demanda de agua operada por EMPAGUA	205
41	Requerimientos mínimos medios de agua utilizada por EMPAGUA	207
42	Volúmenes de agua por vertiente al 2016	215
43	Estimaciones del balance hídrico 2016	216
44	Tendencia de la demanda de agua de toda la ciudad	247
45	Tendencia de la demanda de agua de toda la zona de estudio	249
46	Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 11	251
47	Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 12	253
48	Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 13	255
49	Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 14	257
50	Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 21	259

51	Tendencia del suministro de agua de la zona de estudio	263
52	Tendencia del suministro de agua de la zona 11	265
53	Tendencia del suministro de agua de la zona 12	267
54	Tendencia del suministro de agua de la zona 13	269
55	Tendencia del suministro de agua de la zona 14	271
56	Tendencia del suministro de agua de la zona 21	273
57	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la ciudad Guatemala	277
58	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona de estudio	280
59	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 11	283
60	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 12	286
61	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 13	289
62	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 14	292
63	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 21	295
64	Trayectoria de temperatura media de los meses	302
65	Trayectoria de temperatura media de los meses	303
66	Comportamiento de la temperatura media interanual en °C	304
67	Evolución de la anomalía de temperatura media mensual	306
68	Evolución de la persistencia de anomalía de la temperatura	308
69	Tendencia del ISH con dos componentes ambientales	311
70	Tendencia del agua residual en ciudad Guatemala	315
71	Ciclo integral del agua en una cuenca urbana	318
72	Asolvamiento del lago de Amatitlán	319
73	Descarga agua residual	320
74	ISH del agua residual en la zona de estudio	320
75	ISH con todas las componentes ambientales	325
76	Tendencia de la sostenibilidad hídrica ambiental	326

77	Linealidad del modelo	326
78	Curva ajustada del modelo propuesto	327
79	Ajuste del modelo propuesto	328
80	Criterio de sostenibilidad económica	329
81	Tendencia de los usuarios de EMPAGUA al 2030	334
82	Usuarios registrados de EMPAGUA	337
83	Total de usuarios del servicio de agua por EMPAGUA	337
84	Tendencia de los usuarios en los asentamientos	339
85	Autorización cobro alcantarillado	350
86	Trayectoria de la sostenibilidad económica 1	362
87	Trayectoria de la sostenibilidad económica 2	371
88	Trayectoria de la sostenibilidad económica 3	374
89	Ajuste del modelo entre datos observados y modelados	375
90	Trayectoria del caudal subterráneo extraído en ciudad	377
91	Tendencia de la extracción de agua por sector	379
92	Tendencia del costo de extracción de agua por sector	382
93	Tendencia de sostenibilidad hídrica económicas	384
94	Resumen condensado de la pregunta 1 de la encuesta	390
95	Resumen condensado de la pregunta 2 de la encuesta	390
96	Resumen condensado de la pregunta 3 de la encuesta	391
97	Resumen condensado de la pregunta 4 de la encuesta	391
98	Resumen condensado de la pregunta 5 de la encuesta	392
99	Resumen condensado de la pregunta 6 de la encuesta	392
100	Resumen condensado de la pregunta 7 de la encuesta	393
101	Resumen condensado de la pregunta 8 de la encuesta	393
102	Resumen condensado de la pregunta 9 de la encuesta	394

103	Resumen condensado de la pregunta 10 de la encuesta	394
104	Indicador de sostenibilidad social por zona	398
105	Ajuste de los datos observados y pronosticados	404
106	Tendencia del indicador de estrés social hídrico	405
107	Comparación de tendencia indicador de estrés social hídrico	405
108	Comparación de tendencia indicador de estrés social hídrico	406
109	Valoración del modelo entre datos observados y pronosticados	411
110	Trayectoria de la tendencia de las dos componentes sociales	412
111	Nivel de ajuste de modelo entre datos observados y pronosticados	416
112	Trayectoria del índice de sostenibilidad hídrica total	417
113	Trayectoria del escenario tendencia del ISH	418
114	Requerimientos mínimos medios de agua en zona de estudio	419
115	Proyección de la demanda de agua en la zona de estudio	419
116	Crecimiento de la población de Guatemala	420
117	Comparativo de la tendencia días de lluvia en verano	421
118	Comparativo de la tendencia días de lluvia en invierno	422
119	Trayectoria de la lluvia media mensual acumulada	423
120	Trayectoria de la lluvia mensual acumulada cada mes	424
121	Trayectoria de la lluvia media anual acumulada	425
122	Anomalía de lluvia anual acumulada	426
123	Proyección del suministro de agua en toda la ciudad	427
124	Proyección del suministro de agua subterránea en la ciudad	428
125	Tendencia del crecimiento de la población	428
126	Trayectoria del escenario pesimista comparado con el tendencia	429
127	Trayectoria del escenario optimista comparado con el tendencia	431
128	Trayectoria del escenario alcanzable comparado con el tendencia	433

129	Resumen de los posibles escenarios del ISH	436
130	Tendencia de usuarios de EMPAGUA al 2030	444
131	Tendencia de los usuarios en los asentamientos	447
132	Contribución por planta al sistema ciudad Guatemala	449
133	Extracción de agua por tipo de fuente durante el año 2009	450
134	Tendencia del suministro de agua en toda la ciudad	453
135	Tendencia de la extracción de agua en toda la ciudad	453
136	Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona de estudio	459
137	Tendencia de la extracción de agua en toda la ciudad	461
138	Volúmenes de agua subterránea extraídos por sector	462
139	Descenso de niveles en pozos de EMPAGUA zona norte	464
140	Crecimiento de la región metropolitana en Guatemala	466
141	Balance hídrico en % en la cuenca urbana	467
142	Tendencia de las aguas residuales en ciudad Guatemala	471
143	ISH de agua residual en la zona de estudio	472
144	Curva ajustada del propuesto	473
145	Ajuste del modelo propuesto para 3 componentes ambientales	474
146	ISH con todas las componentes ambientales	474
147	Tendencia de los usuarios de EMPAGUA al 2030	476
148	Producción mensual de EMPAGUA	477
149	Tendencia de la extracción de agua subterránea	478
150	Trayectoria del costo de producción y precio de venta	478
151	Trayectoria de la sostenibilidad hídrica económica F (CE1)	481
152	Trayectoria de la sostenibilidad económica del sector privado	483
153	Trayectoria de la sostenibilidad económica 3	486
154	Trayectoria del caudal subterráneo extraído en ciudad	489
155	Tendencia de la sostenibilidad hídrica económicas	491
156	Indicador de sostenibilidad social por zona	494

157	Comparación de tendencia del indicador de estrés social hídrico	498
158	Comparación de tendencia del indicador de estrés social hídrico	499
159	Trayectoria de la tendencia de las dos componentes sociales	501
160	Nivel de ajuste de modelo entre datos observados y pronosticados	503
161	Trayectoria del índice de sostenibilidad hídrica	503
162	Resumen de los posibles escenarios del ISH	505

## ÍNDICE DE TABLAS

No.	Descripción	pagina
1	Caudales de agua por regiones climáticas	15
2	Extracción de agua subterránea al 2010	22
3	Estimación de suministro renovable del agua al 2005	25
4	Usos del agua en Guatemala	30
5	Distribución del agua en ciudad Guatemala	47
6	Tarifas vigentes de agua	49
7	Preguntas básicas de un estudio prospectivo	109
8	Habitantes por zonas a las que distribuye agua potable	127
9	Crecimiento de la población del año 2002 al año 2010	129
10	Consumo de agua por sector al día durante el año 2007	129
11	Distribución del agua que abastece las zonas de estudio	131
12	Caudales de abastecimiento de la ciudad de Guatemala	135
13	Significancia estadística	149
14	Serie histórica del PIB expresado en varias formas	152
15	Comparación del IDH en diferentes puntos del país	154
16	Estudiantes matriculados por año en Guatemala	155
17	Variables independientes	157
18	Demanda de agua en la zona 11	159
19	Resumen estadístico para el modelo demanda de la zona 11	160
20	Suministro de agua de la zona 11 como promedio mensual en m <sup>3</sup>	161
21	Resumen estadístico para modelo suministro de agua de la z 11	162
22	Estadística inferencial de la demanda de agua de todas las zonas	163
23	Estadística inferencial del suministro de agua de todas las zonas	164
24	Análisis de confiabilidad de los modelos de demanda de agua	165



25	Análisis de confiabilidad de los modelos de suministro de agua	165
26	Errores típicos en la modelación de la demanda de agua	166
27	Errores típicos en la modelación del suministro de agua	167
28	Errores típicos en la modelación de F (CA1)	168
29	Errores típicos en la modelación de F (CA1) continuación	169
30	Descripción de las relaciones entre los observables del diagrama	175
31	Población base del país depart. Guatemala, ciudad y z. de estudio	192
32	Nivel de empleo por zonas	193
33	Total de trabajadores de patronos activos	194
34	% de visitantes del AMG	195
35	Población Económicamente Activa (PEA)	196
36	Turismo promedio de la ciudad de Guatemala	196
37	Total de consumidores no habitantes del área de estudio	197
38	Requerimientos mínimos de agua	200
39	Requerimientos mínimos de agua según la condición	201
40	Valores medios de demanda de agua en ciudad Guatemala	203
41	Valores medios de demanda de agua usados por EMPAGUA	206
42	Requerimientos de agua en algunas zonas ciudad de Guatemala	208
43	Valores de demanda de agua en zona 11 en L H <sub>2</sub> O / p / día	209
44	Valores de demanda de agua en zona 12 en L H <sub>2</sub> O / p / día	210
45	Valores de demanda de agua en zona 13 en L H <sub>2</sub> O / p / día	211
46	Valores de demanda de agua en zona 14 en L H <sub>2</sub> O / p / día	212
47	Valores de demanda de agua en zona 21 en L H <sub>2</sub> O / p / día	213
48	Valores promedio de demanda de agua en la zona de estudio	214
49	Volumen de agua disponible al 2006	216
50	Total de agua utilizada del balance hídrico nacional	218

51	% de utilización del agua del sector manufactura al 2003	218
52	Distribución del agua por sector a nivel nacional en millones m <sup>3</sup>	219
53	Consumo de agua a nivel nacional por el sector manufactura	220
54	Consumo de agua para uso industrial por departamento	221
55	Consumo de agua en el departamento de Guatemala tipo industria	222
56	Uso Actual y Potencial de agua en Guatemala	223
57	Agua usada en la ciudad por el sector manufactura	224
58	Agua usada por manufactura en las zonas de estudio	226
59	Agua usada en la ciudad por el sector construcción	228
60	Agua usada por la construcción en las zonas de estudio	229
61	Agua usada en ciudad Guatemala por el sector comercio	231
62	Agua usada por el comercio en las zonas de estudio	232
63	Agua usada en ciudad Guatemala por el sector servicios	234
64	Agua usada por el sector servicios en el área de estudio	235
65	Agua usada por el sector privado en la zona 11	237
66	Agua usada por el sector privado en la zona 12	238
67	Agua usada por el sector privado en la zona 13	239
68	Agua usada por el sector privado en la zona 14	240
69	Agua usada por el sector privado en la zona 21	241
70	Agua usada por el sector privado en la zona de estudio	242
71	Agua usada por el sector privado en toda la ciudad	243
72	Resumen de H <sub>2</sub> O para el sector privado promedio mensual	244
73	Demanda promedio mensual de agua de la ciudad	246
74	Demanda promedio mensual de agua de la zona de estudio	248
75	Demanda promedio mensual de agua de la zona 11	250
76	Demanda promedio mensual de agua de la zona 12	252

77	Demanda promedio mensual de agua de la zona 13	254
78	Demanda promedio mensual de agua de la zona 14	256
79	Demanda promedio mensual de agua de la zona 21	258
80	Resumen de los modelos matemáticos de la demanda de agua	260
81	Suministro de agua en ciudad Guatemala	261
82	Suministro de agua en la zona de estudio promedio mensual	262
83	Suministro de agua de la zona 11	264
84	Suministro de agua de la zona 12	266
85	Suministro de agua de la zona 13	268
86	Suministro de agua de la zona 14	270
87	Suministro de agua de la zona 21	272
88	Resumen de los modelos matemáticos del suministro de agua	274
89	ISH de ciudad Guatemala como F (CA1)	276
90	Estadística de regresión para el modelo F(CA1)c	277
91	Análisis de varianza para el modelo F (CA1)c	278
92	Análisis de errores para el modelo F (CA1)c	278
93	ISH de la zona de estudio como F (CA1)	279
94	Estadísticas de regresión del modelo F (CA1)ze	280
95	Análisis de varianza para el modelo F (CA1)ze	281
96	Análisis de errores para el modelo F (CA1)ze	281
97	ISH de la zona 11 como F (CA1)	282
98	Estadística de regresión del modelo F(CA1)z11	283
99	Análisis de varianza para el modelo F (CA1)z11	284
100	Análisis de errores para el modelo F (CA1)z11	284
101	ISH de la zona 12 como F (CA1)	285
102	Estadísticas de regresión del modelo F (CA1) z12	286

103	Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z12	287
104	Análisis de errores para el modelo F (CA1) z12	287
105	ISH de la zona 13 como F (CA1)	288
106	Estadísticas de regresión del modelo F (CA1)z13	289
107	Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z13	290
108	Análisis de errores para el modelo F (CA1) z13	290
109	ISH de la zona 14 como F (CA1)	291
110	Estadísticas de regresión del modelo F (CA1) z14	292
111	Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z14	293
112	Análisis de errores para el modelo F (CA1) z14	293
113	ISH de la zona 21 como F (CA1)	294
114	Estadísticas de regresión del modelo F (CA1) z21	295
115	Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z21	296
116	Análisis de errores para el modelo F (CA1) z21	296
117	Resumen de los modelos matemáticos del indicador F(CA1)T	297
118	Temperatura media diaria del mes de enero F (CA2)	300
119	Temperatura media promedio mensual F (CA2)	301
120	Temperaturas medias interanuales F (CA2)	304
121	Anomalías de temperatura de la ciudad F (CA2)	305
122	Persistencia de anomalías de temperatura F (CA2)	307
123	Factor de demanda de agua F (CA2)	309
124	ISH afectado por dos componentes ambientales F (CA2)	310
125	Contaminantes por cuencas de la ciudad de Guatemala	314
126	Volúmenes de agua residual en ciudad Guatemala	315
127	Volúmenes de agua residual hacia el sector sur de ciudad	316
128	Principales PTAR operadas por AMSA	317

129	Índice de sostenibilidad hídrica de los vertidos de agua residual	321
130	Determinación del índice de sostenibilidad como F (CA3)	323
131	ISH para la zona de estudio como F (CA1, CA2, CA3)	324
132	Agua producida y factura a los usuarios por EMPAGUA	332
133	Tarifas autorizadas del agua	334
134	Evolución de los usuarios registrados de EMPAGUA	335
135	Crecimiento de la población y viviendas en ciudad	336
136	Usuarios especiales de EMPAGUA	336
137	Información de asentamientos en ciudad Guatemala	338
138	Total de usuarios al año 1991	339
139	Producción de agua al año 1991	340
140	Valoración del agua según consumo por EMPAGUA	340
141	Determinación del precio de venta	341
142	Costos de producción y precios de venta	342
143	Tarifas de agua aprobadas en 1,992	343
144	Tarifas de agua aprobadas en 1,994	343
145	Tarifas de agua suspendida en 1,995	343
146	Modificación a las tarifas de agua aprobadas en 1,995	343
147	Tarifas de agua vigentes en 1996	344
148	Tarifas de agua vigentes en 2001	344
149	Tarifas de agua actual y vigente desde el 2003	344
150	Ejecución del presupuesto al año 2006	346
151	Estados financieros de EMPAGUA	346
152	Estados financieros de EMPAGUA	347
153	Costos de operación de EMPAGUA	348
154	Calculo del agua con la tarifa actual	348
155	Principales consumidores de agua de EMPAGUA	349

156	Volumen de agua facturada por EMPAGUA	349
157	Montos facturados del total de ingresos de EMPAGUA	349
158	Tipos de usuarios de EMPAGUA	350
159	Estimaciones de los usuarios de EMPAGUA por sector	351
160	Total de ingresos percibidos por el sector Marginal	352
161	Total de ingresos percibidos por el sector Económico	353
162	Total de ingresos percibidos por el sector normal	354
163	Total de ingresos percibidos por el sector intermedio	355
164	Total de ingresos percibidos por el sector Alto consumo	356
165	Resumen de todos los sectores por rubro de ingresos percibidos	357
166	Promedio mensual de agua real, producida y entregada	358
167	Determinación de la Sostenibilidad hídrica económica 1	359
168	Balance de agua entregada al consumidor final por sector	360
169	Estimaciones del error en la Simulación económica del agua	361
170	Principales variables de la Sostenibilidad hídrica económica	363
171	Principales variables de la Sostenibilidad hídrica económica	364
172	Total de hogares sin cobertura de agua por EMPAGUA 1	368
173	Total de hogares sin cobertura de agua por EMPAGUA 2	369
174	Principales variables que definen la sostenibilidad económica 2	370
175	Resumen estadístico de ajuste del modelo F (CE2)	371
176	Resumen de variables para la modelación de F (CE3)	373
177	Volúmenes de agua extraídos del subsuelo en la cuenca urbana	376
178	Distribución porcentual del agua extraída por sector	378
179	Estadística del precio del agua al año 2014	380
180	Resumen del costo de extracción del agua por sector	381
181	Principales variables para interrelacionar todos los sectores	383
182	Volúmenes de agua contratados por sector	385
183	Parámetros estadísticos de la muestra	388

184	Determinación de boletas a encuestar por zonas de la cuenca sur	388
185	Resumen del número de boletas por zona	389
186	Determinación de boletas a encuestar por zonas de la cuenca sur	389
187	Resumen de la sostenibilidad social hídrica por zonas	397
188	Principales variables para modelar F (CS1)	399
189	Principales variables del estrés social hídrico F (CS2)	403
190	Proyección del F (CS1) en función del estrés hídrico anual	408
191	Relación de variables F (CS1) y F (CS2)	409
192	Datos para modelar interrelación entre F (CS1) y F (CS2)	410
193	variables del modelo propuesto F (CA, CE, CS)	414
194	Variables para generar el modelo matemático F (CA, CE, CS)	415
195	Sistemas de abastecimiento de agua en ciudad Guatemala	446
196	Plantas de tratamiento de agua de EMPAGUA y sus fuentes	448
197	Extracción de agua por fuente al año 2009	449
198	Producción máxima de las plantas de tratamiento al 2009	451
199	Distribución del agua por zonas y plantas en la ciudad	451
200	Resumen de los modelos matemáticos del indicador $F(CA1)T$	458
201	Resumen de los modelos matemáticos del indicador $F(CA1)P$	458
202	Porcentaje de extracción de agua por cuenca	465
203	Historial de las tarifas del agua en ciudad Guatemala	475
204	Costo de un metro cubico de agua en Q./m <sup>3</sup>	479
205	Servicio contratado por EMPAGUA y el usuario	480

## ÍNDICE DE ACRONIMOS

UICN	Unión internacional para la conservación de la naturaleza
DRAE	Diccionario de la real academia española
EPA	Environmental protection agency
CMMAD	Comisión mundial sobre el medio ambiente y desarrollo
ONU	Organización de las naciones unidas.
IDH	Índice de desarrollo humano
PNUD	Programa de las naciones unidas para el desarrollo
UE	Unión europea
DMA	Directiva marco del agua
USA	Estados unidos de América
ISH	índice de sostenibilidad hídrica
CA	Componente ambiental
CE	Componente económica
CS	Componente social
RCM	Red conceptual multinivel
WWAP	Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos
ISH	Índice de Sostenibilidad Hídrica



## RESUMEN

La presente investigación aborda el fenómeno de escasez de agua y busca aproximarse al conocimiento real de la sostenibilidad hídrica en una cuenca urbana, y para tal efecto se hizo por medio de la modelación matemática, tomando un conjunto de variables claves, que fueron definidas por un selecto grupo de expertos, las que definen el comportamiento de la sostenibilidad hídrica de la subcuenca sur de ciudad Guatemala, y permiten estudiar la interrelación entre las dinámicas socioeconómicas y ambientales que repercuten en la gestión del recurso hídrico, ejerciendo presiones y degradándolo y con ello conocer su comportamiento desde el pasado (1977) hasta el presente (2014), la cual ha sido definida por medio de una propuesta metodológica, como un aporte científico.

Debido a que se desea conocer el comportamiento de la sostenibilidad hídrica en un futuro cercano (2030), la metodología que se ha utilizado para el abordaje de esta investigación ha sido la prospectiva, pues es la que mejor define los escenarios del futuro de forma más científica y con ello poder aproximarse al conocimiento de la sostenibilidad hídrica, para que sirva como una herramienta de diagnóstico a decisores y alcaldes se plantean escenarios probables.

Actualmente, la cuenca en estudio está altamente intervenida debido a diversos factores tales como: la alta demanda del sector industrial, la cual no ha podido ser satisfecha por la empresa municipal de agua (EMPAGUA) y en consecuencia ha tenido que perforar pozos, otro factor importante en especial es el antrópico, en donde los procesos urbanísticos no planificados, la ausencia de entidades gubernamentales y la carencia de educación, afectan directamente todos los ámbitos, trayendo repercusiones en el desarrollo socio-ambiental de la misma. Las causas de estos impactos son diversas y por lo tanto se definieron e

integraron en el momento de análisis para proponer líneas de acción que permitan una adecuada gestión del agua.

Se buscó, principalmente, cómo se interrelacionan todas las variables de las componentes ambientales, tratando de exponer la situación real en la que se encuentra la cuenca e identificando los puntos de conflicto que afectan directamente la gestión del agua.

Para ello se definieron varios modelos matemáticos que describen el comportamiento de ocho criterios de sostenibilidad hídrica los cuales fueron generados con información de 37 años (1977 – 2014). Entre ellos se escogieron tres de índole netamente ambiental de los cuales se puede mencionar, la escasez hídrica (fenómeno a estudiar en esta investigación), la contaminación ambiental hacia los cuerpos de agua y un factor de demanda de agua por afectación del calentamiento global en la ciudad; dentro de la componente económica se analizaron también tres criterios que definen que tan sostenible económicamente hablando es la operación de brindar agua a la población, primero, desde el punto de vista público (que tan rentable es la distribución del agua por EMPAGUA), segundo, la iniciativa privada del sector inmobiliario (colonias, condominios, edificios) y tercero el sector privado que utiliza el agua para incorporarlo en la producción; en cuanto al tema social se abordaron dos criterios los cuales fueron: una encuesta de satisfacción del servicio de agua y otra en la que se determinó el índice de estrés social hídrico de cada zona analizada, por último se propone un modelo matemático que integra los ocho criterios anteriores y con ello se logra agrupar a las tres componentes básicas de la sostenibilidad hídrica.

Con el modelo propuesto, ya se puede conocer de dónde se viene, hacia donde va si no se hace nada, hacia donde no se quiere ir, hacia donde se tiene la visión de ir y sobre todo el más importante, hacia donde se puede ir con los actuales recursos, todos ellos definidos en los escenarios futuros al año 2030.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según PNUD, 2006 “La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Cerca de 1,200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1,600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2006, p. 67).

Por lo tanto, “la escasez de agua, es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano” (Índice de Desarrollo Humano [IDH], 2006, 4). Para el caso específico de Guatemala según SEGEPLAN (2006, p. 6) “la oferta total estimada es de 97,120 millones de m<sup>3</sup> de agua al año”. Y la demanda total estimada según esta misma fuente “es de 9,596 millones de m<sup>3</sup>” (SEGEPLAN, 2006, p. 42). Lo anterior indica que hay suficiente agua en Guatemala, pues escasamente se utiliza un 9.88 %, y una disponibilidad per cápita de agua de 8,000 m<sup>3</sup>/hab./año, muy por encima de los 1,000 m<sup>3</sup>/hab./año señalado por la ONU como riesgo hídrico.

Pero a pesar de esa disponibilidad favorable, se puede afirmar que Guatemala está afrontando una escasez hídrica económica, pues a ha sido incapaz de llevar agua a todas sus regiones del país, y además por sus características fisiográficas, su topografía accidentada, sus altas pendientes ocasionan que el agua permanezca poco tiempo en el país antes de que llegue al mar.

La falta de sostenibilidad ambiental, demostrada con importantes cuerpos de agua contaminados tales como el lago de Amatitlán, río Las Vacas, río Motagua, entre algunos y según el Centro de Acción Legal, Ambiental y Social de

Guatemala [CALAS], (2014) el 90 % de ríos y lagos de Guatemala están contaminados, también muy de la mano a este aspecto está la falta de sostenibilidad educativa pues el agua se desperdicia, por malos hábitos de la población, falta de conciencia, todavía se lavan banquetas, automóviles, equipos y pisos en la industria con manguera abierta.

La falta de sostenibilidad legal, al no existir una ley rectora en todo el país que legisle todos los asuntos relacionados al agua, la falta de sostenibilidad gubernamental pues los asuntos relacionados al agua se gestionan de forma insostenible, por lo general todos los problemas de agua se resuelven racionándola y el principal la falta de sostenibilidad económica pues el 95 % de las autoridades municipalidades subsidian el servicio de agua, y por lo general los costos de potabilización, distribución y mantenimiento no son cubiertos por las tarifas impuestas.

Para evaluar la escasez hídrica, se han generado algunos indicadores tales como el índice de pobreza del agua (IPA), o el índice social de estrés hídrico (ISEH), los cuales no consideran los aspectos ambientales, ni económicos, ni aspectos de sostenibilidad gubernamental, que pudieran afectar la disponibilidad del recurso.

Además, dentro la problemática del agua, las soluciones deben ser sostenibles y adaptadas de manera flexible a las circunstancias específicas locales o regionales, y deben relacionar la salud, los medios de sustento, la economía, el mantenimiento de los ecosistemas, el crecimiento demográfico, el estilo de vida, las necesidades y aspiraciones humanas, la explotación y conservación del agua, y otras variables más, las cuales son factibles de agrupar en la sostenibilidad hídrica. A partir de toda esta problemática se plantea el problema central de investigación que se puede resumir en:

**El desconocimiento prospectivo que existe sobre la sostenibilidad real del recurso agua en una cuenca urbana y de cómo poder relacionar las principales variables y actores involucrados que la afectan, identificando las acciones que deberán tomarse para preservar este recurso.**

#### FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Del análisis de la problemática anterior se formula la pregunta central de investigación que es:

**¿Cómo establecer si la sostenibilidad hídrica se ha deteriorado a través del tiempo, sobre una cuenca urbana, donde se ejerce mucha presión sobre el recurso agua y qué podría esperarse en el futuro cercano al año 2030?**

Para orientar el desarrollo de la investigación se plantean algunas preguntas auxiliares que podrán ayudar a alcanzar el objetivo general así:

1. ¿Cuál es la mejor técnica estadístico-matemático que permita valorar, analizar y relacionar la sostenibilidad hídrica desde el periodo retrospectivo hasta el prospectivo?
2. ¿Cómo determinar si la metodología desarrollada para evaluar la sostenibilidad hídrica en la cuenca urbana responde al problema planteado?
3. ¿Cuáles serían los futuros escenarios de la sostenibilidad hídrica en una cuenca urbana al año 2030?

## **Objetivo General**

Modelar y prospectar la sostenibilidad hídrica sobre una cuenca urbana al año 2030, con el propósito de correlacionar, valorar, explicar y ayudar a los decisores y alcaldes a conocer su trayectoria para la toma de decisión más segura sobre recursos hídricos.

Para garantizar la determinación del objetivo general, se plantean a continuación varios objetivos específicos:

## **Objetivos Específicos**

- 1 Desarrollar una metodología que evalúe y explique la sostenibilidad hídrica, combinando las herramientas retrospectivas de la modelación estadístico matemático y las de prospección para proyectarse al 2030.
- 2 Validar la metodología desarrollada ante un estudio de caso en la cuenca hidrográfica del sur de ciudad Guatemala en el pasado y presente, con el modelo propuesto.
- 3 Definir los posibles escenarios actuales y deseados para la sostenibilidad del agua en una cuenca urbana al año 2030 así como sus principales variables y actores, utilizando herramientas prospectivas.

## **Justificación**

Los recursos hídricos, se ven afectados grandemente por el cambio del uso de la tierra, el crecimiento demográfico, el uso irresponsable, la contaminación y la falta de gestión insostenible del Estado, todos estos actores y variables reunidos ha ocasionado en los centros urbanos de población que tengan poco suministro, y hasta escasez de agua (estrés hídrico). Y según el Banco Mundial (1997 p.4). Indica que: “muchos de los países en vías de desarrollo, con economías débiles, altos índices de pobreza y algunos de ellos ricos en recursos naturales, con altas reservas de agua, mantengan por lo general, problemas de escasez de agua.

Atendiendo a una de las líneas de investigación que el programa de doctorado en cambio climático y sostenibilidad a propuesto, como lo es el estudio de gestión integral de recursos hídricos (GIRH) y tomando en cuenta la problemática de cambio climático, se propone la presente investigación que aportara: a la sociedad y principalmente a sus habitantes una herramienta alternativa para evaluar la sostenibilidad hídrica en una cuenca urbana en el futuro cercano, a la economía del país una fuente alternativa de consulta para la toma de decisiones acerca de la sostenibilidad del agua para desarrollar sus actividades productivas, al ambiente un mejor aprovechamiento del recurso con la menor cantidad de impactos y a la ciencia metodológica se le aporta una herramienta más para su utilización.

Este trabajo se ha originado por el desconocimiento prospectivo que existe de la sostenibilidad del recurso agua provocado por la gestión insostenible y otros factores y actores que han derivado en la ausencia de programas enfocados en la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), uno de los principales síntomas experimentados en las cuencas urbanas es la escasez de agua (estrés hídrico)

aunque la región cuente con altas reservas de agua. Es así como este trabajo posee la suficiente importancia, pertinencia y novedad científica la cual se justifica en:

Metodológicamente hablando los estudios prospectivos ha sido poco utilizada en Guatemala y mucho menos para analizar temas ambientales como la sostenibilidad hídrica.

Económicamente ayudará a evidenciar variables claves para disminuir la demanda de agua, con la implementación de medidas de ahorro y reutilización, además el espíritu de esta investigación es generar una herramienta que permita evidenciar escenarios en donde siempre haya agua, en cantidad y calidad, asegurando el abasto para el desempeño de las todas las actividades productivas.

Ambientalmente buscará que en el proceso de explotación o búsqueda de nuevas fuentes de suministro de agua ya sea subterráneo o superficial, se genere la menor cantidad de impactos.

Socialmente y una de las más importantes, buscará evaluar la escasez hídrica en una región de una cuenca urbana en el tiempo, proponiendo como una alternativa de solución, la evaluación de la sostenibilidad del recurso hídrico para mostrar sus variables, actores y escenarios claves en el futuro cercano y que puedan ser fácilmente entendibles, comprendidos y asimilados por los habitantes de la comunidad evaluada y sus decisores.

Es evidente que existen diversos conflictos en la gestión del recurso agua, para conseguirlo se deben integrar todos los factores conductivos determinantes, tales como intereses políticos, el consumo urbano, los requerimientos de la



industria, las actividades agropecuarias, la generación de energía, el uso ambiental, el tratamiento de potabilización y el acondicionamiento de las aguas residuales entre otros, a modo de equilibrar la oferta con la demanda y un suministro equitativo, todo esto relacionado por medio de escenarios que permitan conocer la sostenibilidad hídrica en diferentes periodos de tiempo.

Conscientes de los anterior, se propone este proyecto de investigación titulado “Modelación y Prospección de la Sostenibilidad Hídrica en una Cuenca Urbana: Estudio de caso ciudad Guatemala”.

Del porque elegir una cuenca urbana se sustenta por la razón que es ahí donde se demanda mucha agua para múltiples actividades de la sociedad, además se considera que según la ONU (2010) “proyecta que la población de América Latina y el Caribe para el 2050 del área rural será de un 31.3 %” Entonces las ciudades alcanzaran (68.7 %) y cada vez se verán más presionadas por abastecer de agua a esta población, y conviene por lo tanto comenzar a mejorar el conocimiento técnico de la tan anhelada sostenibilidad hídrica”.

## HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

**“Se considera que los efectos antrópicos como la constante inmigración de las personas a la ciudad y los del cambio climático como la variabilidad en los regímenes de lluvia e incremento de la temperatura del ambiente, son los factores más determinantes y de mayor peso en la modelación de la sostenibilidad hídrica sobre una cuenca urbana de hoy y al 2030”.**

Esta hipótesis, según Hernández et al., (2007 p.17),” surge de una proposición acerca de una eventual relación que se deriva de la experiencia y de la observación de los hechos en la cuenca urbana, y puede plantearse en términos cuantitativos, partiendo de un modelo estadístico que relacione las variables clave de los componentes económicos, sociales y ambientales y el tipo de hipótesis que se está considerando, se les denominan hipótesis correlacionales”.

También esta hipótesis se valida según Walpole et al, (2007, p. 123) “a partir del ajuste de un modelo correlacional, utilizando el análisis de la varianza y como medida de bondad del ajuste puede establecerse el coeficiente de determinación Un hecho observable es la constante inmigración de los jóvenes del área rural, en busca de mejores oportunidades, incrementando la demanda de agua y ejerciendo más presión sobre ese recurso. Aunado a esto los efectos del cambio climático introducen otra varia más a tomar en cuenta.

Pero el principal desafío que enfrentan las autoridades es el desconocimiento de la cantidad de sus recursos hídricos y hasta donde podrían llegar a alcanzarles, con los recursos económicos limitados, necesitan priorizar sus inversiones y para hacerlo buscan tomar sus decisiones sobre seguro, es ahí donde la modelación del objeto de estudio complementadas con las herramientas prospectivas, ayudan a pensar en el futuro, con la mirada puesta en el presente.

## Introducción

Los recursos hídricos en todo el mundo siempre han contribuido a que la sociedad alcance todo su potencial. La ausencia de este recurso representa un obstáculo para la libertad. Por tanto, los recursos hídricos permiten que la sociedad funcione, promueve la actividad productiva y los niveles de salud adecuados.

“La demanda de agua dulce global ha aumentado 35 veces en los últimos 300 años y siguen creciendo” (Jones, et al, 1999, p. 75). En el futuro, el crecimiento demográfico, la riqueza, la actividad industrial y el incremento en el uso de energía conducirán a un creciente estrés hídrico en muchas regiones.

Por qué estudiar la sostenibilidad hídrica nace precisamente porque es una ruta conocida de solución a la problemática del estrés hídrico y tema central de conferencias internacionales organizadas con grupos de expertos, además en este tema se logran agrupar a variables y actores que intervienen en la preservación del recurso hídrico, según Carpenter, (1995,p.50), dice “Para abordar el tema de sostenibilidad se debe contemplar una negociación social entre los sectores público y privado, entre los gobernantes y los consumidores, entre los procesos y las estructuras políticas y de mercado”.

Alberti et al. (1996, p.16) dice “La sostenibilidad es un proceso, no un resultado. Por tanto no es un estado fijado de armonía, sino más bien un proceso de cambio, en el que la explotación de los recursos naturales, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional son hechos con vistas a las necesidades actuales y futuras”

Por último según la directiva marco del agua (2000, p.56), dice “que debe propiciarse una política sostenible del agua fundamentada en la gestión de la demanda (ahorro, reutilización), aplicada a los suministros urbanos y a las

infraestructuras hidráulicas de los municipios”. “La ciudad capital de Guatemala en los últimos 10 años ha tenido un crecimiento de casi el 20 % de su población llegando a alcanzar a los 3.2 millones de habitantes” ” (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2012, p. 4), con una población base de 0.995 millones, lo cual indica que existe una población flotante 2.205 millones, demandando servicios básicos, entre los cuales el recurso agua es uno de mas importantes a contemplar, las autoridades municipales en el afán de suplir estas demandas, se ven cada día más amenazadas en no poder abastecer de este vital liquido a la población y tienden a racionar el agua, que en mucho de los casos no se hace de forma ecuánime, pues algunos sectores son más beneficiados que otros, provocando malestar social.

Esta situación por lo tanto, puede ser considerada como un factor potencial de desorden social, creando conflictos entre los habitantes urbanos y los actores considerados responsables, por lo general las autoridades en los distintos niveles de la administración, pues dentro del núcleo familiar se tienden a generar tensiones por la falta o escasez del agua (estrés hídrico).

Según Kowalczak et al, (2011, p.590) dice que “se supone y espera por los habitantes urbanos, que las autoridades municipales deben proporcionar un suministro de agua, en cantidad y calidad adecuadas, así como protegerlos contra los desastres relacionados con el agua”

Los responsables directos en ciudad Guatemala, de la gestión del recurso hídrico son el Alcalde municipal de turno, la empresa municipalidad de agua llamada EMPAGUA, que se dedica a la (captación, tratamiento, distribución y comercialización), las empresas privadas (colonias, condominios e industria)

Según Andreu, 1993; Azpurua y Gabaldón, 1976; Colom et al, (2010, p.20) “el régimen legal e institucional del agua vigente en Guatemala, se integra por un conjunto de disposiciones dispersas en leyes generales, ordinarias y especiales, emitidas entre el año de 1932 y el año 2010 basadas en principios políticos, económicos, sociales y ambientales diferentes, que no favorecen la gobernanza eficaz del agua pues presentan importantes vacíos, contradicciones, pasajes oscuros y ambigüedades”.

A simple vista existen dos formas de arreglar el problema de escases de agua en la ciudad de Guatemala, la primera es aumentar la oferta, captando más fuentes superficiales por medio de embalses y acueductos ubicados afuera del departamento, tal y como sucediera hace 10 años cuando se intentó traer agua del municipio de San Lucas Sacatepéquez, enfrentando una gran oposición de la población de esa región, y debido a la falta de certeza jurídica y buena dispersión de las autoridades, la comuna metropolitana no ha podido aumentar la oferta de agua de cuencas externas, que hasta el momento ha sido una de tantas dificultades que ha enfrentado.

Como alternativa a esta dificultad el agua de origen subterráneo ha sido la solución, siendo que para el año 1994, según CEPIS/OPS (2002,p.2) “para abastecer a la ciudad se requería de agua superficial en un 60 % y de pozos mecánicos en un 40 %”, mientras que según Municipalidad de Guatemala [MUNIGUATE] (2005, p. 1) al año 2005 “el porcentaje de agua subterránea es de un 60 %” La segunda es mejorar y optimizar la gestión de la demanda por medio del ahorro, reusó y evaluación de la sostenibilidad.

Ante este panorama se visualiza un problema que tiene la característica de agrupar múltiples percepciones de la sociedad que lo padece y nuevas amenazas que el hombre ha ocasionado al ambiente como lo es el cambio climático, todas ellas se pueden resumir en: El desconocimiento

prospectivo de la situación real e integral que presenta el recurso agua en una cuenca urbana y de cómo poder relacionar las principales variables y actores involucrados que afectan su sostenibilidad.

Para establecer qué relación tienen los recursos hídricos con el cambio climático se analizan los pronósticos del [IPCC] (2013, p. 43) en el Quinto Informe de Evaluación -AR5- indicando que:

En relación con la variabilidad interna natural, se prevé que los aumentos a corto plazo en las temperaturas medias estacionales y anuales serán mayores en los trópicos y sub-trópicos que en las latitudes medias (nivel de confianza alto), específicamente para la región de Centro América el cambio en la temperatura media global en la superficie para el período 2016-2035, en relación con el período 1986-2005, esté en el rango de 0,3 a 0,7 grados centígrados (nivel de confianza medio). Esa evaluación se basa en varias líneas de evidencia y en el supuesto de que no se producirán erupciones volcánicas importantes ni alteraciones persistentes en la irradiación solar total. En cuanto a la precipitación se estiman incrementos de los periodos de sequía y por lo tanto incremento del estrés hídrico.

Dicho de otra manera al incrementarse la temperatura media global, también se incrementara la evapotranspiración y al realizarse los balances hídricos el resultado final será, de una disminución del agua a disposición de la sociedad, pronosticándose un incremento en el estrés hídrico.

Según las estadísticas de los últimos cinco años del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [INSIVUMEH] (2009, p. 12) dicen “cae más lluvia por cada vez que llueve, ocasionado un incremento en la escorrentía total, en la calles, drenajes y ríos, y menor tiempo para la infiltración

de agua hacia los mantos freáticos, repercutiendo en menos recarga de los acuíferos subterráneos” adicionalmente según EMPAGUA (2010) dice “el agua que abastece a la ciudad de Guatemala correspondía al 63 % de origen subterránea (INSIVUMEH, 2009, p.23), esto explicaría por qué cada año se perforan más profundos los pozos para extraer agua, más todas las secuelas que dejan las inundaciones, y riesgos hacia las personas.

Para tomar en cuenta los pronósticos del IPCC 2013 se tiene considerado introducir estas condiciones en los diferentes escenarios de los posibles futuros que se analizarán al 2030, en el presente estudio de la sostenibilidad hídrica en una cuenca urbana.

En la búsqueda de conocimiento que relacione el problema planteado anteriormente y las soluciones sostenibles se centra el siguiente trabajo, el cual se desarrollará en los siguientes capítulos:

El Capítulo I, titulado Marco Teórico, presenta una síntesis crítica del estado del conocimiento sobre la sostenibilidad, sus conceptos, una reseña historia, los ejes principales, la sostenibilidad hídrica, cómo se mide y se hace énfasis en los principios de Dublín. A continuación se expone el estado actual del agua en el mundo, posteriormente, se hará una revisión, de Guatemala para observar tendencias y la última a nivel sector ciudad Guatemala como objeto de estudio, en todas las escalas se observará su interrelación en aras del objetivo común.

En el Capítulo II se caracterizará la escasez de agua y la metodología a utilizar, definiendo la sostenibilidad hídrica y planteando la metodología prospectiva para evaluarla, proponiendo la novedad científica. Se expondrán además los criterios de las metodologías para el cálculo de sus variables y sus

correspondientes indicadores como la huella hídrica, IDH y otras. En esta síntesis se analizarán los elementos más relevantes de las metodologías en lo referente a los aspectos conceptuales y su aplicación fundamentalmente, además de la entidad objeto de estudio de la investigación.

En Capítulo III se desarrollarán las metodologías propuestas, se discutirán los resultados para descubrir, analizar y evaluar los mejores escenarios, describiendo las principales causas que podían originar tales efectos desde el escenario actual con un enfoque sostenible.

El Capítulo IV contiene las tablas de Resultados Mientras el Capítulo V desarrolla el análisis y discusión de resultados. Concluye el trabajo con la presentación de las Conclusiones y Recomendaciones.



## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se revisa la base conceptual necesaria para comprender que es la sostenibilidad, de donde viene y como se aplica a los recursos hídricos, también se hace una revisión del estado actual del agua a nivel mundial, nacional y de ciudad Guatemala, así también se determina la problemática del agua, y lo necesario para desarrollar un estudio prospectivo, por último, se revisa como se mide la sostenibilidad hídrica.

#### **1.1 La sostenibilidad y los recursos naturales**

Hoy en día es común encontrar en diferentes áreas profesionales de la sociedad e inclusive aquellas, relacionadas con el ambiente, confundir el término "sostenibilidad" y "sustentabilidad", pero cuál es el origen del término, según Real Academia Española de la lengua [RAE], (2014, p. 823).), que, "ambos términos, lo sustentable y lo sostenible, pertenecen a los llamados adjetivos verbales, ya que se derivan de los verbos: sustentar y sostener: además representan similitud conceptual, significando ambos términos mantener, sostener o defender, es decir, asegurar continuidad".

Ahora bien según Kerlin, et al., (2002 p. 3), "cuando se considera que el término "sustentable" es un anglicismo, ya que proviene de la palabra inglesa "sustentable" y por lo tanto se debería usar "sostenible", en la lengua española, fundamentada en el lenguaje, léxico y semántica, ambos términos, son "sinónimos", lo que da la posibilidad de usarlo indistintamente, sin la condición de regla alguna; es decir, es cuestión de gusto del usuario"

Entonces adoptando la tendencia de suponer como sinónimos las palabras sostenible y sustentable, por el anglicismo de traducción al español para el mismo significado desde que se dio su origen, se desarrollara el siguiente análisis.

Durante la búsqueda del origen del término se localizó que en la publicación de 1798, Thomas Malthus publica su "Ensayo sobre el principio de la población", donde explica su famosa "teoría poblacional". En ella dice que: "la población tiende a crecer más rápido que los recursos. Indicando entonces, su preocupación que los recursos naturales no iban a ser capaces de sostener la alimentación de la población.

Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], (1969 p.8). "El término desarrollo sostenible, hace su primera aparición en un documento oficial firmado por treinta y tres países africanos en 1969". En ese mismo año, en USA nace la [EPA], (Environmental Protection Agency), y según la (1969p.6) dice que "desarrollo sostenible se definió como un desarrollo económico que pueda llevar beneficios para las generaciones actuales y futuras sin dañar a los recursos o los organismos biológicos en el planeta"

En Estocolmo (1972) se celebró "la primera reunión mundial sobre el medio ambiente, que planteó la primera indicación del desarrollo humano, en términos de la relación tiempo-espacio" (p. 3). Y Meadows, (1972) enuncia: "es la primera vez que se genera un debate al comprender que el mundo no es tan ilimitado como se pensaba, se agotan los recursos naturales y crece la contaminación sin fronteras" (p .25).

Cuando se realizó la primera reunión del Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA (1973)), en la ciudad de Ginebra, el Sr. Maurice Strong, Director Ejecutivo de la Conferencia, y precursor del concepto llamado "Eco desarrollo" o simplemente "Desarrollo Ecológico"; como una

alternativa para la humanidad, o sea la consideración de "lo económico" y de "lo ambiental" por parte de la sociedad, en una misma línea de acción, donde se armonizan las relaciones entre los partidarios de ambas corrientes.

La Unión Internacional sobre la Conservación de la Naturaleza (UICN) en 1980, da a conocer la estrategia mundial de conservación, que puntualiza la "sustentabilidad" en términos ecológicos y que, además, contempla su estrategia en los siguientes aspectos: a) Mantenimiento de los procesos ecológicos, b) Sostenimiento de los Recursos Naturales y c) Mantenimiento de la Diversidad Biológica.

Daly (1993), indica que la definición y conocimiento del concepto, se le debe a Ignacy Sachs, quien en 1982, precisó, que el Eco desarrollo contiene algunos aspectos importantes tales como: el esfuerzo de cada "eco-región" dirigidos al aprovechamiento de sus recursos específicos para satisfacer las necesidades de los ciudadanos, en lo que se refiere a la alimentación, salud, educación y vivienda; además, evitar los patrones consumistas presentes en los países industrializados y contribuir de esa manera a la realización plena del hombre.

Posteriormente, en 1983 la ONU establece la CMMAD, liderada por la Doctora Gro Harlem Brundtland (primer ministro de Noruega), quien uso por primera vez el término desarrollo sostenible tal y como se le conoce hoy en día. En realidad, surge por la imperiosa necesidad de estudiar y delimitar el impacto que tienen las actividades humanas sobre el ambiente, y según PNUMA, (1982) dice "por medio de un modelo de desarrollo distinto al existente hasta la fecha, en donde lo económico estaba desvinculado de la necesidad de conservación del ambiente o entorno, y el nuevo planteamiento garantizaría una mejor calidad de vida de los ciudadanos" (p. 3).

Según el Informe Brundtland (1987) desarrollo sostenible es “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (p. 22). Exige, por tanto, un continuo cambio, un esfuerzo de adaptación por la sociedad y, el no agotar los recursos naturales a cambio de un progreso científico-tecnológico no compatible con el futuro de las próximas generaciones.

En el informe "Nuestro Futuro Común" (1987) de la CMMAD se plantea como: “una alternativa viable y positiva para el planeta es la aplicación de políticas de sostenibilidad para el crecimiento económico” (p. 6). Según CISDL, (2005) Dice “la comisión observó que el desarrollo –como se lo concebía hasta esa fecha– aumentaba la vulnerabilidad del ambiente hasta degradarlo incrementando la pobreza y por eso introduce, en aquel entonces, el concepto de desarrollo sostenible, como el instrumento, que sirva de base al progreso humano futuro. (12).

Uno de los primeros conceptos del desarrollo sostenible que según Macedo B. (2005) y Segger C. & Khalfan A. (2004) dice “debe satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. (p. 4/45).

Anteriormente se supuso como sinónimos las palabras sostenible y sustentable, pues en idioma inglés así resulta casi obligado por vocabulario, más en el castellano y otras lenguas si permiten hacer diferencias que a más de prácticas resultan también interesantes a la hora de comunicar estos principios.

Según Dixon et al. (1991) dice “se parte de la premisa que las palabras sostenibilidad y sustentabilidad implican de forma intrínseca al desarrollo sostenible y sustentable, respectivamente, definiendo: Desarrollo sustentable,

también llamado sustentabilidad ambiental o desarrollo verde, tiene un enfoque referido prioritariamente al ambiente. Es el tipo de desarrollo en el que las modificaciones que actúan en el ambiente producen polución, pero no contaminan” (p. 23).

Entendiendo como polución, a aquellas alteraciones de los componentes ambientales, por causa de la actividad humana, que no pone en peligro la continuidad de la vida natural, pese a su alteración, lo cual implica que el ambiente tiene la capacidad de asimilar y subsidiar dichos cambios. Y Contaminación, como aquel tipo de polución cuyo nivel de afectación sobrepasa la capacidad del ambiente por regenerar o recuperar las condiciones naturales perdidas y se compromete la calidad ambiental de uno o más elementos del medio, de tal modo que constituye un peligro para su permanencia, generación, desarrollo o continuidad, sobre el planeta.

Según Dixon et al. (1991) dice “desarrollo sostenible, es considerado con un enfoque socio- económico-ambiental, e implica mantener–sostener– la producción y desarrollo siempre a una tasa que refleje crecimiento o al menos equilibrio, a corto y largo plazo, de cada aspecto, recurso, componente, bien, capital o ecosistema”. (p. 42)

Por último, Fernández (2003) postula que: “Sostenible o desarrollo sostenible o sostenibilidad, alberga los aspectos de la actividad humana que fortalece su crecimiento económico, con equidad y bienestar social de tal modo que mejora la calidad de vida de los individuos, sin contaminar el ambiente, por tanto esta cuestión semántica y conceptual quedó adjudicada y ratificada en las varias cumbres mundiales, indicando que el término sostenible es más afín al término inglés sustentable” (p. 3).

### **1.1.1 Reseña histórica de la sostenibilidad**

Según Cámara (2003); Marquardt (2006); Calabuig (2008); Díaz y Escárcega (2009), los cuales coinciden en afirmar que: “los registros históricos existentes en torno al tema de explotación de recursos naturales basada en una conciencia de futuro, se puede destacar que en 1456, el señorío de Bludenz (Austria), decretó su primera ley de sostenibilidad sobre los pastizales, bajo un texto semejante a: “para que disfrutemos nosotros, nuestros herederos y los que nacerán después que ellos“-”.(p. 35).

De igual manera Díaz y Escárcega (2009) indican que “en 1536, en el condado de Kyburg (Suiza) y en 1573 el señorío del Monasterio de Fall (Eslovenia) permitieron a sus agricultores utilizar sólo la leña y madera necesaria para vivir, y dejar para los hijos y siguientes generaciones que puedan disfrutar del bosque, prohibiéndose la destrucción del bosque del cual todos subsistan” (p. 45).

### **1.1.2 Ejes de la sostenibilidad**

Según el concepto del Banco Mundial (2002) “el desarrollo sostenible es un proceso de administración de una cartera de activos que permita preservar y mejorar las oportunidades que tiene la población. El desarrollo sostenible comprende la viabilidad económica, ambiental y social, que se puede alcanzar administrando racionalmente el capital físico, natural y humano” (p. 35).

La ONU (1987) establece que desarrollo sostenible es:

*“... Believing that sustainable development, which implies meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs, should become a central guiding principle of the United*

*Nations, Governments and private institutions, organizations and enterprises ...” (p. 66).*

Oficialmente definido según la ONU (2005), en el principio tercero de la declaración de Río de 1992 y de allí hasta el documento final de la cumbre mundial 2005, ítem 48 que dice:

*“Reafirmamos nuestro compromiso de alcanzar el objetivo relativo al desarrollo sostenible, entre otras cosas, mediante la aplicación del Programa 21 y el Plan de Aplicación de las Decisiones de Johannesburgo. Con tal fin, nos comprometemos a emprender acciones y medidas concretas a todos los niveles y fomentar la cooperación internacional, teniendo en consideración los principios de Río. En ese esfuerzo también se promoverá la integración de los tres componentes del desarrollo sostenible – desarrollo económico, desarrollo social y protección del medio ambiente – como pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente. La erradicación de la pobreza, la modificación de las modalidades insostenibles de producción y consumo y la protección y ordenación de la base de recursos naturales del desarrollo económico y social son objetivos generales y requisitos indispensables del desarrollo sostenible.” (p. 67).*

Estos pilares interdependientes y componentes del desarrollo sostenible, sugieren tres reglas elementales a seguir y que están sujetas al ritmo de crecimiento demográfico, son:

- a) Ninguna sustancia o acción contaminante debe producirse a una tasa mayor que la que pueda ser absorbida por el ambiente, o reciclada o neutralizada.

- b) Ningún recurso renovable podrá ser utilizado a una tasa mayor que la de su natural regeneración.
- c) Ningún recurso no renovable deberá explotarse a una tasa mayor que aquella que permita sustituirlo por un recurso renovable aprovechado sosteniblemente.

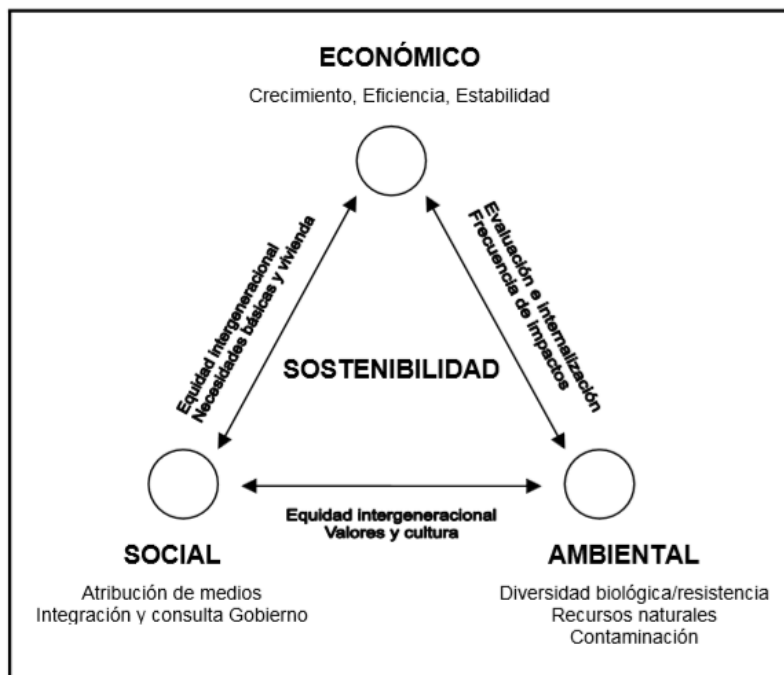


Figura 1 Esquema de los componentes del desarrollo sostenible.  
Fuente: Sánchez 2009, p. 21

Según la DRAE (2014) “**desarrollo**, es el proceso en el cual se aplican al ambiente recursos humanos, económicos, financieros, biofísicos y otros, con el fin de obtener resultados, -bienes y servicios- que satisfagan las necesidades humanas en la búsqueda de mejorar la calidad de vida” (p. 125).

El término desarrollo, desde un punto de vista puramente político – legal – se podría mal aceptar como únicamente el crecimiento económico de los



estados, sin tomar en cuenta la distribución, ni sus efectos sociales, ni el desarrollo de capacidades, ni mucho menos el bienestar colectivo. Es mejor, siempre que se pretenda referir al desarrollo, que se explique en qué pilares se fundamenta; es decir, que sólo la palabra desarrollo sería una forma incompleta de algún tipo de crecimiento; pues, se entiende explicado implícitamente si se la califica con su forma de origen; así, “desarrollo humano”, “desarrollo social”, “desarrollo sostenible”, “desarrollo sustentable”, entre otros. (Fajardo L., 2008, p. 23).

La calidad de vida es un concepto que integra el bienestar del individuo en su comunidad, según ONU (2011) dice “que puede ser evaluado con el Índice de Desarrollo Humano (IDH) que a su vez relaciona la esperanza de vida, educación y el PIB per cápita” (p. 12), mientras que el nivel de vida se mide con los ingresos que percibe un individuo, o una nación y el indicador usado es el presupuesto.

“Además la calidad de vida, asocia la calidad del medio ambiente, la libertad política y económica, la medida del acceso a servicios públicos de calidad, las medidas del bienestar en salud (general, funcional, mental, cardíaco vasculares, otras), confort y seguridad nacional y personal, el acceso a fuentes de trabajo decentes, número de días de vacaciones al año de cada individuo, entre muchos otros”. (World Bank, 2002, p. 35).

En el desarrollo humano, se considera al ser humano como centro del proceso del desarrollo y nunca el ser humano alrededor del desarrollo. Según el PNUD, (1991):

“que el desarrollo ha de ser participativo; con tal fin, los individuos deben tener la oportunidad de invertir en el

perfeccionamiento de sus competencias, en su salud, su educación y su aprendizaje”. (p. 65)

“También se debe dar la oportunidad de usar sus capacidades para participar a fondo en todos los aspectos de la vida y de expresarse libre y creativamente. Además, que el desarrollo humano requiere del crecimiento económico ya que sin éste no es posible lograr el mejoramiento sostenido del bienestar humano”. (PNUD, 1991, p. 67).

Según Parris T. y Kates R. (2003). Dice: “En el desarrollo humano sostenible, se realiza con un criterio antropocéntrico y estas características conceptuales dejan la posibilidad de expresar que un proyecto o actividad humana que es sustentable puede o no ser sostenible; en cambio, todo lo que es sostenible necesariamente debe ser sustentable primero” (p. 28).

Según PNUD, (1991) dice “El desarrollo social tiene su pivote de actuación en el mejoramiento de la calidad de vida de todos los individuos, a través de la búsqueda incesante de la equidad, justicia social, acceso racional a servicios básicos, saneamiento, vivienda, educación, empleo decente, seguridad, transporte, erradicación de tugurios y zonas vulnerables, libertad de pensamiento, credo y política sin que esto afecte el bien común, acceso a la información y energía y libre movilidad”. (p. 75).

Según el PNUD, (1991) dice “El desarrollo económico busca que los Estados formalicen un sistema de producción de bienes y servicios con mecanismos de explotación, procesamiento y distribución acordes a mercados locales e internacionales, que satisfagan las necesidades de sus demandantes, a precios racionales y accesibles. Asimismo, que se motive la inversión, la

productividad limpia, y el fomento de generación de empleo, distribución equitativa de la riqueza y que aporte significativamente al desarrollo humano” (p. 86).

De igual manera PNUD, /1991) dice: “La protección del ambiente. Acción humana global comprometida con la preservación del medio ambiente, basado en un sistema ecológico frágil, del que los individuos forman parte y necesitan su cobijo, independiente de su distribución demográfica. Para ello es necesario, entre muchas otras acciones, el de gestionar efectivamente los residuos, la eficiencia energética, conservación de recursos naturales, reducir al máximo la emisión de sustancias contaminantes de suelo, agua y aire; y hacer un uso de elementos del hábitat sin que ello deje consecuencias que repercutan en un cambio climático. Esto implica también, velar porque la explotación de recursos, renovables y no renovables, no tenga efectos de los cuales el planeta no pueda recuperarse en un tiempo tal que se vea comprometida la vida de especie alguna”. (p. 97).

## **1.2 El estado de los recursos hídricos en el mundo**

### **1.2.1 Los recursos hídricos**

Los recursos hídricos según Uribe, (2012) son: “todos los cuerpos de agua existentes en el planeta, desde los océanos, glaciares hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas” (p. 4). Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional pues son necesarios para la vida.

Según Barlow, (2009). “El agua dulce es considerada un recurso renovable, su formación y renovación está regida por el ciclo hidrológico y las condiciones fisiográficas, que a su vez distribuye el agua de forma irregular en toda la superficie terrestre. El problema es que, aunque en su mayoría son recursos renovables, la sobreexplotación y la contaminación que provocan

diversas actividades humanas hacen que los recursos hídricos estén en riesgo. Su capacidad de regeneración muchas veces no resulta suficiente ante el ritmo de uso” (p.12).

Según la ONU (2013) “... una de las grandes dificultades que enfrenta la humanidad es la falta de agua para el consumo humano y un sinnúmero de actividades, y como solamente se aprovecha el 1% de toda el agua dulce del planeta (3%), la cual se encuentra en la superficie de la tierra en forma de ríos, lagos, lagunas, y esta agua se encuentra distribuida de forma irregular en todas las áreas terrestres (condiciones fisiográficas), por eso la cuestión de la disponibilidad de agua para el consumo humano en el mundo es limitada, y es un tema que hoy provoca discusión, aunque existe unanimidad en cuanto a la necesidad de su gestión y racionalización” (p. 42).

Por otro lado, el creciente consumismo y la alta demanda de energía, acompañado de un crecimiento demográfico, han generado más contaminación tanto de residuos sólidos como a los cuerpos de agua, comprometido la disponibilidad, y ocasionando escasez de agua en las poblaciones más necesitadas.

Según la ONU, (2010). “La escasez de agua dulce para actividades humanas es provocada por los altos índices de consumo (cantidad), fundamentalmente por la degradación de la calidad del agua dulce debido a la contaminación, de ríos, manantiales de aguas superficiales y subterráneas, por actividades agropecuarias en zonas rurales, y en centros urbanos, por la mala disposición de los desechos domésticos, y de efluentes de la industria, así como por el consumo indiscriminado”. (p.67)

Esta escasez ha llevado a la discusión, a la reelaboración de planes de gestión de los recursos hídricos, englobando no sólo a los órganos públicos (alcaldía/estado/ gobierno sociedad), sino también a la comunidad representada

por los usuarios del agua: las industrias, las actividades agropecuarias y los ciudadanos.

Según Heathcote (1998). “Los resultados de la Conferencia de Río (Eco-92), claramente apuntan a la necesidad de gestión de sistemas, no solamente de algunos de sus componentes” (p. 23). “En vistas de esa tendencia, los recursos hídricos tienen como unidad de gestión la cuenca hidrográfica (watershed management), entendido como un sistema integrado, hoy de consenso mundial.” (p. 41).

### **1.2.2 Inventario hídrico mundial**

El agua en la Tierra, la llamada hidrosfera, se almacena en diferentes embalses de la mesósfera, o sea en los cuerpos de agua que consisten principalmente en (líquido o sólido) de agua (océanos, lagos y ríos, nieve y hielo), y en los humedales, los suelos y cuerpos de agua subterránea.

Según el World Resources Institute, (2008), “el agua está distribuida en la tierra de la siguiente manera, el 97 % lo representa toda el agua salada de los océanos y solamente un 3 % es el agua dulce, y esta agua dulce está distribuida en 69 % en los glaciares, 30 % en el subsuelo como agua subterránea (corresponde a 98% del agua potable disponible en la tierra) y solamente 1 % en la superficie de la tierra, la cual se compone así, 87 % en lagos, 11% en pantanos y un 2 % en ríos” (p. 63).

De acuerdo a Fetter (1994), “las reservas de agua en el mundo poseen la siguiente distribución: 97,2 % del total de agua, pertenecen a los océanos, seguidos por los glaciares (2,14 %)” (p. 16). “El agua subterránea corresponde a 0,61 % de ese total, las aguas superficiales 0,009%; la humedad del suelo (0,005%) y el agua de la atmósfera 0,001 %”. (p.19).

Shiklomanov y Rodda, (2003) comentan al respecto: “El agua subterránea es la tercera fuente más grande de almacenamiento, después de los océanos (agua salada) y la criósfera (nieve y hielo), pero con mucho, la mayor reserva de agua dulce líquida disponible calculándose en aproximadamente 10,5 millones de km<sup>3</sup>, es decir, 0,76% del total de agua en la Tierra” (p. 8).

Rebouças, et al. (1998) argumentan que: “Las aguas subterráneas poseen sus mayores reservas en regiones húmedas, sin embargo, su mayor disponibilidad es también función de la capacidad de almacenamiento y transmisión de agua en las rocas reservorios” (p.17).

### **1.2.3 Distribución del agua en el mundo**

Según la UNESCO, (1997). “El agua está distribuida irregularmente en toda la tierra, debido a diversos factores físicos que influyen en esa distribución. Uno de los más importantes es el patrón de precipitaciones el cual, en todo el mundo es causado por la circulación de la atmósfera que distribuye la humedad y la energía” (p. 13).

Según Rebouças, et al. (1999). “La mayor abundancia de lluvias se presenta en las regiones intertropicales y templadas de la tierra, y presentan los mayores flujos de agua a nivel global, demostrando la irregularidad de la distribución natural de las precipitaciones y consecuentemente en la disponibilidad del agua en las diversas regiones de la tierra” (p. 71).

En general los mayores valores de disponibilidad de agua se encuentran en la franja entre el Trópico de Cáncer y de Capricornio; sin embargo, la situación climática y, consecuentemente, la disponibilidad de agua de una región está relacionada con las condiciones fisiográficas, como se puede apreciar en la Tabla 1, a continuación.

Tabla 1. *Caudales de agua por regiones climáticas (Km<sup>3</sup>/año)*

<b>Zonas Climáticas</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Evapotranspiración</b>	<b>Escurrentía total de los ríos</b>	<b>Escurrentía de Base</b>
Zonas templadas (N y S)	49.000	27.800	21.200 (48%)	6.500
Zonas áridas y semi-áridas	7.000	6.200	800 (2%)	200
Zonas intertropicales	60.000	38.000	22.000 (50%)	6.300
Total (mundo)	116.000	72.000	44.000 (100%)	13.000

Fuente: Reboucas, et al. (1999, p.71)

Fetter. (1994), comenta que: “El ciclo hidrológico es el responsable de la distribución del agua y de su renovabilidad, los procesos principales del ciclo hidrológico son la evaporación/condensación, evapotranspiración, precipitación y escurrentía superficial e infiltración, en síntesis, el ciclo comienza por el movimiento del agua en sus diversos estados físicos: ella es evaporada por los océanos y se mueve a través de la atmósfera, después se condensa y cae en forma líquida en el océano, en el continente o se vaporiza sin llegar a la tierra o el mar”. (p 50). Además, sugiere que, “La precipitación que llega al continente hace varias trayectorias del ciclo hidrológico. Una parte se condensa en estado sólido y forma los glaciares, o precipita en forma de nieve, o la lluvia y el deshielo el cual se escurre y forma un canal de drenaje, que formará ríos, lagos, etc. y esos cursos de agua podrán llegar hasta el mar reiniciando el ciclo, y otra parte se evapora en el trayecto, volviendo el agua a la atmósfera” (p 55). Y respecto

al agua subterránea infiere que: “Si la superficie del suelo es porosa, el agua penetra en el suelo a través de la infiltración, pudiendo volver a la atmósfera por la transpiración de las plantas, penetrar en el suelo y salir para un curso de agua como manantiales, lagos, también infiltrarse hasta llegar al agua subterránea, y en esa zona saturada, el agua podrá moverse hasta llegar al área de descarga, que podrá ser el océano nuevamente, reiniciando el ciclo” (p. 69).

Uribe. H. (2010), por su lado comenta que: “En las áreas urbanas el ciclo hidrológico sufre muchas interferencias antrópicas, como la impermeabilización de los suelos, las conducciones de agua hacia alcantarillados, evaporación de las aguas por las industrias y otras como en el asfalto de las calles” (p. 11).

Fetter, (1994) enuncia que: “La evaporación, es el proceso físico del cambio del agua del estado líquido al gaseoso, ocurre continuamente, absorbiendo 590 calorías de la superficie sujeta a la evaporación por gramo de agua por metro cúbico del aire, la evaporación continúa hasta que el aire se satura de humedad medida en humedad absoluta (masa de aire en número de gramos de agua por metro cúbico del aire), el valor máximo de humedad del aire, a una cierta temperatura, alcanza la humedad de saturación que es directamente proporcional a la temperatura del aire” (p. 59). Así mismo, “La humedad relativa para una masa de aire se define como la razón porcentual de la humedad absoluta por la humedad de saturación, por la temperatura de la masa de aire” (p. 77). Mientras que: “La condensación ocurre cuando la masa de aire no consigue soportar más su humedad, la masa se enfría y la humedad de saturación cae. Si el valor de la humedad absoluta permanece constante, la humedad relativa crece. Cuando ese valor alcanza 100 %, y absorbe energía del ambiente podrá bajar su temperatura y como resultado se dará la condensación. El punto de rocío para una masa de aire es la temperatura en la cual comienza la condensación” (p. 79).



Según Fetter. (1994) Dice: “Thornthwaite define un valor máximo para las pérdidas de agua en un ecosistema por evapotranspiración, denominado Evapotranspiración Potencial, en la cual las pérdidas en su mayoría ocurren en los meses de verano con menor o ninguna pérdida en el invierno” (p. 85).

Según Fetter. (1994) Dice: “El término evapotranspiración real es utilizado para describir la cantidad de evapotranspiración que ocurre bajo condiciones de campo, es estimada por la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, y si el resultado fuera mayor que cero, la evapotranspiración real es igual a la potencial, en el caso que el valor de esa diferencia fuera negativa, la evapotranspiración real es igual a la precipitación” (p. 86).

Según Fetter. (1994) Dice: “Cuando el suelo está seco, la capacidad de infiltración es alta, y a medida que el suelo se humedece, esa capacidad decrece hasta alcanzar un valor más o menos constante, o de equilibrio” (p. 90).

Según Fetter. (1994) Dice: “Si el índice de precipitación en esas condiciones, es mayor que ese equilibrio, el agua permanece en la superficie del suelo iniciando el proceso de escorrentía, que fluye por la acción de la gravedad de las partes más altas hacia las más bajas, por tanto el agua que se infiltra y que alcanza el nivel freático será almacenada en el reservorio de agua subterránea, que posee un movimiento constante” (p. 93).

“Para los estudios del ciclo hidrológico en el continente, la cuenca hidrográfica es la unidad de estudio de la ciencia hidrológica y esta se define como la ecuación hidrológica que sigue a la ley de conservación de las masas, llamado balance hídrico “(p. 94).

$$\text{Entrada} = \text{salida} \pm \text{Cambios en el Almacenamiento} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Según Fetter, (1994): “Las entradas de agua pueden ser: precipitación, escorrentía superficial, flujo de agua subterránea que entra en la cuenca, importación superficial de agua; las salidas son: evapotranspiración, evaporación de los cuerpos de agua, escorrentía de aguas superficiales, salida de aguas subterráneas y exportación artificial del agua; los cambios pueden ser: agua de drenaje, ríos, lagos y represas, humedad del suelo en la zona vadosa, almacenamiento temporario, irrigación, entre otras; las aguas también pueden provenir de magmas situados a grandes profundidades de la corteza terrestre, esas aguas magmáticas pueden alcanzar la superficie de la tierra y ser incluidas en el ciclo hidrológico“(p. 99).

Fetter, (1994) define que “La cuenca hidrográfica está limitada por los divisores topográficos, y es el área donde los canales de escorrentía de las aguas se dirigen hacia un punto particular de descarga. En el caso del agua subterránea, se utiliza el concepto de cuencas de aguas subterráneas, definida como un área bajo la superficie donde el agua se mueve a un punto de descarga particular y está limitada por divisores de agua subterránea “(p. 106).

Según Magalhães. (1989) “Los hidrogramas de un curso principal de agua son gráficos que muestran la descarga de un río a un punto del área en función del tiempo, en ese punto, representan el resultado del comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica” (p. 40). Además, estima que “La separación de los componentes del hidrograma tiene como objetivo, definir los parámetros de escorrentía básica, bajo superficial y superficial, la gestión de los recursos hídricos es un campo de la hidrología resultante de los problemas que vienen creciendo a lo largo de los años, relacionado a las causas del deterioro de los cuerpos de agua, que afectan el abastecimiento humano” (p. 45).

Ramos (1989) indica que “la gestión de los recursos hídricos posee tres aspectos básicos: la legislación, las informaciones y los métodos o modelos de evaluación y decisión” (p. 40).

De acuerdo con Gleick. (1993) “...El recurso hídrico para el consumo humano proveniente de los ríos y lagos se estima en 90.000 Km<sup>3</sup>, o 0,26 % de la reserva total de agua dulce del mundo” (p. 47). Y que “La renovabilidad del agua puede darse en 16 días (media de los ríos) y en el orden 8 días, para el agua en la atmósfera, sin embargo, el período puede ser largo en los glaciales, aguas subterráneas, océanos y en los grandes lagos, en números estimados, un volumen equivalente a 505.000 Km<sup>3</sup> se evapora anualmente de la superficie del océano, donde el 90% (458.000 Km<sup>3</sup>) retorna a los océanos en forma de precipitación y el 10% (50.500 Km<sup>3</sup>) cae en los continentes” (p. 49). Además, establece que “En los continentes, 119,000 Km<sup>3</sup>/año (o 1000 mm/año) de agua precipita de la atmósfera (contabilizadas 68,500 Km<sup>3</sup> provenientes de precipitación local), donde 47,000 Km<sup>3</sup> (35%) retorna a los océanos en forma de ríos, suelos y escorrentía glacial. Hay un total de 1,130 mm de precipitación media que cae en la superficie de la tierra, o el volumen de 577,000 Km<sup>3</sup>. Los ríos son la mayor fuente de agua dulce, utilizado extensivamente por la población humana” (p. 56).

Según Shiklomanov en Gleick. (1993): “Los estudios de los recursos hídricos incluyen no solamente su evaluación en estado natural, sino también las interferencias que actúan en los procesos causados por las actividades humanas. A pesar de su característica de renovabilidad, los impactos causados por las actividades humanas afectan los regímenes de los ríos, su caudal medio anual y su calidad, se definen factores que pueden ser combinados de acuerdo con la naturaleza y su efecto en los procesos hidrológicos en cuatro grupos” (p. 60), los cuales se describen a continuación

1. “Factores que principalmente afectan el flujo por los desvíos directos de agua de fuentes (red de drenaje, lagos, acuíferos, etc.), el uso de esos estoques y cursos y la descarga de agua en el sistema del río (aguas retiradas para irrigación, para usos industriales y municipales, abastecimiento de agua para la agricultura y desvío de cursos de ríos)” (p. 63).
2. “Factores que afectan el ciclo hidrológico y el recurso hídrico como resultado directo de la transformación de la red de drenaje (construcción de reservorios y presas, represamiento y estrechamiento de canales, excavaciones en las márgenes de los ríos, etc.)” (p. 66).
3. “Factores que alteran las condiciones de formación del flujo y otros componentes del balance hídrico afectando las cuencas de drenajes superficiales (medidas agro técnicas, drenaje de pantanos y ciénagas, deforestación o reforestación, urbanización, etc.)” (p. 69).
4. “Factores de actividades económicas que afectan el curso, balance hídrico y el ciclo hidrológico a través de las alteraciones generales de características climáticas a escala global o regional, como resultado de las modificaciones antropogénicas de la composición de la atmósfera y de la contaminación del aire, del incremento de evaporación resultante del desarrollo y de medidas de gestión del agua” (p. 72).

#### **1.2.4 Principales usos del agua**

Según Shiklomanov, en Gleick. (1993) Dice: “El uso del agua es función de los siguientes factores: el nivel de desarrollo económico, población y las peculiaridades fisiográficas (clima principalmente) del territorio en cuestión” (p. 44).

En la Figura 2 se representa la extracción de agua por sectores y por regiones del mundo al 2005, donde puede observarse que a nivel mundial el uso del agua

para la agricultura, sigue siendo la principal actividad que el hombre utiliza el agua, en un 69 %, algunas regiones no se comportan de la misma manera tales como Europa del este y otras más industrializadas.

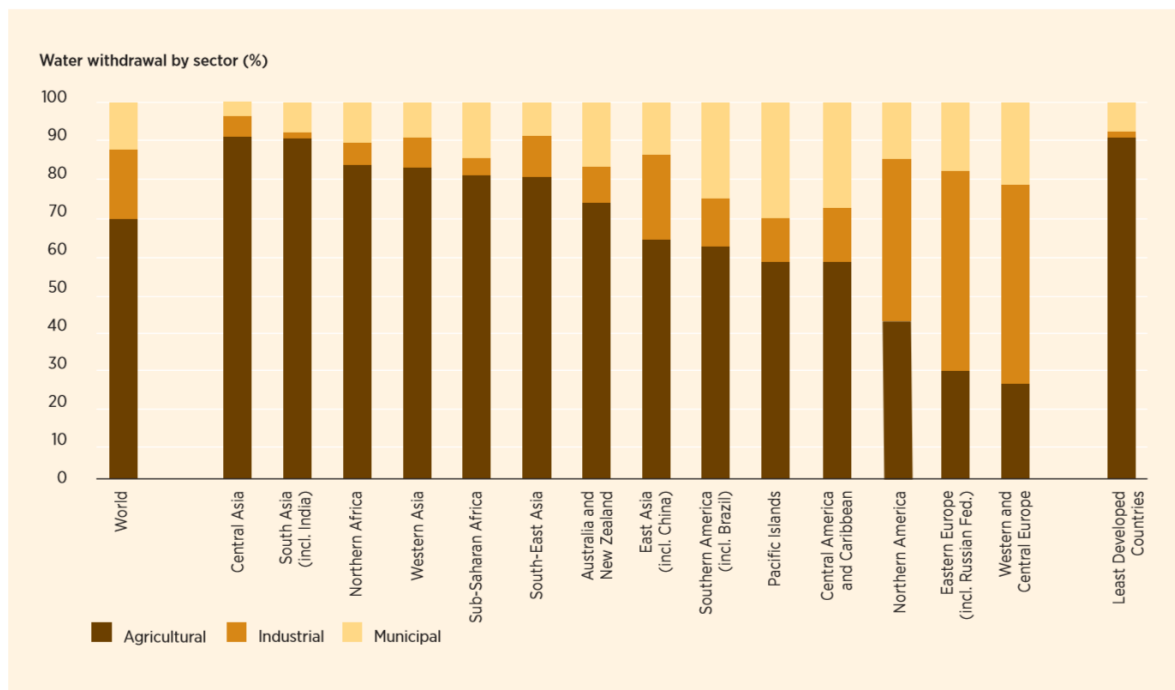


Figura 2. Extracción de agua por sectores y por región al 2005

Fuente: WWDR4 Vol. 1 (2014, p.47)

La tabla 2 muestra información importante que cuantifica el agua que se extrae del subsuelo en aquellas regiones del planeta donde la accesibilidad al recurso de agua superficial no está al alcance, además se hace una estimación sobre qué cantidades se esperan seguir extrayendo al año 2025.

Según Shiklomanov, en Gleick. (1993) Dice: “El clima también tiene influencia directa en el uso del agua, en climas áridos, en donde el recurso hídrico es mínimo, el déficit es alto pues se verifica el crecimiento del consumo en esas

regiones, causado por el desarrollo económico de las actividades humanas en esas condiciones” (p. 40).

Tabla 2. *Extracción de agua subterránea al 2010*

Continente	Extracción de agua subterránea al 2010 (como año de referencia)					Estimación de Extracción total de agua al 2025	
	Agricultura	Domestico	Industria	Total			
	Km <sup>3</sup> /año	Km <sup>3</sup> /año	Km <sup>3</sup> /año	Km <sup>3</sup> /año	%	Km <sup>3</sup> /año	%
<b>Norte América</b>	99	26	18	143	15	524	27
<b>América Central y el Caribe</b>	5	7	2	14	1	149	9
<b>América del sur</b>	12	8	6	26	3	182	14
<b>Europa incluye la Federación Rusa</b>	23	37	16	76	8	497	15
<b>África</b>	27	15	2	44	4	196	23
<b>Asia</b>	497	116	63	676	68	2257	30
<b>Oceanía</b>	4	2	1	7	1	26	25
<b>Todo el mundo</b>	666	212	108	986	100	3831	26

Fuente WWDR4 vol. 1 (2014, p.86)

Según el WWAP. (2012) Dice: “En el informe WWDR4 preparado para la ONU que la perspectiva regional para américa latina y el caribe (ALC) es básicamente una región húmeda, aunque se localizan algunas regiones muy áridas, y el patrón del uso del agua en la región se puede describir como espacialmente esporádico y muy concentrado en relativamente pocas áreas (p. 77).

### 1.2.5 La demanda del agua

La demanda de agua dulce global ha aumentado 35 veces en los últimos 300 años y siguen creciendo Jones, (1999). En el futuro, el crecimiento de la población, la riqueza, la actividad industrial y el consumo de energía conducirán a una creciente escasez de agua (estrés hídrico) en muchas regiones. A nivel mundial, existe la tendencia de aumento de la demanda del uso del agua, característica de todas las regiones, con expectativas de mayores porcentajes de consumo en África y América del Sur y decrecimiento de los valores en los países desarrollados (Shiklomanov, en Gleick 1993, P. 48).

La figura 3 presenta la disponibilidad calculada para las diversas regiones del mundo, y la expresa como el total de recursos renovables de agua anuales (TARWR) por ciudad al 2010, para el caso específico de Guatemala se puede observar que la estimación es de 101 a 200 Km<sup>3</sup>/año, que podría decirse que se encuentra en una situación cercana a la vulnerabilidad hídrica. Mientras la figura 4, muestra la disponibilidad per cápita.

Los más bajos valores de disponibilidad se encuentran en África del Norte, Asia Central, seguidos por las regiones del Norte de China y Mongolia, Sur y Oeste Asiáticos, Europa Central y Sur de la Unión Soviética (Europa), Sur, Oeste y Este de África y Sudeste y Asia. Los valores más altos se concentran principalmente en las regiones de Canadá y Alaska, Norte de Europa, América del Sur, Australia y Oceanía, Siberia y Extremo Este de Asia.

Según se puso de manifiesto en la Sala 5 (Expo Zaragoza 2008) —Agua para el mundo---, durante el transcurso del Siglo XX la población mundial se triplicó y la demanda de agua se sextuplicó, y queda como un privilegio de muy pocos habitantes del planeta el hecho de tener agua dulce (potable) en sus domicilios.

Las estimaciones de suministro renovable de agua, el suministro renovable accesible a los seres humanos, y de la población atendida por el suministro renovable en diferentes ecosistemas y regiones se representa en la tabla 5, donde se contabiliza la disponibilidad del recurso hídrico por región anualmente.

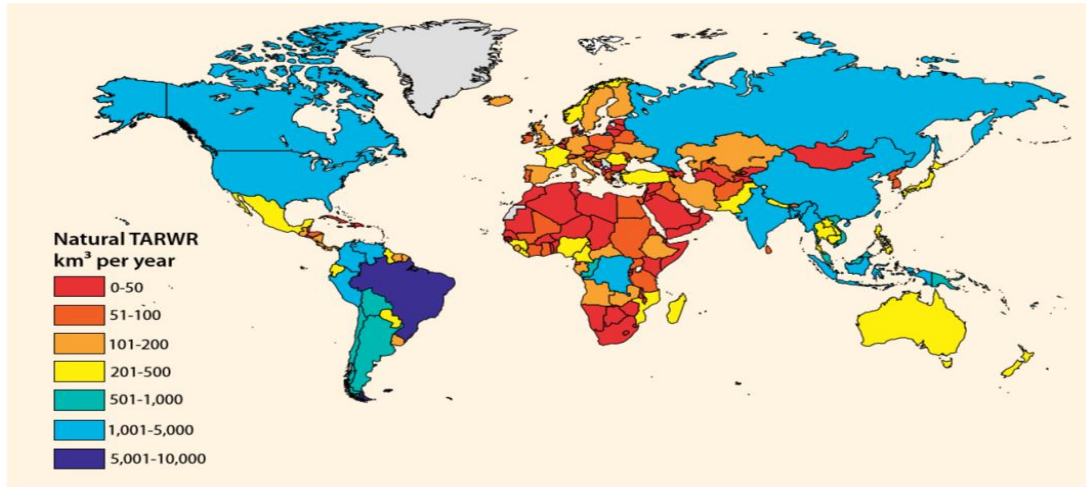


Figura 3. Total de recursos renovables de agua anuales (TARWR) por ciudad al 2010. Fuente. FAO, (2011, p. 79) base de datos AQUASTAT.

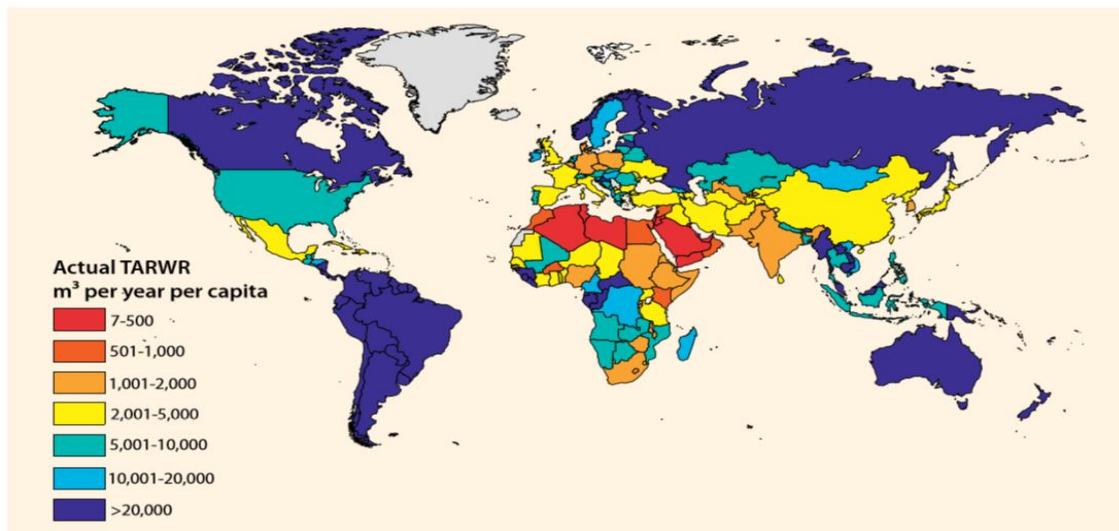


Figura 4. Total de recursos renovables de agua anuales (TARWR) per cápita por ciudad al 2009. Fuente. FAO, (2011, p. 80) base de datos AQUASTAT.



Nótese que Guatemala se encontraba en el rango de 5,001 a 10,000 m<sup>3</sup>/año/hab. La Tabla 3, a continuación, presenta la estimación de suministro renovable de agua al 205-

Tabla 3. *Estimaciones de suministro renovable del agua al 2005*

System <sup>a</sup> or region	Area	Total precipitation (P <sub>1</sub> )	Total renewable water supply, blue water flows (B <sub>1</sub> )	Renewable water supply, blue water flows, accessible to humans <sup>b</sup> (B <sub>2</sub> )	Population served by renewable resource <sup>c</sup>
Millennium Ecosystem Assessment (MA) System	(million km <sup>2</sup> )		(thousand km <sup>3</sup> per year) [% of global runoff]	[% of B <sub>1</sub> ]	(billion) [% of world population]
Forests	41.6	49.7	22.4 [57]	16.0 [71]	4.62 [76]
Mountains	32.9	25.0	11.0 [28]	8.6 [78]	3.95 [65]
Drylands	61.6	24.7	3.2 [8]	2.8 [88]	1.90 [31]
Cultivated <sup>d</sup>	22.1	20.9	6.3 [16]	6.1 [97]	4.83 [80]
Islands	8.6	12.2	5.9 [15]	5.2 [87]	0.79 [13]
Coastal	7.4	8.4	3.3 [8]	3.0 [91]	1.53 [25]
Inland water	9.7	8.5	3.8 [10]	2.7 [71]	3.98 [66]
Polar	9.3	3.6	1.8 [5]	0.3 [17]	0.01 [0.2]
Urban	0.3	0.22	0.062 [0.2]	0.062 [100]	4.30 [71]
<b>Region</b>					
Asia	20.9	21.6	9.8 [25]	9.3 [95]	2.56 [42]
Former Soviet Union	21.9	9.2	4.0 [10]	1.8 [45]	0.27 [4]
Latin America	20.7	30.6	13.2 [33]	8.7 [66]	0.43 [7]
North Africa/Middle East	11.8	1.8	0.25 [1]	0.24 [96]	0.22 [4]
Sub-Saharan Africa	24.3	19.9	4.4 [11]	4.1 [93]	0.57 [9]
OECD	33.8	22.4	8.1 [20]	5.6 [69]	0.87 [14]
<b>World Total</b>	<b>133</b>	<b>106</b>	<b>39.6 [100]</b>	<b>29.7 [75]</b>	<b>4.92 [81]</b>
<p><i>a Note: double-counting for ecosystems under the MA definitions.</i>  <i>b Potentially available supply without downstream loss.</i>  <i>c Population from Vörósmarty et al. (2000).</i>  <i>d For cultivated systems, estimates are based on cropland extent from Ramankutty and Foley (1999) within this MA reporting unit.</i>  <i>Source: Hassan et al. (2005, table 7.2, p. 173). © Millennium Ecosystem Assessment. Reproduced by permission of Island Press, Washington DC.</i></p>					

Fuente: WWDR4, (2014, p. 384)

El crecimiento demográfico, desde la aparición del hombre hasta mediados del Siglo XVII, se puede decir que tuvo un lento crecimiento ascendente; a partir de entonces la población mundial se incrementó drásticamente, de 1.5 millones de personas en el año 1900 hasta 6.9 millones al año 2010, y se estima que para el año 2075 la población en el mundo será mayor que 9.2 millones. Esta afirmación se puede apreciar en la figura 5.

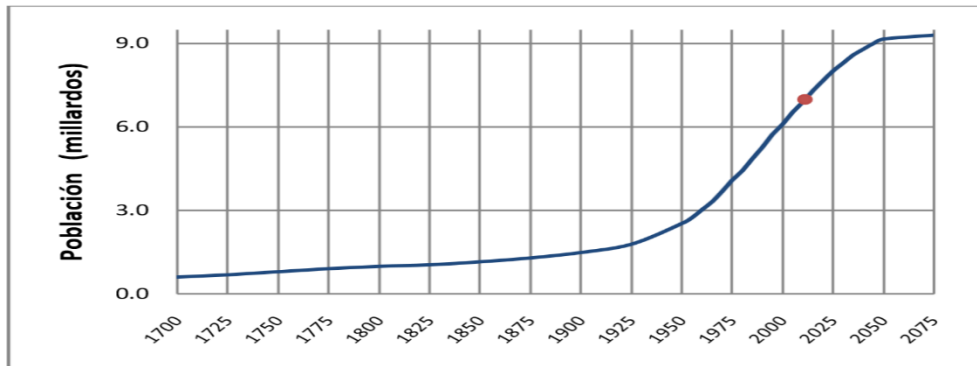


Figura 5. Cronología del crecimiento demográfico del mundo, fuente: Benavides (2010, p. 24) referido a: Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects, 2008.

Según las últimas proyecciones de las Naciones Unidas, a través de Population Division of the Department of Economic and Social Affairs, the 2009 Revisión Population Database, “para el año 2050 la población urbana corresponderá al 69% de la población total. Con lo cual se supone que los sistemas de servicios básicos de las ciudades se vean cada vez más presionados por un cambio en el uso de la tierra, crecimiento horizontal y vertical de las ciudades, así como de la densidad poblacional por metro cuadrado de urbe; donde queda implícito el aumento de las demandas de agua” (ONU 2009, p. 65). La figura 6, que se presenta a continuación, muestra la distribución de la población mundial y su proyección al ao 2,050.

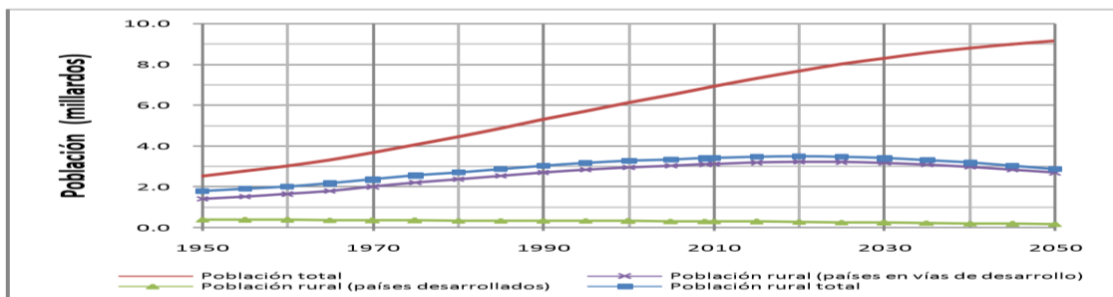


Figura 6. Distribución temporal de la población mundial. Fuente: Benavides (2010, p. 26) referido a: The 2009 Revision Population Databasell, Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat

Hoy en día la población rural representa el 49.5% de la humanidad, no obstante, la tendencia es a reducirse, tanto así que para el año 2050 las Naciones Unidas proyectan que dicha población será el 31.3% de la total mundial. Las ciudades de los países en vías de desarrollo serán las que se afecten mayormente por este crecimiento poblacional, de tal modo que parte de la solución preventiva a la escasez del recurso hídrico urbano que se avizora, pasa por mejorar, desde ahora y con prontitud, la gestión local de los sistemas, con políticas que busquen la anhelada sostenibilidad, aspecto que involucra: reducir las pérdidas, modular tarifas que incentiven el ahorro y el consumo racional, protección de cuencas, mejora del conocimiento técnico de los gestores y optimización de recursos, entre otros tantos aspectos que la constituyen en sus tres pilares, –social, económico y ambiental–.

Según ONU (2010). La población de la región ALC ha crecido en más de un 50% entre 1970 y 2009, aunque las tasas de natalidad están disminuyendo rápidamente en la actualidad y el crecimiento de la población se está reduciendo en consecuencia. La región ha sido testigo de un cambio masivo en los porcentajes relativos de la población que vive en las zonas rurales y urbanas, y ha presenciado frecuentes flujos migratorios interurbanos a medida que la población urbana se ha triplicado en los últimos 40 años (p. 22).

El Stockholm Environment Institute (1997), pronosticó la disponibilidad de recursos hídricos per cápita por región, para ello combinó las proyecciones del crecimiento de la población, la tensión hídrica y los resultados del desarrollo, hasta el año 2025, lo cual puede verse en la figura 7.

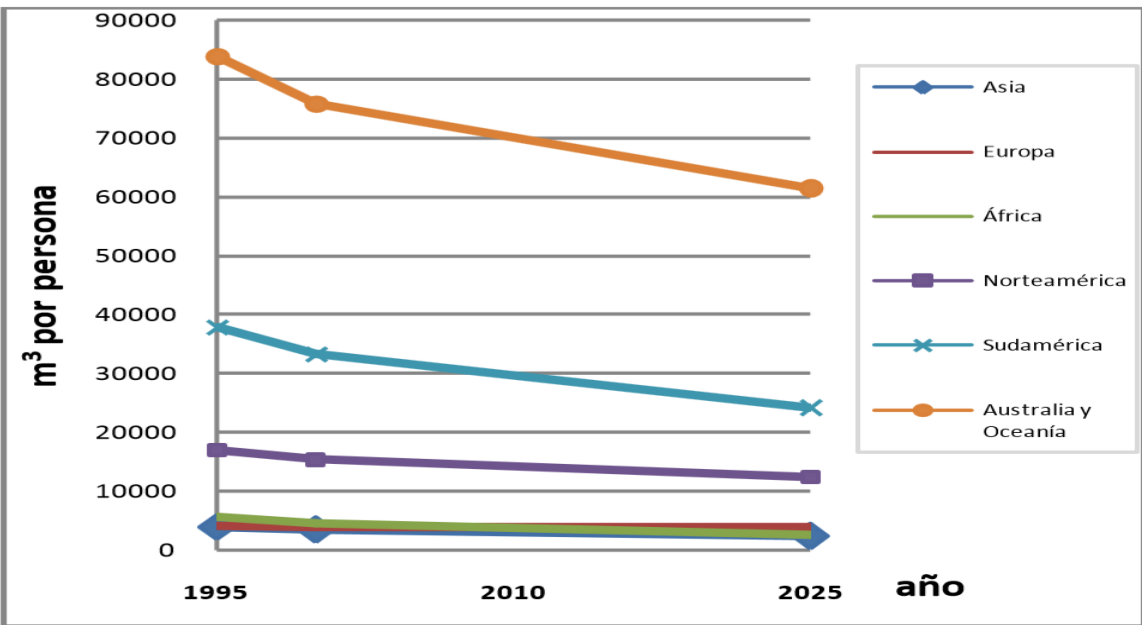


Figura 7. Pronostico de la disponibilidad de recursos hídricos per cápita

Fuente: Benavides (2010, p. 33) adaptado de (Moriarty P. et al 2006)

### 1.3 El estado de los recursos hídricos en Guatemala

#### 1.3.1 Disponibilidad de recursos hídricos

El análisis de los balances anuales de disponibilidad hídrica elaborados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH, 2006 y 2009) y por el programa del Plan Maestro de Riego (PLAMAR), “permite estimar que el país cuenta con una disponibilidad de 97,120 millones de m<sup>3</sup> anuales de agua” (SEGEPLAN, 2006, p. 33 y 2006 a, p. 83); “se estima que las aguas subterráneas representan alrededor de 33,699 millones de m<sup>3</sup> anuales de agua” (INSIVUMEH, 2009, p. 97).” La disponibilidad total anual equivale a una cantidad siete veces mayor que la establecida como límite de riesgo hídrico de acuerdo con el estándar internacional de 1,000 m<sup>3</sup> /habitante/año “(SEGEPLAN, 2006; MARN et al, 2009, p. 33).

Del volumen total de agua disponible anual se estima que sólo se aprovecha cerca de 9,700 millones de m<sup>3</sup> que equivalen al 10% de dicho total. Sin embargo, “la cantidad de agua disponible estimada del mes más seco del año es aproximadamente 4,800 millones de m<sup>3</sup>, que se distribuye naturalmente de forma irregular en 3 vertientes y 38 cuencas” (SEGEPLAN, 2006, p. 33 y 2006 a, p. 83) “provocando estrés hídrico tanto en el altiplano oriental como en el altiplano central occidental, la costa sur y el norte de Petén, pues las demandas de agua son superiores a la oferta estacional” (IARNA-URL e IIA, 2006, p. 41). Se considera que la demanda anual llegará a duplicarse en el año 2025.

Por ello, se estima que esta gran disponibilidad de agua a escala nacional y anual es “teórica” porque de hecho no se satisfacen todas las demandas a escala local y mensual. “Esto se debe a múltiples factores tales como la variabilidad espacio temporal del clima, la influencia de la topografía y ubicación de las poblaciones respecto a la accesibilidad de las fuentes de agua, pero especialmente se debe a la ausencia de un sistema nacional, institucionalizado, de gestión y gobernanza del agua con actividades planificadas, coherentes y coordinadas” (Andreu, 1993, p. 391; Azpurua y Gabaldón, 1976, p. 92; Colom et al, 2010, p. 20).

Dicha disponibilidad es función del régimen ordinario del ciclo hidrológico y se ve afectada por la variabilidad climática extrema expresada por la sequía (como la del año hidrológico 2009-2010) o por las inundaciones (como las acaecidas con la tormenta Agatha 2010). Entonces Guatemala necesita intervenir el ciclo hidrológico, como se hace en los países desarrollados, mediante medidas y obras de regulación para almacenar y transportar agua y para laminar su flujo y disminuir amenazas.

“El índice estacional de almacenamiento del país es del 1.5%, que equivale a cerca de 475 millones de m<sup>3</sup> de agua de los que la presa de Chixoy representa el 96%” (SEGEPLAN, 2006, p. 33); entre otras razones, “la capacidad de almacenamiento está afectada por la deposición de sedimentos en los

embalses” (Andreu, 1993; Azpurua y Gabaldón, 1976, p. 92). Se puede concluir que Guatemala no cuenta con capacidad instalada para regular y almacenar el agua, lo que significa precarias posibilidades de asegurar la dotación de agua a las diversas demandas y la gestión apropiada de los riesgos naturales, todo lo cual impacta la salud, el ambiente y las oportunidades productivas.

El crecimiento de la población de Guatemala se ha mantenido en un 2.5 % desde el año 2004 al 2013 según el Banco Mundial, mientras que el mundo se ha mantenido en un 1.2 % para ese mismo periodo. Este dato es importante revisarlo y compararlo para tener una línea base, en cuanto a la evaluación de la demanda del agua.

### 1.3.2 Usos y aprovechamientos del agua en Guatemala

La proporción en la extracción de agua para satisfacer las demandas en Guatemala es similar a la del resto del mundo según (SEGEPLAN, 2006 a, p.33), datos que se aprecian en la Tabla 4, que se se muestra a continuación :

Tabla 4. *Usos del agua en Guatemala.*

Uso	% Demanda Hídrica total	% del uso consuntivo	% del uso no consuntivo
Agropecuario	41	77	
Doméstico	9	16	
Industrial	3	7	
Turístico	n/d	n/d	
Caudal Ecológico	n/d	n/d	
Hidroeléctrico	47	n/d	99
Total	100	100	

Fuente SEGEPLAN (2006, p. 33)

Estimaciones realizadas en el año 2006 (SEGEPLAN, 2006, p. 83 y 2006a, p. 33) “de la demanda total anual de agua indican que 5,143 millones de m<sup>3</sup> de agua al año se destinan a usos consuntivos (53.6 %) como el agropecuario, el doméstico y el industrial, y que los usos no consuntivos (46.4 %) de agua

demandan 4,453 millones de m<sup>3</sup>, en donde la hidroelectricidad representa casi la totalidad del uso”.

Comparando las demandas (5,143 + 4,453 = 9,596 millones de m<sup>3</sup> de agua al año) con el volumen anual disponible de agua (97,120 millones de m<sup>3</sup> anuales de agua), “es evidente que el país posee altos potenciales para aprovechamientos convencionales como el riego y la hidroelectricidad superiores al 75% y 85% respectivamente, y para actividades turísticas” (SEGEPLAN, 2006, p. 83).

“La ineficiencia del uso de agua por parte de las actividades agrícola e industrial queda manifiesta al comparar su aporte al PIB y su consumo de agua “(URL/IARNA, 2009, p. 64). Además la superficie cultivada con prácticas de riego se duplicó en el período 1996-2006, llegando a alcanzar aproximadamente 3,100 km<sup>2</sup>, que equivalen al 25% del área potencial nacional.

El agua empleada es un 75% de tipo superficial y la restante, subterránea (ello sin considerar agua de lluvia). “En la última década, la intervención del Estado en este sector usuario ha sido mínima y la ampliación del riego se ha dado desde el sector privado hacia cultivos altamente rentables, incorporando técnicas más eficientes como el goteo y la aspersión” (SEGEPLAN, 2006, p. 83 y 2006 a, p.33).

Al año 2011 el país dispone de una capacidad instalada efectiva de 2,188 MW, de los cuales 803 MW (37%) corresponden a centrales hidroeléctricas y los 1385 MW restantes (63%), corresponde a centrales térmicas, incluyendo motores de combustión, plantas de carbón, ingenios cogeneradores y geotérmicas.

El potencial hidroeléctrico factible de Guatemala, según cálculos realizados por el Ministerio de Energía y Minas, se estima en los 6,000 MW, de los cuales únicamente se aprovecha únicamente el 13%.

En cuanto a la propiedad de la generación hidráulica, el INDE participa con una capacidad efectiva de 443 MW, mientras que el sector privado con 360 MW.

“En la Política Nacional del Agua se exhibe claramente la relación del agua con la sociedad, especialmente en el tema de los servicios públicos de agua potable y saneamiento por su vínculo directo con el desarrollo humano y cómo la falta o deficiencia de los mismos inhibe el logro de objetivos sociales” (Colom, 2010, p. 35).

“Los temas considerados urgentes y relevantes se vinculan con lograr cobertura universal de agua potable y saneamiento en el área rural y mejorar notablemente la calidad de éstos en las ciudades” (Lentini, 2010, p. 45; SEGEPLAN, 2006, p. 33).

“La cobertura de agua potable ha mejorado durante los últimos años, hasta llegar al 78.7% de la población, dato oficial del año 2006”(SEGEPLAN, 2010, p. 64), pero no hay estadísticas sobre la calidad de los servicios, la que se estima en general baja. “Cerca de 3 millones de guatemaltecos se abastecen de fuentes naturales cuya calidad no es confiable, y si prevalece el ritmo de crecimiento de la tasa poblacional y de la inversión en el subsector, para el 2025 serán 5 millones de habitantes quienes no tengan acceso a estos servicios “(Galindo y Molina, 2007, p. 101; SEGEPLAN, 2006, p. 33), afectando con mayor intensidad a las mujeres, dada la asignación histórica y social de sus responsabilidades domésticas y cuidado familiar.



### 1.3.3 Principales problemas del agua en Guatemala

Se han identificado 4 grandes áreas de trabajo dentro de las cuales existen muchas oportunidades de mejora por implementar las cuales son:

1. Falta de certeza jurídica: Actualmente, el régimen legal e institucional del agua vigente se integra por un conjunto de disposiciones dispersas en leyes generales, ordinarias y especiales, emitidas entre el año de 1932 y el año 2010 basadas en principios políticos, económicos, sociales y ambientales disímiles, que no favorecen la gobernanza eficaz del agua pues presentan importantes vacíos, contradicciones, pasajes oscuros y ambigüedades. Existen numerosas unidades administrativas y/o programas y proyectos dispersos en diferentes ministerios, entes descentralizados y autónomos, con competencias en ámbitos territoriales distintos (desde el nacional al local o a nivel de cuenca hidrográfica) y 333 autoridades que de forma independiente regulan y prestan los servicios públicos de agua potable y saneamiento (Colom, 1978; Colom et al, 2010, p. 20, p. 40; SEGEPLAN, 2006, p. 33).
2. Falta de información: Según el Plan Sectorial de Ambiente y Agua (MARN et al, 2010) identificó “la necesidad de generar información y conocimiento, mediante el fortalecimiento de los sistemas de información sobre los temas relacionados al agua, para medir indicadores de resultados y servicios y la toma de decisiones” (p. 268).
3. El agua dulce para consumo humano: Según (Galindo y Molina, 2007, p. 101; SEGEPLAN, 2006, p. 33) “Los principales rasgos de los sistemas municipales de prestación de los servicios de agua potable y aguas residuales son:

- a) Solo el 15% de las aguas abastecidas son desinfectadas previamente;
- b) La capacidad de la infraestructura es subutilizada;
- c) La presión y continuidad de los servicios no es regular;
- d) Las tarifas no cubren los costos de operación y mantenimiento; y subsidian los servicios en las cabeceras municipales.
- e) Se carece de catastros de usuarios actualizados; y no se regula ni vigila la calidad de los servicios prestados por operadores privados”.

4. En cuanto a las aguas residuales:

- a) “El beneficio de aprovechar las aguas conlleva la responsabilidad de disponer adecuadamente de las aguas residuales o sobrantes, es decir, las aguas contaminadas” (SEGEPLAN, 2006 a, p. 83) debido a su carácter general y porque solo el 5% de los 1,660 millones de m<sup>3</sup> de las aguas residuales que se estima se producen anualmente, recibe algún tratamiento previo a su disposición al ambiente.
- b) “La cobertura de servicios mejorados de saneamiento del año 2006 equivale al 55% de la población” (SEGEPLAN, 2010, p. 64), “pero es destacable la inequidad existente de dicha cobertura entre el ámbito urbano y rural” (SEGEPLAN, 2008, p. 29), pues “en el ámbito urbano la cobertura es del 83% mientras que en lo rural alcanza únicamente el 22%” (INE, 2006, p. 45).
- c) La OPS señala que la contaminación del agua en el país es la mayor amenaza a la salud de las personas, compromete fondos públicos en acciones sanitarias de curación y no de prevención, inhibe o limita actividades agrícolas productivas y “amenaza conglomerados importantes, como el turismo asociado con cuerpos de agua” (SEGEPLAN, 2006 a, p. 83).

### **1.3.4 Relación de los recursos hídricos con el cambio climático**

Según SEGEPLAN, 2010 a, la recurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos en Guatemala retrasa el avance limitado del crecimiento y desarrollo por los daños y pérdidas provocados (p. 268):

1. En 1998 con el huracán Mitch mueren 268 personas y se dan pérdidas por US\$748.0 millones;
2. En 2001 la irregularidad de lluvias en el oriente del país provoca sequía en 102 municipios y la pérdida del 80% de los cultivos de maíz y frijol de la primera cosecha;
3. En 2005 la tormenta tropical Stan ocasionó la muerte de 669 personas y pérdidas por US\$988.3 millones;
4. En 2008 la depresión tropical número 16 causó daños y pérdidas en 27 municipios;
5. En 2009, la sequía afectó varios municipios del país, ubicados especialmente en el denominado “corredor seco”, y se propaga la cianobacterias en el lago de Atitlán;
6. En 2010 la erupción del volcán de Pacaya y la lluvia excesiva de la tormenta tropical Agatha provocaron 165 fallecimientos y pérdidas por US\$982 millones.

El agua es común denominador de todas estas circunstancias (ya sea por sequías o inundaciones) y las lecciones aprendidas de sus devastadores impactos confirman que sin mejorar las capacidades de gestión y gobernanza del agua, Guatemala continuará siendo uno de 10 países más vulnerable en Latinoamérica a los efectos del Cambio Climático en donde la sociedad está expuesta a amenazas y daños recurrentes (Colom et al, 2010, p. 35).

“Uno de los hallazgos principales de la política y estrategia de gestión integrada de recursos hídricos “(SEGEPLAN, 2006, p. 33) es el de la necesaria gestión de los riesgos hídricos. “En Guatemala, se tiene constancia documentada de la ocurrencia de eventos naturales extremos desde el siglo XVI cuando fue destruida Ciudad Vieja, por efecto de la lluvia y los deslizamientos de tierra” (Rodríguez, 1541, p. 83).

El cambio en la temperatura media global en la superficie para el período 2016-2035, en relación con el período 1986-2005, esté en el rango de 0,3 a 0,7 grados centígrados (nivel de confianza medio). Esa evaluación se basa en varias líneas de evidencia y en el supuesto de que no se producirán erupciones volcánicas importantes ni alteraciones persistentes en la irradiación solar total (IPCC 2013, p. 43).

En relación con la variabilidad interna natural, se prevé que los aumentos a corto plazo en las temperaturas medias estacionales y anuales serán mayores en los trópicos y subtropicos que en las latitudes medias (nivel de confianza alto). En cuanto a la precipitación se estiman incrementos de los periodos de sequía y por lo tanto incremento del estrés hídrico.

En conclusión, se puede afirmar que la relación que existe entre los recursos hídricos y los pronósticos del IPCC 2013 son:

**Primero:** Al incrementarse la temperatura media global en la superficie de la tierra, también se incrementara la evapotranspiración y por la tanto al realizarse los balances hídricos en las diferentes regiones de Guatemala el resultado final será, de menores recursos hídricos a disposición de las comunidades, por lo tanto se pronostica un incremento en el estrés hídrico.

**Segundo:** Al incrementarse los periodos entre una lluvia y otra, el resultado final es mayor tiempo sin lluvia, y si a esto se le suma que caen más milímetros de agua por unidad de tiempo, la consecuencia final será de un incremento en la escorrentía total, en las calles, drenajes y ríos, por lo tanto menor tiempo para la infiltración de agua hacia los mantos freáticos, o sea menos recarga de los acuíferos y nuevamente, menor agua disponible para las comunidades, por lo tanto también se pronostica un incremento en el estrés hídrico, más las secuelas de inundaciones, y riesgos hacia las personas.

Los eventos extraordinarios de sequías (año hidrológico 2009-2010), inundaciones, deslizamientos y lahares que se han vivido en Guatemala (tormenta Agatha 2010) continuarán en el futuro, exacerbados por los impactos del cambio climático como lo indican los escenarios previstos para el país y la región centroamericana. Por lo tanto deben generarse capacidades institucionales para gestionar estos riesgos naturales.

El país tiene dificultades para acceder al enorme volumen de agua disponible y responder a las necesidades planteadas y prever los requerimientos futuros, situación que contribuye a que la disponibilidad hídrica y otros parámetros socioeconómicos se vean impactados directamente por los eventos hidrometeorológicos extraordinarios del cambio climático.

Por otro lado, “no se han consolidado sistemas integrales de gestión de sequías e inundaciones para hacer que las medidas preventivas de gestión del agua sean centrales, y con ello reducir a cero la pérdida de vidas y minimizar los impactos ocasionados a la economía” (SEGEPLAN, 2006, p. 33; Colom et al, 2010, p. 20).

### **1.3.5 Relación de los recursos hídricos con la pobreza**

La contribución del agua a la economía guatemalteca es directa. “Se ha estimado que el aprovechamiento hídrico participa en el 70% de las actividades que conforman el PIB y que la generación directa del valor agregado del agua es equivalente al 5.6% del PIB, expresado en una suma cercana a Q13, 400 millones anuales” (SEGEPLAN, 2006, p. 33 y 2006 a, p. 83). El riego sirve además como insumo para el 18% del total de las exportaciones.

“Se ha establecido que el crecimiento del producto interno bruto (PIB) de los últimos años en Guatemala es proporcional al crecimiento del uso de agua de los sectores agropecuario e industrial “(MARN et al, 2009, p. 286).

Otra evidencia de que la contribución de la gestión y gobernanza del agua para la economía nacional es real y directa queda manifiesta ante los impactos derivados de la variabilidad climática extrema expresada en las sequías e inundaciones de los últimos años en el país y que “para el caso del Huracán Mitch en 1998 y de la tormenta Agatha en 2010 significó pérdidas del PIB del 1.6% y el 1.0% respectivamente” (SEGEPLAN, 2010 a, p. 85).

Por otra parte, según Franco (2008) “un 70% de las personas en condiciones de pobreza a nivel mundial son mujeres” (p. 56). Lo anterior se debe en parte también a que se somete a las mujeres a una dependencia directa de los recursos naturales para la realización de sus labores domésticas (acarrear agua, coleccionar leña y forrajes). Además tienen poco acceso a la tecnología y al crédito. “En Guatemala por ejemplo, en las zonas rurales el 75% de los hogares con jefatura femenina son considerados pobres” (INE, 2012, p. 4). Estos hogares

al enfrentar situaciones adversas extremas (incluyendo desastres naturales), tienen menor capacidad de respuesta.

### **1.3.6 Relación de los recursos hídricos con la educación**

Se han identificado que con relación al abastecimiento del agua en los centros educativos, en cuanto los servicios sanitarios se refieren, cuando este es precario, se genera inasistencia y eventual deserción especialmente niñas.

La divulgación de cómo las prácticas cotidianas se han arraigado en el imaginario de los ciudadanos, tales como el uso de mangueras para lavado de vehículos, patios, aceras, sin estar conscientes del desperdicio de cientos de litros de agua potable, ha puesto en evidencia la necesidad de fomentar prácticas modernas, creativas, que fomenten la conciencia ambiental, el cuidado y ahorro del agua.

“Según la Estrategia Nacional del agua tiene contemplado una línea de acción que promueve la generación de conocimiento mediante el desarrollo de investigación, sistematización, difusión, aprendizaje y puesta en práctica de las experiencias” (SEGEPLAN, 2008, p. 29), a través del Sistema Gerencial en Salud SIGSA del Ministerio de Salud.

La Municipalidad de Guatemala a través de su Empresa Municipal de Agua EMPAGUA mantiene un programa permanente de educación ambiental, sensibilizando a los jóvenes y estudiantes en la imperiosa necesidad de darle buen cuidado al agua. Así también como se ha encargado de dar a conocer el proceso de captación, tratamiento, potabilización y distribución de agua en la ciudad, a través de visitas a la Planta de Tratamiento de Agua “Lo De Coy”, promoviendo la visita de centros educativos de todos los niveles, incluidos universidades, estatal y privadas.

Pero este esfuerzo en la educación ambiental no se debe centrar únicamente en el cuidado del agua potable que llega a los hogares de los usuarios, se debe buscar un mayor alcance, como el cuidado de las cuencas, con ello se contribuye a la conservación de fuentes hídricas, buscando reducir la contaminación de las áreas públicas. Diariamente se acumulan residuos de toda actividad que se realice, tanto en el hogar como en el comercio, industria o centros educativos, y es necesario educar a la población para una apropiada disposición final de esos desechos, para evitar que lleguen a contaminar las cuencas, que sumado a los altos índices de deforestación, terminan afectando las recargas de los mantos freáticos y fuentes de recursos hídricos.

### **1.3.7 Relación de los recursos hídricos con la salud**

Según la OMS (2012), indica que la situación en Guatemala, solamente el 10 por ciento de la población urbana y 40 por ciento de la rural no cuentan con acceso a agua potable. Sin embargo, en saneamiento, la falta de acceso es mayor, ya que en el área urbana es de 23 por ciento y en la rural de 83 por ciento (p. 86).

Según el análisis indica que, aunque se considera “buena” la cobertura de agua, la calidad no lo es, pues no se siguen estándares internacionales sobre cloración y fluorización del líquido, además dice “Se está recibiendo agua entubada, pero no es agua que reúna las condiciones de potabilidad. En muy pocas cabeceras departamentales se llenan los requisitos” (OMS 2012, p. 102)

“Se estima que un incremento del 10% en la cobertura de sistemas adecuados de agua potable de hogares urbanos implicaría disminuir un 8.2% la probabilidad de que exista desnutrición infantil global y, a su vez, disminuir la tasa de mortalidad materna de 153 a 116.33 muertes por cada 100,000 niños nacidos vivos” (SEGEPLAN, 2006 b, p. 31). No obstante, “sigue siendo necesario una evaluación a detalle que indique cómo la inversión en agua potable y



saneamiento ha impactado a la población, el número total de personas beneficiadas y la relación de esta inversión con los niveles de pobreza, desnutrición y morbilidad y mortandad” (SEGEPLAN, 2006, p. 33).

Según el INE (2012), “las enfermedades diarreicas son la tercera causa de mortalidad infantil del país y afecta al 7 por ciento de ese sector de la población” (p. 4). El problema también perjudica a unas cuatro mil personas y el número sigue en aumento, pues al estar infectada el agua se contaminan los alimentos y se expone a los comensales a bacterias como E. Coli, Shigella y Salmonella. El problema se agudiza con mayores riesgos de contaminación al conocer que 13.5 por ciento de hogares del área rural y 1.9 de familias de sectores urbanos no tienen un lugar para deposición de excretas.

Según la OMS (1993) las directrices establecidas para considerar que el agua es segura para el consumo humano, debe cumplir con los siguientes puntos de referencia básicos (p. 66):

1. Nivel bacteriológico, no debe tener organismos que causen enfermedades, ni que se originen en la flora intestinal animal o humana.
2. Nivel físico, su aspecto debe ser claro y transparente, su temperatura debe asegurar que sea fresca y su sabor debe ser “no objetable”.
3. Química, debe superar el límite de sustancias químicas (plomo, arsénico, cromo) en el agua para consumo humano puede causar intoxicación.
4. Biológico, el agua no debe contener organismos animales ni vegetales (plancton) superior a 300 unidades por mililitro.
5. Radiológico, el agua que se utiliza para consumo humano no debe tener sustancias radiactivas, pues es muy dañino para el usuario.

Para el caso de Guatemala la norma vigente que regula este aspecto es la norma COGUANOR 29001 en la cual indica, que para que el agua sea potable

al menos debe contener un 1 parte por millón (un miligramo por litro) de cloro, que sea incolora y que no tenga un sabor desagradable, y libre de impurezas.

### **1.3.8 Marco legal de los recursos hídricos en Guatemala**

En Guatemala existen normas dispersas en distintos cuerpos legales, que regulan de una u otra forma el recurso agua. Este desorden normativo, así como la incongruencia de las disposiciones que en relación con el agua contiene la Constitución Política de la República, son la principal causa de la existencia y proliferación de leyes sobre la materia que muchas veces se contradicen entre sí, dificultando su aplicación y creando incertidumbre jurídica en cuanto a la propiedad, aprovechamiento y administración de tan preciado recurso.

Como solución a la ausencia de principios rectores y claros en la legislación hídrica nacional se han planteado varias iniciativas de ley de aguas que regule todo lo relativo a su aprovechamiento, uso, goce, y derogue toda la legislación existente sobre la materia. Sin embargo, plantear una solución como esta, sin contar primero con principios constitucionales inequívocos y sólidos en relación al dominio y propiedad de dicho recurso, es muy riesgoso.

Según Colom et al, (2010) La constitución Política de la Republica es incongruente al tratar el tema del agua en sus artículos 121 y 127. Por una parte, en el artículo 121 inciso b) se dice: “Son bienes nacionales.....las aguas no aprovechadas por los particulares, en la extensión y términos que fija la ley” lo que significa un término contradictorio (contrario sensu) pues las aguas que son aprovechadas por particulares, entonces no son propiedad del Estado y pueden ser sujetas a propiedad privada (p. 35)

Según Colom et al, (2011) indica que en el artículo 127 de la Constitución señala: “Todas las aguas son de dominio público, inalienables e imprescriptibles”

entonces estas normas son contradictorias y dan lugar a las siguientes preguntas:

1. Si se reconoce la existencia de la propiedad privada de las aguas, ¿Cómo pueden ser todas las aguas de dominio público?
2. Si todas las aguas son de dominio público, ¿Cómo puede haber aguas aprovechadas por particulares?
3. ¿De quién son las aguas aprovechadas por particulares a partir de 1986?
4. ¿Son las aguas propiedad del Estado o son propiedad privada?
5. ¿Puede hablarse de propiedad privada de las aguas aprovechadas por particulares después de 1986, o solo puede hablarse de derechos de propiedad sobre las aguas aprovechadas por particulares con anterioridad a esa fecha?

Es muy difícil responder a tales preguntas, pues ante la disyuntiva de poder resolver el problema en materia de legislación hídrica nacional, antes de emitir una ley de aguas, que derogue la legislación vigente, obviando la tradición legislativa, la jurisprudencia y la costumbre, que a lo largo de los años ha reconocido la existencia de derechos de propiedad sobre las aguas, se haga una depuración y reforma de dicha legislación, para evitar la multiplicidad de normas, la duplicidad de regulación y de funciones, el traslape o ausencia de responsabilidades, las fallas en coercitividad de sus preceptos y la incertidumbre sobre su vigencia (p. 22).

En el 2008 el Gobierno de Guatemala prioriza el tema “agua” por su relevante contribución al desarrollo del país y adopta medidas gubernamentales generales; creando el Gabinete Específico del Agua -GEA- (Acuerdo Gubernativo 204-2008) y “le asigna como parte de sus objetivos y funciones la revisión y actualización de la propuesta de Política y Estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos” (SEGEPLAN, 2006, p.33).

Resultado del GEA fue la publicación de la Política Nacional del Agua y la Estrategia Nacional del Agua de Guatemala, basada en 4 líneas estratégicas las cuales son:

- 1 “Agua Potable y Saneamiento para el Desarrollo Humano”
- 2 “Conservación, protección y mejoramiento de fuentes de agua, bosques, suelos y riveras en cuencas.
- 3 “Planificación hidrológica, obras hidráulicas de regulación y gobernabilidad del agua.
- 4 “Política pública y régimen legal e institucional de recursos de aguas internacionales.

Para conocer un poco más acerca de los intentos que se han tratado de impulsar en relación a la aprobación de una ley de agua se puede revisar el anexo 4.

### **1.3.9 Soluciones recomendadas a los problemas del agua en Guatemala**

Debido a lo relevante que representa el agua en la sociedad diversos organismos han propuesto algunas soluciones a la problemática actual, las cuales se presenta a continuación:

1. Según la Comisión Mundial del Agua, los países industrializados en la OCDE han desarrollado un 70% de su capacidad de almacenamiento de agua en embalses, mientras que la mayoría de los países en vías de desarrollo han desarrollado apenas un 20%, para el caso de Guatemala apenas alcanza 1.5 % distribuidos en 7 embalses, dentro de los cuales se puede mencionar la represa de Xaya Pixcaya principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad capital. La causa principal de esta debilidad probablemente sea la falta de recursos económicos y voluntad política, generando desigualdades a la hora de enfrentarse a este problema.

2. Asegurar la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento de las ciudades es también un tema estratégico para la economía del país, pues con servicios públicos de mejor calidad en pueblos y ciudades del país se favorece el intercambio comercial y la competitividad en general (esta es una de las causas por las que Guatemala ocupa el puesto número 80 de 104 del índice de competitividad global).
3. Promover el desarrollo del potencial hidroeléctrico contribuiría a reducir considerablemente el costo del kilovatio/hora y con ello a mejorar las condiciones de competitividad del país.
4. “Mejorar el aprovechamiento del potencial del agua para riego permitirá incrementar las exportaciones agrícolas y contribuir al desarrollo económico desde lo rural “(SEGEPLAN, 2006, p. 33).
5. Según SEGEPLAN, (2006) indica “modernizar la red nacional de medición hidrológica y climatológica de INSIVUMEH es de suma importancia ante la escasez de datos a escala nacional” (p. 33) y la falta de control sistemático de calidad del registro; dicho sistema tampoco ha favorecido alianzas estratégicas para integrar los datos generados con otras redes de medición del sector público –INDE, MARN-, del sector privado -Instituto privado de cambio climático, ANACAFE - y la academia -IARNA, ERIS, FAUSAC, UVG-
6. Según el MARN et al, 2009 se debe “mejorar y actualizar las estimaciones de la oferta hídrica nacional, pues poseen incertidumbres por las diversas metodologías de cálculo y por la debilidad de los sistemas de registro, procesamiento y análisis de datos hidrometeorológicos” (p. 289).

El marco político del agua incluye también otras políticas públicas de orden económico, social y ambiental, dirigidas a la protección y conservación de los recursos naturales y ambiente, que posibilitan el desarrollo humano sostenible y

para ello se presenta un breve resumen en el anexo 7 donde se puede revisar las diversas leyes vigentes que apoyan la gestión del agua.

#### **1.4 Situación de los recursos hídricos en la Ciudad Guatemala**

“La ciudad capital de Guatemala en los últimos 10 años ha tenido un crecimiento de casi el 20 % de su población llegando a alcanzar a los 3.2 millones de habitantes” (INE, 2012, p. 4), con una población base de 0.995 millones, lo cual indica que existe una población flotante 2.205 millones, demandando servicios básicos, de entre los cuales el recurso agua es uno de los mas importantes a contemplar. Las autoridades municipales, en el afán de suplir estas demandas, se ven cada día más amenazadas en no poder abastecer de este vital liquido a la población y se ven obligados a racionar el agua que en mucho de los casos no se hace de forma ecuánime pues algunos sectores son más beneficiados que otros.

Esta función recae directamente en la municipalidad capitalina, y esta a su vez tiene una empresa que se dedica a la gestión del recurso, tanto como a la investigación de nuevas fuentes de captación, tratamiento, distribución y comercialización de la misma en la llamada EMPAGUA.

Según EMPAGUA (2010), actualmente produce más de 10 millones de m<sup>3</sup> de agua potable mensualmente por medio de 5 plantas de tratamiento de agua superficiales las cuales son:

1. Lo de Coy,
2. Santa Luisa,
3. El Cambray,
4. Las Brisas y,
5. Las Ilusiones)

Mientras que en el caso de las fuentes subterráneas, cuenta con 80 pozos mecánicos (uno de los más importantes Ojo de agua al sur de la capital) que han sido perforados en diferentes zonas de la ciudad y 3 estaciones de bombeo (P. 23).

La historia del abastecimiento del agua potable en la Ciudad de Guatemala data antes del traslado de la Ciudad al Valle de la Ermita 1774. A más de tres siglos de haberse trasladado la ciudad de Guatemala al Valle de la Ermita, los 1,860 metros cúbicos de agua que se utilizaban para surtir a los vecinos de la ciudad son sólo un lejano recuerdo, para mayores detalles véase el anexo 5.

Actualmente, la Empresa Municipal de Agua abastece del vital líquido a los vecinos de la Ciudad de Guatemala a través de los siguientes sistemas de producción y plantas de tratamiento:

Tabla 5. *Distribución del agua en ciudad Guatemala*

SISTEMAS	ZONAS
Sistema El Cambray y estación de bombeo Hincapié	9, 10, 13, 14, 15
Sistema Santa Luisa	5 y 6 en su totalidad 1, 4, 10 y 17 parcialmente
Sistema La Brigada	7, 11 y 19
Planta de Bombeo Ojo de Agua	1, 3, 8, 9, 12, 13, 14, 21 y caserío El Frutal, San Miguel Petapa
Sistema Las Ilusiones y planta de bombeo El Atlántico	17 y 18
Sistema Xayá Pixcayá y planta Lo de Coy	1, 2, 3, 6, 7, 8, 11 y 19 4 y 18 parcialmente
Sistema de Pozos	1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 8, 19, 21 parcialmente

Fuente EMPAGUA, (2013, p.3)

El agua cruda contiene diversas sales, así como materiales orgánicos microscópicos, tales como: grava, arena gruesa, arena fina, arcilla, bacterias,

partículas coloidales, etc. Por consiguiente es necesario llevar a cabo algunos procesos de tratamientos para purificar el agua y ponerla en óptimas condiciones para el consumo humano, para mayores detalles véase el anexo 6.

### Estructura de la Tarifa

The image shows a water bill from EMPAGUA. The bill number is 0929409. It includes a table for meter readings and a table for monthly consumption rates. The annotations point to the following fields:

- 1: FACTURA No. 0929409
- 2: No. de contador
- 3: VALOR CONSUMO
- 4: VALOR ALCANTARILLADO
- 5: SALDO ANTERIOR
- 6: VALOR CONSUMO
- 7: VALOR ALCANTARILLADO
- 8: VALOR OTROS CARGOS

Figura 8. Descripción, factura de cobro de agua. Fuente EMPAGUA (2013, p. 6)

1. Metros cúbicos consumidos en el periodo establecido.
2. En función de consumo mensual se establece el rango tarifario que se cobra al usuario (ver Tabla 6).
3. Costo que incurre la empresa por el manejo de la cuenta del usuario, entendiéndose como tal, la toma de tura, análisis, facturación, entrega de la factura, cobro del mismo y manejo contable.
4. Se cobra el 20% de lo que corresponde al valor del consumo de agua, únicamente a los inmuebles que gozan con el mismo. El alcantarillado se refiere a la evacuación de aguas servidas, drenajes de lluvias, Etc.
5. Es el interés que EMPAGUA cobra a los usuarios que mantienen un saldo pendiente de pago en sus cuentas.
6. Estos se relacionan con los servicios brindados por EMPAGUA a los clientes y que no fueron cancelados oportunamente en las cajas registradoras de La Empresa.



7. Es el adecuado que el usuario mantiene con la empresa durante el mes previo a la facturación.
8. Se refiere a la suma de los cargos del mes y saldos anteriores.

Tabla 6. *Tarifas vigentes de agua*

Rango de Consumo en Mt.3	Costo m 3
1 a 20	Q. 1.12 (Más IVA)
21 a 40	Q. 1.76 (Más IVA)
41 a 60	Q. 2.24 (Más IVA)
61 a 120	Q. 4.48 (Más IVA)
120 a más	Q. 5.60 (Más IVA)

Fuente EMPAGUA (2013, p. 4)

De acuerdo a SEGEPLAN, (2006) “en el área metropolitana de la Ciudad de Guatemala y otras ciudades del sistema urbano nacional los retos más importantes son los siguientes” (p. 33):

- 1 Sobreexplotación de acuíferos y ausencia de capacidad legal para regular su aprovechamiento;
- 2 Merma de la capacidad de recarga de los acuíferos ante la impermeabilización del suelo y pérdida de áreas verdes provocado por el crecimiento urbano;
- 3 Dificultad de incrementar la oferta transportando agua desde predios situados fuera de su jurisdicción;
- 4 Dificultad para disponer adecuadamente sus aguas residuales y generación de perjuicios a la salud e inhibición de aprovechamiento productivo aguas abajo.
- 5 Según SEGEPLAN, 2006 y 2006a se estima que el origen de la contaminación hídrica en Guatemala es el siguiente:
  - 5.1 Contaminación orgánica, aguas residuales domésticas, un 40%;

- 5.2 Efluentes industriales, puntual (tóxicos, metales, colorantes, orgánica) un 13%;
- 5.3 Agroindustria, puntual (agroquímicos), un 7%;
- 5.4 Agropecuaria no puntual (Agroquímicos), un 40%.

Aun cuando no se cuenta con información ni controles sistemáticos, un estudio de caso realizado por SEGEPLAN (2006), como parte del diagnóstico indica “que la carga de contaminación por demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y por demanda química de oxígeno (DQO) generada por la agroindustria e industria es mayor a la generada por las comunidades expresada en población equivalente “ (p. 33), (Población equivalente: Este factor sirve para relacionar la carga de contaminación de la agroindustria e industria con la generada por las Municipalidades; se calcula dividiendo la carga de contaminación generada por la agroindustria e industria, calculada al multiplicar la descarga de agua por la concentración de DBO y DQO, entre la carga de contaminación generada por una persona, calculada al multiplicar 200 litros al día por 250 miligramos de DBO por litro (0.01825 toneladas / año)). Los consumos hídricos en ciudad de Guatemala, se pueden dividir en tres servicios básicos, tal y como se muestra en la figura 9, que se muestra a continuación:

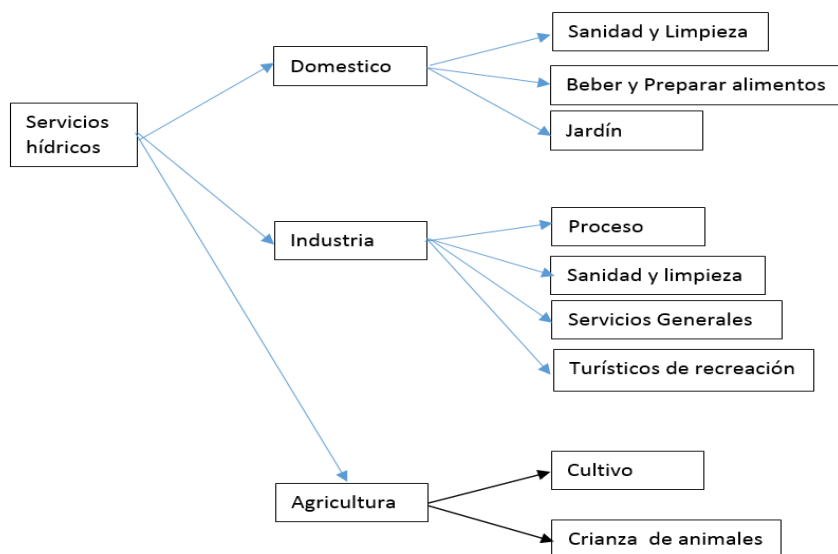


Figura 9. Usos del agua en ciudad Guatemala. Fuente elaboración propia.

#### 1.4.1 Estudios realizados sobre agua en Ciudad Guatemala

A continuación, se presenta un resumen sobre los estudios realizados en el tema del agua, la búsqueda se realizó sobre estudios prospectivos, sobre sostenibilidad hídrica, sobre agua dulce, contaminación del agua, todos en el área metropolitana de la ciudad de Guatemala y pueden revisarse con mayor detalle en el anexo 1.

Los sitios seleccionados para la búsqueda fueron: EMPAGUA (Empresa Municipal de Agua), IARNA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente), INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales), MEM (Ministerio de Energía y Minas, MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación), BANGUAT (Banco de Guatemala), SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia), CIEN (Centro de Investigaciones Económicas Nacionales), Universidad de San

Carlos, Universidad Rafael Landívar, Universidad Mariano Gálvez, Universidad del Valle, Universidad Francisco Marroquín, en la facultades de Economía, Ingeniería y agronomía, a nivel de post-grado y de licenciatura.

Los años seleccionados fueron del 2005 a la fecha. Y lo que se buscó, fue ver si hacían referencia unos con otros, si se conjugaban, si fueron aislados, cuales fueron sus aspectos positivos y que les faltó, pues con esto se pretende demostrar que no existe un estudio integral sobre el problema central de investigación el cual es: el desconocimiento prospectivo de la situación real e integral de la sostenibilidad del agua en la ciudad de Guatemala. Los cuales se pueden resumir en tres grupos que son:

1. Los que estiman la contribución del agua a la economía en Guatemala, de los cuales se han desarrollado diversos estudios que han utilizado métodos de valoración sobre los usos productivos o ambientales del bien natural hídrico (TNC y MARN, 2009; URL/IARNA y BANGUAT, 2009; URL/IARNA, 2009a).
2. El balance hídrico del año 2006 fue es un instrumento fundamental para el cálculo de la volumetría hídrica nacional de referencia, desarrollado por el INSIVUMEH y el de aguas subterráneas en 2009.
3. También diversos estudios sobre calidad del agua, caracterización de cuencas, determinación de caudales, definición de sistemas de filtración de aguas de lluvia, para recargas freáticas, y otros estudios de aguas residuales, es lo que se ha logrado recopilar, pero un estudio integral como el que se pretende realizar no se logró localizar.

## 1.5 Análisis prospectivo

Es el francés Gastón Berger (1957) quien crea la voz prospectiva. Este singular, filósofo y hombre de empresa a la vez, oponía esta palabra a la de retrospectiva, en virtud de que pretendía fundamentar una forma filosófica de ver la realidad, caracterizada por su orientación hacia el futuro. Partiendo, del principio de que el futuro es múltiple y que este es diferente del presente y del pasado, y que no es, una simple extrapolación de la experiencia conocida, y sustentó su reflexión a partir de la fenomenología. (Godet, 1994)

Posteriormente el también francés Bertrand de Jouvenel (1967) entendió la prospectiva como el arte de la conjetura por antonomasia y polemizó arduamente con Flechteim. Proponía la necesidad de que se investigaran los diferentes futuros posibles o futuribles en vez de centrar la atención en la predicción de un futuro único. Entre esta variada posibilidad de futuros hay unos pocos que tienen mayor opción de suceder, e decir los futuros probables. Éstos, pueden acontecer con mayor certeza que los futuribles, no porque el destino así lo quiere, sino porque de esa manera lo determina el hombre, que es el único protagonista de los hechos y el único responsable de su propio futuro. (Godet, 1994) Más tarde, Godet la denomina: “reflexión para la acción y la anti fatalidad”, con lo cual, quiere decir que si bien el futuro es imprescindible, por medio de ella se puede reducir la incertidumbre. Se necesita, pues, determinar cuál será la acción del hombre para poder anunciar cual será el futuro probable y el futuro deseable. Entonces se partirá del principio que la acción del hombre está concretada en proyectos y en anhelos. Tanto los unos como los otros pueden ser continuación o cambio de tendencias y desarrollo de potencialidades (p. 75)

Para determinar los futuros probables, la prospectiva se vale de tres medios: los expertos (personas que conocen a cabalidad los respectivos

problemas), los actores (son aquellos que toman las decisiones claves con respecto al problema que se está estudiando) y las leyes matemáticas de la probabilidad (que son una herramienta que permiten ordenar y manejar mejor la opinión de los expertos). Por tanto, el discurso prospectivo reposa en poder identificar la acción futura del hombre, valiéndose para esto del conocimiento de los proyectos, anhelos y temores que tiene el mismo hombre con respecto a las acciones que va a realizar. Sin embargo, el futuro probable no siempre es positivo, en cuyo caso se tendrá que buscar lo que los prospectivistas llaman futuro deseable.

Según el centro para la proyección de América Latina, se dice que la prospectiva ha sido definida como “el estudio técnico, científico, económico y social de la sociedad futura y la previsión de los medios necesarios para que tales condiciones se anticipen”, en otras palabras, la prospectiva consiste en atraer y concentrar la atención sobre el porvenir imaginándolo a partir del futuro y no del presente aunque éste actúa en el método de análisis. “Es un panorama de futuros posibles, futuribles, que no son improbables teniendo en cuenta los estados inerciales del pasado y la confrontación de los proyectos de los actores” (Godet, 1993).

La prospectiva tiene dos grandes vertientes. La primera y más conocida es la de la Prospectiva Estratégica (directamente relacionada con la estrategia de empresa y su principal fortaleza ha sido el desarrollo de una caja de herramientas), liderada por Michel Godet y otros autores, y la segunda es la Revisión Humana y Social de carácter ético-cultural, siendo liderada por Eleonora Masini y un grupo de futuristas provenientes de diversos países en vías de desarrollo (Godet, 1993).

La prospectiva se constituye así en un campo en plena evolución, de intersección entre los estudios del futuro, el análisis de políticas públicas y la planificación estratégica, en pocas palabras, es la reflexión antes de la acción pues permite anticiparse y preparar las acciones con menores dosis de riesgo e incertidumbre. Según Michel Godet (1993), “permite hacer del futuro la herramienta del presente” (Godet, 1993, p. 87).

La Prospectiva, según Miklos y Tello, (1998), “...es primero un acto imaginativo y de creación, luego una toma de conciencia y una reflexión sobre el contexto actual; y por último un proceso de articulación y convergencia de las expectativas, deseos, intereses y capacidad de la sociedad para alcanzar ese porvenir que se perfila como deseable...”. (p. 121).

Juanjo Gabiña, fundador y director del Centro Europeo de Prospectiva Prospektiker, en España, establece “que ésta es una herramienta fundamental previa a la toma de decisiones estratégicas” (Gabiña,1995, p.43). También sostiene que el futuro no está escrito en ninguna parte; no es un escenario fatal, predeterminado e ineluctable, y lo explica así “... la Prospectiva Estratégica tiene su origen en la toma de conciencia de que el porvenir es a la vez, producto del azar y la casualidad, de las propias limitaciones del sistema, pero sobre todo, de la voluntad, fruto del deseo y de la ambición... la voluntad de cambio y el control de las nuevas reglas de juego que nos permitan adueñarnos de nuestro futuro también lo condicionan...” (Gabiña,1995,p. 67)

La pregunta clave de la Prospectiva no es ¿cómo será el futuro? sino ¿cómo quisiera que fuera el futuro? La Prospectiva es útil para detectar los cambios que se avecinan al identificar las tendencias y prepararse para recibirlas, para diseñar el futuro que se anhela y facilitar así la realización de procesos de ordenamiento, toma de decisiones y allanar el camino de la acción. “...Las

imágenes del futuro que se pretender alcanzar diseñarán el escenario apuesta y las acciones y objetivos consecuentes determinarán la estrategia...” (Gabiña, 1995, p. 67). No es posible ser estrategia sin mirar a lo lejos.

De acuerdo a Masini (1993), los diferentes enfoques de estudio del futuro se pueden diferenciar, en función de sus objetivos y alcances, de la siguiente manera:

#### 1. Predicción

- Declaración no probabilística con un nivel de confianza absoluto acerca del futuro
- Se basa en teorías determinísticas.
- Presenta enunciados no sujetos a controversia que pretenden ser exactos sobre eventos futuros
- Afirmaciones muy fuertes
- Los investigadores profesionales del futuro suelen evitarlo

#### 2. Proyección

- Analiza tendencias que van del pasado y el presente a hacia el futuro en un proceso lineal
- Asume la continuidad de un patrón histórico
- Utilizada mayormente en procesos estadísticos de economía y demografía.

#### 3. Pronóstico o prognosis

- Es una afirmación probabilística acerca del futuro con un nivel de confianza relativamente alto
- Se refiere a un enunciado condicionado
- Representa juicios razonados sobre algún resultado particular, que se cree el más adecuado para servir como base a un programa de acción
- Prevalece hasta principios de los años setenta



#### 4. Utopía

- Descripción de una sociedad ideal
- Trata sobre la construcción de un futuro diferente del presente, en el cual los datos del pasado y del presente no son importantes
- Predominan la imaginación, la invención y el peso de los anhelos y temores humanos
- Presencia muy fuerte de los valores

#### 5. Forecasting

- Identifica la probabilidad de ocurrencia de eventos futuros basados en tendencias futuras
- Establece una red de relaciones causales definibles entre eventos.
- Aplicado a actividades específicas, sobretodo tecnológicas y económicas
- Vale lo que valen sus premisas.
- Establece una red de relaciones causales definibles entre eventos.

#### 6. Prospectiva

- Anticipación para aclarar la acción presente
- “Indisciplina intelectual” que se ocupa de:
  - Ver lejos, largo, profundo
  - En conjunto o sea Globalmente
  - Pensamiento Sistémico
- Ver la realidad “de otra manera”
- “Construye el futuro como una visión retrospectiva”

La prospectiva es una poderosa herramienta de diagnóstico, análisis, reflexión y toma de decisiones colectivas que se basa en la elaboración de escenarios, actúa mediante la virtualización de escenarios futuros deseables con datos y hechos para la comunidad, situándose en el futuro para proyectarse hacia

el presente, con una nueva agenda de desarrollo, indispensable si no se quiere tomar decisiones a ciegas.

### **1.5.1 Características de los Estudios prospectivos**

Los estudios prospectivos tienen varios rasgos que le distinguen entre las ciencias sociales y económicas. En primer lugar, se basan en el conocimiento de varias disciplinas, los hacen equipos de trabajo inter y trans disciplinarios. En segundo lugar, aspiran a la globalidad, es decir, a mirar un sistema en su conjunto y complejidad, en el pasado, presente y futuro. Este carácter dinámico es la expresión concreta de la representación del futuro como devenir. Significa asumir la idea de que la historia se está transformando en el presente y que los seres humanos buscan realizarse a sí mismos a través de sus deseos y proyectos de futuro. La dinámica, como tercer rasgo implica siempre que las reflexiones prospectivas buscan siempre conectar pasado–presente–futuro.

De igual manera, los Estudios de Prospectiva parten de ideas sobre el futuro y de intenciones de transformación y de cambio organizacional. Se generan a partir de escenarios virtuales, desde el futuro y desde ahí se proyectan las estrategias hacia el presente para direccionar la factibilidad de los procesos, es decir, la proyección virtual se diseña en el futuro pero se le da sentido a partir del presente, pues la mente humana no tiene fronteras en el tiempo presente, pero las acciones sí y por eso es que el sentido de coherencia organizacional y operacional permite dirigir las acciones factibles hacia el futuro deseado.

En síntesis, dirigir un conjunto de acciones provenientes de realidades virtuales exige aprender a pensar desde la abstracción para conducir la experiencia hacia los nuevos escenarios. Es un viaje conceptual y metodológico desde lo virtual a lo real, es la concepción de lo macro a partir de lo micro.

Según Godet (2005), en los procesos prospectivos, al igual que en cualquier proceso de investigación, se establece de inicio una triple relación cinegética: el sujeto, el objeto y el proyecto. Si bien en la dialéctica se establece una relación entre el sujeto y el objeto y entre objeto y el sujeto, en la trialéctica las relaciones se establecen en las tres dimensiones de tiempo, espacio y movimiento donde el sujeto, el objeto y el proyecto se sitúan de manera dinámica, implicándose mutuamente. Así, “la estructura trialéctica sujeto, objeto, proyecto es la arquitectura primaria de todas las realidades humanas”. Y es la integración cinegética de esta triada lo que le otorga sentido al proceso en cuestión.

El trabajo de Planificación Prospectiva se realiza a partir de procesos de investigación cuyo propósito es mejorar y consolidar las organizaciones, con el objetivo de ofrecer mejor calidad en sus servicios. Por eso aquí se aplican las tres características fundamentales de la ciencia: la paciencia, la prudencia y la inteligencia. La primera: la paciencia, se sustenta en la seguridad del sujeto, es una característica del científico investigador; la segunda: la prudencia, es la capacidad del sujeto para discernir frente a diversos eventos o variables no controladas, es la capacidad de saber actuar, con la humildad del científico que está seguro de que no lo sabe todo; y finalmente la tercera: la inteligencia, que es un atributo que todos tienen pero no todos logran desarrollar.

En resumen, se puede apuntar que la Prospectiva es un enfoque de investigación que se utiliza para el diseño de los escenarios futuros de las organizaciones. No es una proyección del pasado hacia el futuro sino el diseño del futuro, a partir del futuro mismo y su proyección hacia el presente a través de estrategias y proyectos de investigación para la toma de decisiones y ejecución de tareas en el presente. Según Langué (2005) para realizar el análisis prospectivo, se puede basar en la metodología de Michel Godet, cuyo esquema metodológico se muestra a continuación.

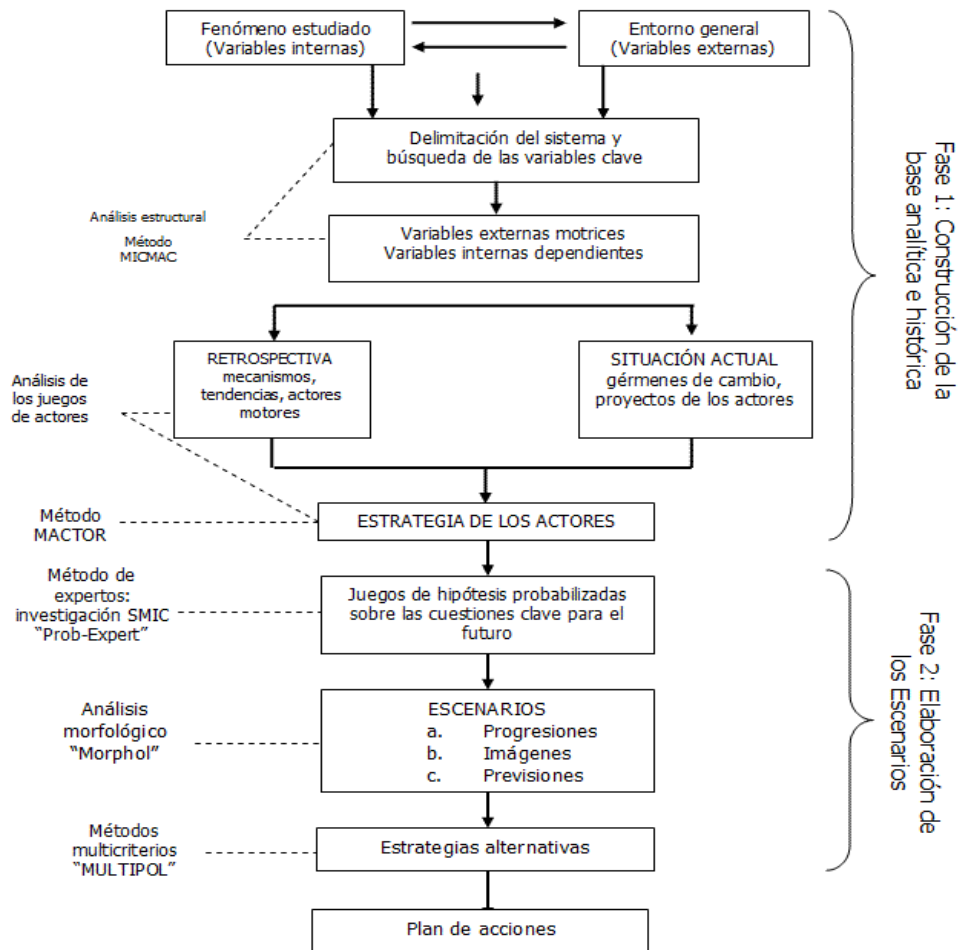


Figura.10. Metodología de la perspectiva estratégica. Fuente: Godet. (2,002)

### 1.5.2 Los estudios prospectivos en los recursos hídricos

Muchos de los países de primer orden como Estados Unidos, Gran Bretaña, Unión Europea, los han utilizado desde los años 1990, pero en América Latina estos han sido más recientes. Brasil en el año 2006 publicó su trabajo *Aguas para el futuro: Escenarios para 2020*, presentando tres escenarios que los resume en agua para pocos, Agua para algunos y Agua para todos. En el caso de México utilizó un estudio prospectivo publicado en el 2011 titulado, "La agenda

del agua 2030” y su objetivo primordial planteado fue poder entregar a la siguiente generación un país con sostenibilidad hídrica, es decir, con ríos limpios, cuencas y acuíferos en equilibrio, cobertura universal de agua potable y alcantarillado y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas. Y como principal producto determino la brecha existente entre la visión y la realidad actual. Se priorizan las líneas de acción de cambios de reglamentación, financiamiento, educación y capacitación.

Argentina en el año 2007 publico el trabajo “Condiciones y usos del recurso hídrico en la provincia de Mendoza en el 2025” logrando generar estrategias para alcanzar el escenario desafío, también lo han desarrollado en Colombia, Chile los han utilizado para proyectar sus políticas y líneas de acción para preservar sus recursos hídricos. Un trabajo que vale la pena revisar es el publicado por las naciones unidas a través del programa mundial de aseguramiento del agua (WWAP) en su cuarta edición del Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (WWDR4) publicado en el 2013 bajo el título “ Gestionar el agua en un contexto de incertidumbre y riesgo” el cual fue desarrollado por medio de un estudio prospectivo y como principal producto provee una gama de líneas de acción en la toma de decisiones en condiciones de una mayor incertidumbre en cada escenario planteado al 2030 y 2050.

### **1.5.3 Métodos utilizados en los estudios prospectivos**

Cualquier forma de predicción es una impostura ya que el futuro no está escrito queda por construir. El futuro no es únicamente fruto del azar, de los determinismos sociales y tecnológicos, es también fruto de la voluntad de las personas y de las organizaciones como empresas y territorios (Godet, (2005)).

Mediante el uso de metodologías que son empleadas ampliamente en distintas disciplinas científicas, la prospectiva busca identificar los escenarios futuros más probables y deseables hacia los cuales debe orientarse una organización, una región o un país. Existen más de 120 metodologías distintas clasificadas entre Cualitativas y Cuantitativas, por lo que en esta parte se analizara aquellas que se corresponden con métodos matemáticos que sirven de apoyo para su representación y aplicación, las denominadas Metodologías Cuantitativas de la caja de herramientas de M. Godet. (2005)

Algunas de las más usadas son:

- Método de análisis del juego de los actores (MACTOR)
- Método de Análisis estructural (MIC-MAC)
- Método de Abaco de Reigner (SMIC)
- Método de Escenarios
- Método Morfológico (MORPHOL)

El método MACTOR (que significa Matriz de Alianzas y Conflictos: Tácticas, Objetivos y Recomendaciones) también llamado análisis del juego de actores, busca valorar las relaciones de fuerza entre los actores y estudiar sus convergencias y divergencias con respecto a un cierto número de posturas y de objetivos asociados. A partir de este análisis, el objetivo de la utilización de este método es el de facilitar a un actor una ayuda para la decisión de la puesta en marcha de su política de alianzas y de conflictos. Implica un cierto número de limitaciones, principalmente concernientes a la obtención de la información necesaria. La reticencia de los actores a revelar sus proyectos estratégicos y los medios de acción externos. Existe una parte irreducible de confidencialidad (con todo es posible proceder a contrastes y cruzamientos de información provenientes de diversas fuentes de una manera útil). El método presupone un comportamiento coherente de todos los actores en relación con sus finalidades, lo cual se encuentra a menudo en contradicción con la realidad.

El método MIC-MAC (que significa Matriz de Impactos Cruzados – Multiplicación Aplicada a una Clasificación) también llamado análisis estructural, es una herramienta de estructuración de una reflexión colectiva. Ofrece la posibilidad de describir un sistema con ayuda de una matriz que relaciona todos sus elementos constitutivos. Partiendo de esta revisión, este método tiene por objetivo, hacer aparecer la revisión de las variables influyentes y dependientes y por ello las variables esenciales a la evolución del sistema.

El método SMIC (que significa Sistemas y Matrices de Impactos Cruzados) también llamado Abaco de Reigner o de probabilidad de expertos es un método original de consulta a expertos, concebido por el Doctor François Réigner, con el fin de interrogar a los expertos y tratar sus respuestas en tiempo real o por vía postal a partir de una escala de colores. Esta técnica utiliza una codificación calorimétrica para expresar esas actitudes. Las principales aplicaciones, de esta técnica, son:

- Reducir el margen de incertidumbre perseguido por todos los métodos usados en la planificación prospectiva.
- Estimar el comportamiento de un grupo de factores.
- Determinar la intensidad de un problema en el presente.

En el Método de escenarios se trata de estudiar con rigor una temática determinada con el fin de llegar a conclusiones válidas desde el punto de vista prospectivo-estratégico, se propone desarrollar el método de escenarios en su integridad, tal como se entiende y aplica. El método de escenarios se define y describe como una representación de futuribles que describen la evolución del sistema estudiado (empresa, grupo, organización, sector, mercado, institución, problemática, conjunto de temas relacionales, etc.), tomando en consideración

las evoluciones más probables de las variables-clave y a partir de juegos de hipótesis sobre el comportamiento de los actores.

Para el planteamiento de los futuros escenarios se hace de acuerdo a cuatro criterios básicos que son:

- Escenario pesimista busca simular un deterioro de la situación actual con algunas afectaciones de cambio Climático, pero sin llegar a una situación caótica.
- Escenario probable o de Tendencia el cual trata de mostrar lo que sucederá si las cosas siguen como van. No se limita a extrapolar las tendencias actuales. Se tiene en cuenta los factores históricos y nuevos que influyen o contribuyen a que la tendencia esperada sea similar a la actual (implica precisar aquellos factores que hacen que la tendencia tienda a reforzarse o sea sin ninguna clase de intervención).
- Escenario deseado u Optimista el cual contempla cambios razonables y positivos de GIRH, sin ambición desmesurada, planificados hoy para evitar el estrés hídrico.
- Escenario contrastado en el cual ocurre lo inesperado y reina la incertidumbre, es decir, abundan los factores de ruptura que quiebran las tendencias existentes en un momento determinado. Es un escenario que invita a pensar creativamente en nuevas posibilidades para canalizar los hechos positivos o contrarrestar los negativos. Este escenario se reserva para “pensar lo impensable”. Obliga a pensar que todo puede cambiar abruptamente.

El Análisis morfológico (MORPHOL), es un nombre muy técnico para un método muy simple frecuentemente desconocido u olvidado y que es necesario recordar ya que puede ser muy útil para estimular la imaginación, ayudar a identificar nuevos productos o procesos, hasta entonces ignorados y puede delimitar el campo de los escenarios posibles.



Curiosamente, el análisis morfológico ha sido utilizado ampliamente en previsión tecnológica y casi nada en prospectiva económica o sectorial. Se presta muy bien a la construcción de escenarios. Un sistema global puede ser descompuesto en cuestiones o variables demográficas, económicas, técnicas, sociales u organizativas. Para cada una de esas variables o cuestiones clave para el futuro se pueden o identificar un cierto número de hipótesis o de respuestas posibles para el futuro.

#### **1.5.4 Construcción de escenarios**

Los escenarios son quizás el método más popular de los estudios del futuro. Surgieron primero en la planeación militar y luego fueron adaptados a ambientes empresariales y al nivel político. Inventados primero por Herman Kahn a principios y mediados de los años sesenta, los escenarios hoy en día indican un nombre genérico para diferentes metodologías, entre otras, la del Stanford Research Institute (SRI), el Instituto Batelle, el Futures Group, la planeación estratégica por escenarios, la prospectiva—estratégica y la previsión humana y social, entre otras escuelas o enfoques. Autores representativos de la prospectiva, tales como Michel Godet, Ian Wilson, Pentti Malaska, Ute Von Reibnitz, Robert Ayres, James Ogilvy, Denis Loveridge, Ian Miles, Pierre Wack, Peter Schwartz, Paul Shoemaker, Kees Van der Heijden, Eleonora Masini, entre otros, han realizado propuestas relevantes en el desarrollo de principios, herramientas y criterios de análisis de escenarios.

Según Godet (2005) “Un escenario es un conjunto formado por la descripción de una situación futura y el proceso que marca la propia evolución de los acontecimientos de manera que permitan al territorio pasar de la situación actual a la situación futura” (p. 72).

Para Godet (2005), se distinguen tres vertientes en cuanto a escenarios: tendencial o de tipo predictivo donde se intenta definir el futuro a partir de la tendencia actual de las variables relevantes del contexto social, económico, político, tecnológico, y cultural siempre con la premisa de que no se producirán cambios que alteren estas tendencias y que el futuro continuará invariable.

La vertiente exploratoria parte de tendencias pasadas y presentes conduciendo a un futuro probable con la premisa de que el futuro es indeterminado y cambiante. Este escenario puede ayudar a describir cualitativa y conceptualmente cómo puede ser el futuro y a partir de su análisis se puede obtener un conjunto de posibles evoluciones, pero siempre sin asegurar categóricamente la ocurrencia de estas.

Una tercera variante está en los escenarios de anticipación o normativos que se construyen a partir de diferentes imágenes de futuro, estas pueden ser favorables o desfavorables, su racionalidad consiste en que se puede inducir la conformación del futuro a través del uso de poder y la toma de decisiones en el presente. Los escenarios constituyen un medio de representar la realidad a partir de los datos que se analizan en el presente, por lo que la formulación de estos debe implicar coherencia, pertenencia, verosimilitud y transparencia.

Se puede explorar futuros alternos elaborando escenarios posibles y/o deseables del futuro y no podemos olvidar la visión integrada de las posibles evoluciones detectando retos y oportunidades para poder identificar las estrategias alternativas a largo plazo.

En resumen, a pesar de que la metodología de prospectiva estratégica ya tiene cierto tiempo de haber sido generada, todavía, a escala de país Guatemala, no ha sido utilizada para la evaluación de problemas ambientales, es probable

que su aplicación por ser meramente cuali-cuantitativa, incorpore cierto grado de complicación. Lo que sí es una realidad, es que la mayoría de estudios revisados en las diferentes facultades de ingeniería y de agronomía, de las diferentes universidades del país aún no se ha encontrado ningún estudio que aborde dicha metodología.

Una de las fortalezas que tiene esta metodología es que a través de un estudio prospectivo, se pueda conocer la situación real del fenómeno en estudio que para la presente investigación es el Estrés Hídrico, permitiendo hacer planteamientos serios de escenarios, con información del pasado y presente para proyectarse a futuros escenarios, bajo ciertas premisas estudiadas con anticipación.

Para abordar el fenómeno en estudio de forma integral se utilizará el concepto de sostenibilidad hídrica, y debido a la falta de estudios integrales que muestren el estado actual del agua en la ciudad de Guatemala desde el punto de vista prospectivo, se propone esta investigación como novedosa, pertinente y original capaz de promover el concepto de sostenibilidad en el ámbito nacional para ser asimilado dentro de la problemática del agua.

Por otro lado las principales deficiencias encontradas en las metodologías alternativas para determinar la sostenibilidad hídrica muestran, que algunas son demasiado técnicas, pues no contemplan a los actores y decisiones políticas que intervienen en el proceso de la sostenibilidad, además el nivel de satisfacción de los servicios tampoco son tomados en consideración, pues estas variables son de índole cualitativas, y dado que muchas de los indicadores evaluados sus metodologías son meramente cuantitativas, esa es la razón primordial del porque no se eligieron, además ninguna de ellas ofrece el planteamiento de escenarios con el rigor científico y metodológico que la metodología prospectiva ofrece,

siendo la razón primordial por la que se tomó la decisión de utilizarla, además de permitir alcanzar los objetivos trazados en esta investigación sin mayores complicaciones.

Para ayudar a evaluar la sostenibilidad actual y futura del agua en Guatemala y sus principales problemas relacionados con salud, pobreza, educación, cambio climático, contaminación de los cuerpos de agua, escasas plantas de tratamiento de agua, y además la no existencia de una ley general de aguas, que complica, que la gestión de los recursos hídricos sea dificultosa de aplicar, se propone como novedad científica una herramienta metodológica capaz de evaluarla para que sirva de ayuda en la toma de decisiones.

Por último se indica que los recursos hídricos actualmente en el mundo se encuentran, de alguna manera en una situación de riesgo, debido a que estos dependen enteramente de las condiciones climáticas existentes en cada región del planeta y su distribución se da precisamente por el ciclo hidrológico afectado por las condiciones de distribución de energía del planeta, atendiendo a estas consideraciones no debe olvidarse los efectos del cambio climático a consecuencia del calentamiento global ocasionados por el incremento de los gases de efecto invernadero, tanto por forzamientos naturales como por los de índole antropogénico, como el incremento demográfico de la población, con habidos consumistas que demandan mayores consumos de agua, a pesar de que las reservas de agua son suficientes en algunas regiones del planeta, su gestión aun es deficiente.

## **1.6 El Fenómeno de estudio**

Tiene su origen dentro de esta investigación cuando se plantea por primera vez la idea de investigación, la cual fue: Se contara con suficiente agua en el futuro cercano para satisfacer las necesidades de la población de ciudad de Guatemala Y es así como ya se manifestaba la preocupación del estrés hídrico y de la necesidad de estudiarlo para aproximarse un poco más al conocimiento de este fenómeno

### **1.6.1 El estrés hídrico**

El estrés hídrico, es una condición o estatus de una región en la cual la disponibilidad de agua potable existente (reservas) es menor a la demanda de una población, ciudad o comunidad. Dicho de otra forma cuando la demanda de agua supera la oferta disponible, da lugar a la escasez de agua.

La escasez de agua se define como el punto en el que, el impacto agregado de todos los usuarios, bajo determinado orden institucional, afecta al suministro o a la calidad del agua, de forma que la demanda de todos los sectores, incluido el medioambiental, no puede ser completamente satisfecha. La escasez de agua es pues un concepto relativo y puede darse bajo cualquier nivel de oferta o demanda de recursos hídricos. La escasez puede ser una construcción social (producto de la opulencia, las expectativas y unas costumbres arraigadas) o consecuencia de la variación en los patrones de la oferta, derivados, por ejemplo, del cambio climático.

Son muchas las causas que pueden ocasionar que se de esa condición, pero una de las principales es el comportamiento de las lluvias en un periodo

determinado, por ejemplo cuando el régimen de lluvias disminuye por debajo de los promedios históricos de la región. El estrés hídrico depende de la variabilidad climática y del cambio climático de hoy en día.

Según Shiklomanov (en Gleick, 1993, p. 37) apunta que esa distribución no uniforme de la oferta de recursos hídricos y la disminución de la disponibilidad frente al crecimiento del consumo de las actividades humanas, es la que genera estrés hídrico. “Por eso el aprender con los interesados o involucrados en el consumo de recursos hídricos - aprendizaje social - es la forma idónea para gestionar el agua compartida”, (Bergkamp, 2003, p. 6).

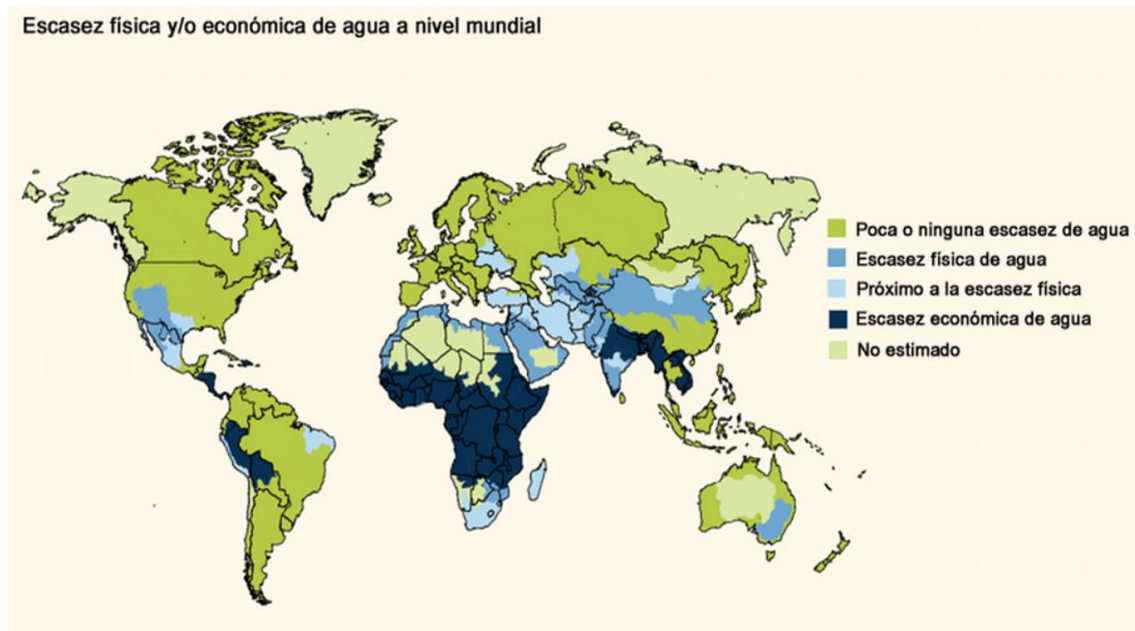
### **1.6.2 Evolución del estrés hídrico**

La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7.000 millones de personas que lo habitan, pero ésta está distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible. Según la ONU (2010) la escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua (p. 49)

- “En 2025, 1.800 millones de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua y dos terceras partes de la población mundial podrían hacerlo en condiciones de estrés hídrico”.

- “Bajo el contexto actual de cambio climático, en el 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá en áreas de estrés hídrico, incluidos entre 75 y 250 millones de personas de África”.
- “Mientras que cada persona necesita un mínimo de 2,000 metros cúbicos de agua para el bienestar humano y el desarrollo sostenible de cada año, en promedio, la gente en las tierras secas tienen acceso a sólo 1.300 metros cúbicos”.

Según WWAP (2012), en el África Subsahariana se concentra el mayor número de países con estrés hídrico, y una de las medidas internacionales para gestionar el problema de la escasez de agua fue la creación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ONU 2012, p. 69) de los cuales se hace un resumen:



Fuente: *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), Marzo de 2012.

Figura 11. Diagrama mundial de escasez de agua. Fuente WWAP (2012, p.63)

ODM 1: El acceso a agua para uso doméstico y productivo como agricultura, industria y otras actividades económicas, influyen directamente sobre la pobreza y la seguridad alimentaria.

ODM 2: La magnitud de acontecimientos catastróficos y cada vez más recurrentes como las sequías, interrumpen el proceso educativo.

ODM 3: El acceso al agua, en particular bajo condiciones de escasos recursos, tiene importantes implicaciones de género que afectan al capital social y económico de las mujeres en términos de liderazgo, ingresos y oportunidades de relacionarse.

ODM 4 y 5: Unos programas de gestión de los recursos hídricos equitativos y fiables reducen la vulnerabilidad de los más pobres frente a los imprevistos, lo que además les proporciona unos medios de vida más seguros y rentables de para el cuidado de sus hijos.

ODM 6: El acceso a una fuente de agua mejorada y a sistemas de tratamiento de las aguas residuales en los asentamientos humanos reduce la transmisión de los riesgos ligados a enfermedades transmitidas por mosquitos como la malaria y la fiebre del dengue.

ODM 7: Un tratamiento adecuado de las aguas residuales contribuye a reducir la presión sobre los recursos de agua potable, ayudando a proteger la salud humana y del medio ambiente.

ODM 8: La escasez de agua requiere reforzar cada vez más la cooperación internacional en el campo de las tecnologías para aumentar la productividad y las oportunidades de financiación de los recursos hídricos y un entorno mejorado para compartir los beneficios de la gestión de la escasez del agua.

La cantidad de agua disponible también se determina según la calidad. El agua contaminada no se puede utilizar para beber, bañarse, usos industriales o la agricultura. Cuanto más contaminada esté el agua, más altos serán los costes del tratamiento para volver a un estado en el que se pueda utilizar.



Se estima que más del 80% de las aguas residuales en todo el mundo no se recogen ni tratan, y los asentamientos urbanos son la principal fuente de contaminación de punto de emisión. El público necesita recibir información mejorada acerca del impacto del consumo sobre la cantidad y la calidad de los recursos hídricos. Se están desarrollando herramientas para la gestión de la creciente demanda urbana de agua; en particular, la gestión de las aguas utilizadas en zonas urbanas (Integrated Urban Water management, IUWM), que combina la gestión de las aguas dulces, de las aguas residuales y de las aguas pluviales en una estructura común de gestión de recursos.

En América Central y el Caribe existe una amplia variedad en cuanto a la calidad de los servicios y las importantes diferencias entre las zonas rurales y urbanas, y entre los propios países. Casi 40 millones de personas aún carecen de acceso al agua mejorada y casi 120 millones de personas a instalaciones de saneamiento adecuadas. La mayoría de aquéllos sin acceso a los servicios son la población rural pobre (ONU 2012, p. 124).

Con las capacidades de gestión de recursos hídricos relativamente débiles, los países más pobres de la región en América central, el caribe y los Andes serán los más expuestos a sufrir los impactos del cambio climático. En el lado positivo, las lecciones aprendidas a partir de la adaptación a las consecuencias del fenómeno El niño han dado lugar a innovaciones tecnológicas y al aumento de la capacidad humana que se aplican a la gestión del agua frente al cambio climático (ONU 2012, p. 145)

### **1.6.3 Determinación del estrés hídrico**

Habitualmente, los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población. Y dependiendo del grado de escasez de agua así será el concepto que se aplica, así por ejemplo:

El estrés hídrico se da cuando en una zona o región determinada se experimenta un suministro anual de agua que caiga por debajo de los 1,700 m<sup>3</sup> por persona (4.72 m<sup>3</sup>/día). Y para las Naciones Unidas indica que cuando la relación de la disponibilidad (oferta o suministro) contra la demanda de agua (suministro / demanda) es mayor al 20 % ya se está viviendo en situación de estrés hídrico.

La escasez de agua se presenta cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1,000 m<sup>3</sup> por persona al año, (2.74 m<sup>3</sup>/día). La escasez absoluta de agua se da cuando la tasa es menor a 500 m<sup>3</sup> (1.36 m<sup>3</sup>/día o 1,363 litros/día).

El acceso razonable se define como la disponibilidad de al menos 20 litros por persona por día, provenientes de una fuente ubicada a menos de un kilómetro de la vivienda. Ahora bien para evaluar el estrés hídrico en una región existen varios métodos que permitan su determinación, pero aquí por su importancia solo se mencionaran dos.

#### **1.6.3.1 Índice social de estrés hídrico (ISEH)**

Lo que mide este indicador es el estrés hídrico y la capacidad de una sociedad para afrontarlo, este estrés social relacionado a cuestiones hídricas refleja la situación de la relación entre la condición de escasez de agua en un territorio y la capacidad de adaptación a tal evento por parte de la sociedad. Esta situación se valora con el Índice Social de Estrés Hídrico (ISEH), que estima la escasez de agua con base en el Índice de Estrés Hídrico y la capacidad de

adaptación de la sociedad con el Índice de Desarrollo Humano (IDH). Este concepto de estrés social hídrico fue propuesto por Ohlsson en 1999 y ha sido tomado en cuenta por organismos como la FAO con la intención de poner atención en los aspectos sociales de la relación Agua-Población.

El cálculo del Indicador del Índice de Estrés Hídrico advierte la situación de escasez en el territorio al considerar el volumen de agua que tiene que compartir cierta población. Por otro lado, el Índice de Desarrollo Humano mide la capacidad de la sociedad a adaptarse a dicha situación de escasez, esto mediante el aspecto de desarrollo de salud, institucional y económico (mediante las variables del índice: nivel de vida, educación y PIB, respectivamente). (UNESCO, 2004, p. 15)

Entonces, al interrelacionar estos dos índices (IEH e IDH) se puede identificar si la sociedad es capaz de adaptarse a la situación de estrés gracias a acciones sustentadas en los tres aspectos citados, y esto se puede traducir en estrés social cuando la escasez de agua existe y la capacidad de adaptación no, presentándose diferentes grados de estrés social según el comportamiento del estrés hídrico y del desarrollo humano.

### **Ecuaciones para calcular el estrés social-hídrico**

Descritas en Ohlsson (1999)

$$\mu_i = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{d_i}{h_i}\right) \quad (\text{Ecuacion 2})$$

Donde:

$\mu_i$  : Índice de estrés social-hídrico (adimensional)

$d_i$  : Índice de estrés hídrico

$h_i$  : Índice de desarrollo humano

$$h_i = \frac{1}{3}a_i + \frac{1}{3}b_i + \frac{1}{3}c_i \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$h_i$ : Índice de Desarrollo Humano

$a_i$ : Índice de Esperanza de vida

$b_i$ : Índice de Educación

$c_i$ : Índice de Producto Interno Bruto

Además, el Índice de Esperanza de Vida se define por:

$$a_i = \frac{f_i - f_m}{f_M - f_m} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$a_i$ : Índice de Esperanza de Vida

$f_i$ : Esperanza de vida caso  $i$

$f_M$ : Esperanza de vida valor máximo

$f_m$ : Esperanza de vida valor mínimo

El Índice de Educación se define por:

$$b_i = \frac{2}{3}g_i + \frac{1}{3}j_i \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$b_i$ : Índice de educación, caso " $i$ "

$g_i$ : Índice de alfabetización, caso " $i$ "

$j_i$ : Índice bruto de matriculación, caso " $i$ "

Donde, a su vez, el índice de alfabetización " $g$ " se define como:

$$g_i = \frac{l_i - l_m}{l_M - l_m} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$g_i$ : Índice de alfabetización en adultos

$l_i$  : Tasa de alfabetización en el caso "i"

$l_M$  : Tasa de alfabetización máxima

$l_m$  : Tasa de alfabetización mínima

Y donde, la tasa de alfabetización viene dada por:

$$l_i = 100 \left( \frac{s_i}{v_i} \right) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$s_i$  : Población (Número de habitantes) adultos alfabetas

$v_i$  : Total de la Población (Número de habitantes) adultos

El índice bruto de matriculación "j" se define a partir de:

$$j_i = \frac{o_i - o_m}{o_M - o_m} \quad (\text{Ecuación 8})$$

En donde:

$o_i$

: tasa bruta combinada de matriculación, caso i, (educación primaria, secundaria y terciaria)

$o_M$ : valor máximo de la tasa bruta combinada de matriculación

$o_m$ : valor mínimo de la tasa bruta combinada de matriculación

Por último, el Índice de Producto Interno Bruto ( $c_i$ ) se calcula por:

$$c_i = \frac{r_i - r_m}{r_M - r_m} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$r_i$

: tasa bruta combinada de matriculación, caso i, (educación primaria, secundaria y terciaria)

$r_M$ : valor máximo de la tasa bruta combinada de matriculación

$r_m$ : valor mínimo de la tasa bruta combinada de matriculación

## **El Índice de Pobreza del Agua (IPA)**

Es un estudio estadístico que clasifica la situación del agua según cinco criterios:

- 1) Recursos,
- 2) Acceso,
- 3) Capacidad de gestión,
- 4) Uso,
- 5) Impacto ambiental.

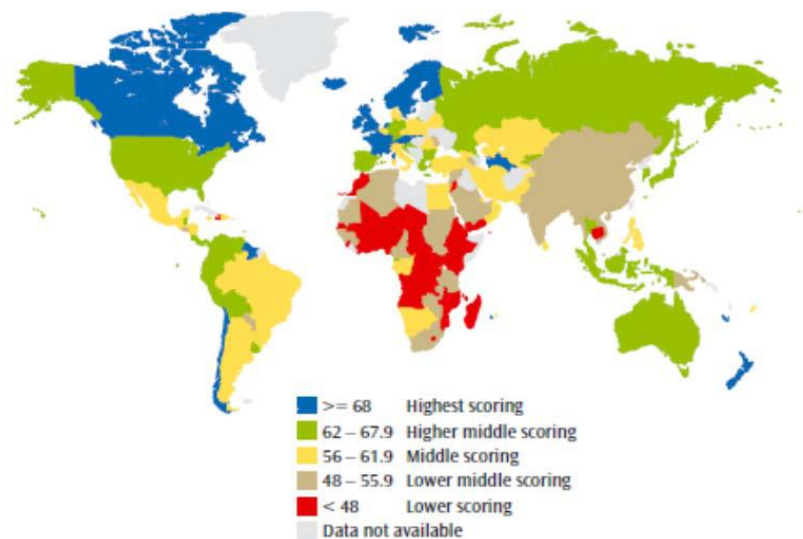
A través de este indicador se puede mostrar que algunas de las naciones más ricas de mundo, como los Estados Unidos y Japón, se sitúan en los últimos puestos, mientras algunos países en desarrollo están entre los diez mejores.

Éste indicador permite:

- Identificar y evaluar como la escasez del agua afecta a las poblaciones.
- Evaluar territorialmente la oferta y demanda hídrica.
- Especializa y zonifica áreas con determinada disponibilidad hídrica.
- Monitorear la situación de las sociedades que enfrentan la escasa disponibilidad hídrica.
- Diseñar políticas, tanto de planificación como de gestión

En el IPA queda de manifiesto que los 10 países más ricos en agua del mundo son, en orden descendente: Finlandia, Canadá, Islandia, Noruega, Guyana, Surinam, Austria, Irlanda, Suecia y Suiza. Y los situados últimos en la clasificación: Haití, Níger, Etiopía, Eritrea, Malawi, Djibouti, Chad, Benin, Ruanda y Burundi. "En el IPA se distinguen claramente los nexos entre pobreza, privación social, integridad ambiental, disponibilidad del agua y salud", (Sullivan, 2002, p. 1201).

En este sentido, el nuevo índice muestra la relación entre pobreza del agua y pobreza del ingreso. Lo cual demuestra que no es la cantidad de recursos disponibles lo determinante en la pobreza de un país, sino la eficacia en la gestión integral del recurso hídrico (GIRH). El IPA asigna un valor de 20 puntos como la mejor calificación para cada una de sus cinco categorías. Un país que alcanza los criterios en las cinco categorías tendría una puntuación de 100. El país que resultó con mayor puntuación fue Finlandia, con un IPA de 78 puntos, mientras que el último fue Haití, con un IPA de sólo 35. Lo anterior puede apreciarse en el Mapa generado.



*Figura 12.* Índice de Pobreza del Agua (IPA). Fuente: Sullivan. (2002, p. 43).

La World Water Development Report, en la Declaración Ministerial de La Haya de marzo del año 2000, aprobó once desafíos como base de acción futura, aquí solo se mencionan tres de ellos por considerarse de interés de esta investigación:

- Cubrir las necesidades humanas básicas –asegurar el acceso al agua y a servicios de saneamiento en calidad y cantidad suficientes; Para asegurar las necesidades básicas se necesitan de 20 a 50 litros de agua potable, libre de contaminantes, por día y por persona. Por ejemplo un recién nacido en un país desarrollado consume una cantidad de agua 30 a 50 veces superior a la de un recién nacido en un país en vías de desarrollo. El estado de la salud humana está estrechamente vinculado con una serie de condiciones relacionadas con el agua: agua potable segura, saneamiento adecuado, reducción de enfermedades relacionadas con el agua y existencia de ecosistemas de agua dulce salubres.
- Compartir los recursos hídricos –promoviendo la cooperación pacífica entre diferentes usos del agua y entre Estados, a través de enfoques tales como la gestión sostenible de la cuenca de un río.
- Administrar los riesgos –ofrecer seguridad ante una serie de riesgos relacionados con el agua.

El diagnóstico acertado de las sequías, la modelación de la aridez y la determinación del balance del agua, son indispensables para una adecuada planificación del recurso agua. Existen diversos métodos para detectar los intervalos de sequía, estimar la magnitud de la aridez y definir la ruta hidrológica en el balance del agua en cuencas, sin embargo, deben adaptarse y calibrarse en cada región (Abraham et al. 2006).

La aridez es un concepto sinónimo de sequedad. Traduce la ausencia o escasa presencia de agua o bien de humedad en el aire y suelo. Los factores que la definen son complejos:

- escasez de precipitaciones, tanto en cantidad como en intensidad y regularidad,
- alta radiación solar, lo que origina altas temperaturas y una evapotranspiración superior al volumen de agua disponible.



- baja humedad atmosférica, entre otros.

“La aridez aparece por la presencia de anticiclones estables o como efecto de la continentalidad, aunque en algunos casos es consecuencia de barreras montañosas, que impiden el paso o la llegada de corrientes de aire húmedo” (Salinas-Zavala et al. 1998, p. 35). El cálculo de índices numéricos facilita el manejo del concepto de sequía y aridez, sobre todo en momentos de planificación y manejo de recursos naturales, principalmente del recurso agua.

Para diferenciar los términos aridez y sequía se debe considerar que **aridez** se refiere a una condición hidro-climática permanente, en tanto que el término **sequía** describe una disminución del valor normal de la precipitación para un periodo de tiempo dado.

“Así, las tierras áridas y semiáridas que disponen de menor disponibilidad hidro-ambiental, son más vulnerables al deterioro ambiental, causado por procesos naturales y también por actividades y procesos antropogénicos” (Anónimo, 1997, p. 69; Sharma, 1998, p. 125). Desde su origen, la desertificación ha sido asociada estrechamente a condiciones de aridez, motivo de un análisis sistematizado sobre sus características, causas y consecuencias, lo que proporciona un marco conceptual de carácter integral, que permite construir propuestas programáticas completas y utilitarias (Anónimo 1994).

De acuerdo al Programa Ambiental de Naciones Unidas (1992), aquellas regiones donde la tasa anual del cociente Precipitación/Evapotranspiración es de 0.05 a 0.65, pueden considerarse vulnerables a la desertificación. En el marco de análisis de las variantes de índole metodológica, el uso de indicadores y puntos de referencia representa una opción que podría ser de suma utilidad para resolver las dificultades que eventualmente pueden presentar diferentes métodos disponibles.

En este sentido, debe hacerse énfasis en la necesidad de que este tipo de datos sean referidos a un contexto amplio, principalmente desde el punto de vista geo climático, dado por los sistemas integrales de evaluación (Abraham et al. 2006).

“La sequía es una amenaza constante, un proceso natural que los habitantes rurales en regiones áridas deben enfrentar continuamente“(Hillel & Rosenzweig, 2002, p. 22). “Para la estimación de la condición hídrica a partir del coeficiente de aridez, se puede aplicar el Índice de aridez De Martonne” (Ecuación 10) (Wang & Takahashi, 1999, p. 250):

$$A = \frac{12 pp}{t+10} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde:

A: es el Índice de Aridez original de, De Martonne,

*pp*: es la precipitación mensual en (mm) y,

t: es la temperatura media mensual en °C.

#### **1.6.4 Sostenibilidad hídrica**

Debido a que el agua está considerada según el PNUMA 2010 como: “un recurso natural renovable pero limitado, que se usa para atender necesidades humanas ilimitadas” y a sabiendas de que el agua está distribuida en el planeta de forma irregular y sujeta a diferentes presiones por las acciones humanas, se ha ocasionado un desequilibrio entre la disponibilidad de agua per cápita y el consumo promedio de las necesidades individuales en diferentes países, y por otro lado el crecimiento desmedido de la población han generado la siguiente pregunta: ¿Son suficientes los recursos hídricos para mantener la población

actual y futura ? Ante tal preocupación surge el concepto de Sostenibilidad hídrica definida por varios investigadores como:

- “es la disponibilidad de agua tanto en cantidad como en calidad, al servicio de la sociedad, ocasionando las menores presiones a los sistemas naturales, para las generaciones actuales y futuras” (Juárez (2008), p. 215).
- “es la distribución equitativa del agua entre las especies animales y vegetales considerando sus necesidades y en caso de los humanos, sus expectativas de crecimiento sin comprometer las capacidades de las generaciones de especies futuras para satisfacer sus necesidades” (García (2012), p. 1).
- “la capacidad de utilizar el agua en cantidad y calidad suficientes, tanto a escala local como global, para satisfacer las necesidades de los seres humanos y de los ecosistemas para preservar la vida en el presente y en el futuro, y para proteger a los humanos de los estragos provocados por desastres, tanto naturales como causados por el hombre, que afectan al mantenimiento de la vida” (Mays (2010), p. 23).

Se considera que la definición dada por Mays, es la más completa, pues aborda los tres componentes de la sostenibilidad y va más allá, al considerar a los desastres en la ecuación, y es la definición que se adoptará en este trabajo de investigación.

De acuerdo al consejo de la Unión Europea, (2000) dice: “Se establecen en el ámbito de gestión del agua un marco de actuación y protección, mediante la Directiva Marco del Agua (DMA). Para fomentar, desde el 18 de julio del año 2000 (fecha en la que se formalizó), **el uso sostenible del agua** con énfasis en

la protección y la reducción de vertidos de sustancias contaminantes a los cuerpos receptores” (p. 35).

A continuación se presenta el ciclo integral del agua en una cuenca urbana, para representan el grado de intervención que deberá abordarse al momento de evaluar la sostenibilidad hídrica.

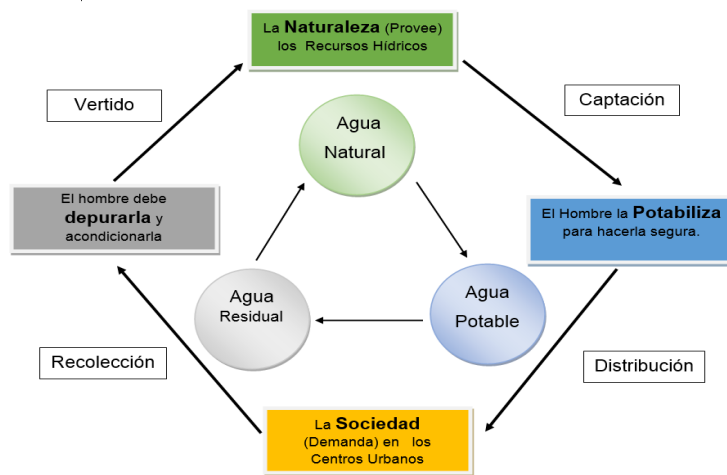


Figura 13. Ciclo integral del agua en una cuenca urbana, fuente Daza (2008, p.100)

Para el caso de Guatemala es hasta el 5 de mayo del año 2,006 en que se promulga un instrumento normativo que ofrece el mejoramiento progresivo de la calidad del agua y a la sostenibilidad del recurso hídrico por medio del “Reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos” al aprobar el acuerdo gubernativo No. 236-2006.

El Artículo 9 de la DMA, inclúyete costos ambientales, basados en el principio de que —quien contamina paga---. (UE & PE-CONS 2000), Art. 9. Y para el caso de Guatemala el reglamento también contempla multas muy

específicas para aquellas personas que contaminen cuerpos de agua, en el capítulo X (prohibiciones y sanciones).

Uno de los mayores avances en materia hídrica y ambiental fue en la Conferencia Internacional sobre el agua y Medio ambiente en 1992 conocida como la “Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible”, donde se reconocen los 4 principios rectores que son:

- 1) “El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente”.
- 2) “El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles”. “La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua”.
- 3) “El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico”.

Considerando que el agua es un recurso finito, imperativo para el desarrollo, el crecimiento económico, la estabilidad de la gobernanza social, el mantenimiento de la salud y el mejoramiento de la pobreza, la preocupación sobre las necesidades hídricas de un mundo demandante y sujeto a una oferta determinada se implementaron Foros Mundiales del Agua con iniciativa del Consejo Mundial del Agua en 1996, que se celebran cada tres años, en los cuales se enfatiza la importancia del agua en la agenda de política internacional, en la resolución de asuntos globales del agua para generar compromisos políticos y propuestas concretas. Para tener en cuenta el avance que se ha logrado alcanzar, se presenta un resumen en el anexo 3 sobre todos los foros del agua hasta la fecha.

### 1.6.5 Metodologías para evaluar la sostenibilidad hídrica

La sostenibilidad hídrica se puede medir a través de un indicador ISH (Indicador de Sostenibilidad Hídrica), el cual considera tres componentes (Componente Social CS, Componente Ambiental CA y Componente Económico CE) de la forma:

$$ISH = (C_A, C_E, C_S) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Para determinar el ISH se utilizará una red conceptual multinivel (RCM), que permite, analizar la modelización para medir la sostenibilidad hídrica, el diseño establecerá los diferentes niveles conceptuales para determinar la sostenibilidad hídrica.

Los niveles del constructo son:

- 1) las tres disciplinas que se consideraron evaluar (ambiente, económico y social),
- 2) los conceptos, también llamados en esta investigación criterios de sostenibilidad, tres ambientales, tres económicos y dos sociales, y
- 3) los observables.

Y cada disciplina, relacionada con el objeto de estudio, aporta conceptos e hipótesis sobre el sistema observado.

Una determinada disciplina ordena y genera el modo como se puede observar la realidad. Los observables, bien sean cualitativos o cuantitativos, que permiten definir un concepto en el sistema que se estudia. La RCM se ilustrará con el estudio de caso en ciudad Guatemala.

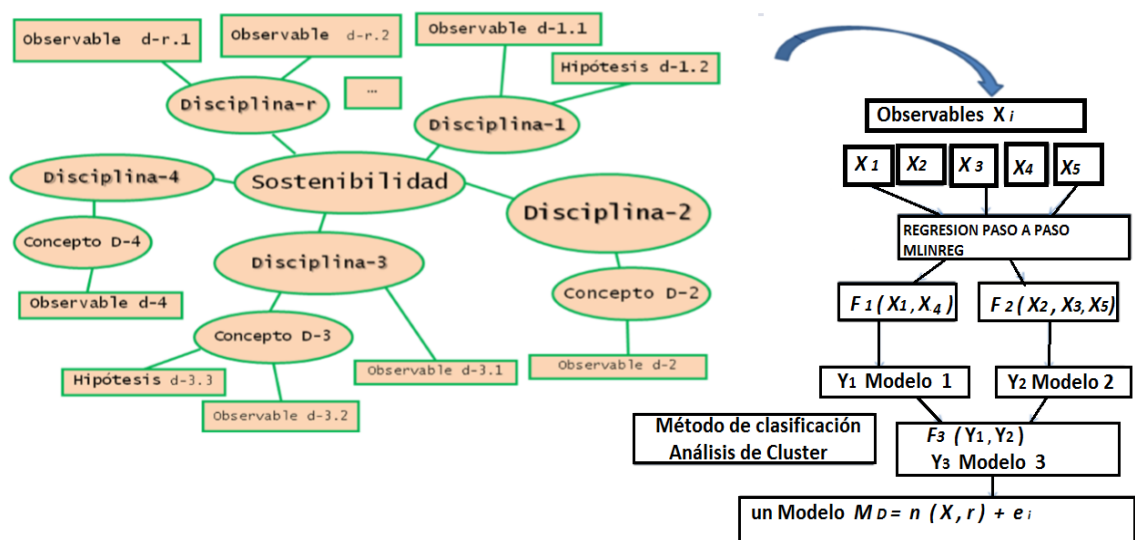


Figura 14. Modelo para cuantificar la sostenibilidad hídrica con una RCM. Fuente: Paulini (2013, p. 21)

Donde los observables son  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ . También llamadas las variables explicadoras y con ellas se formara  $S = \emptyset(X)$ , donde  $X$  es el vector de variables  $X_i$ , para generar un modelo que permita cuantificar la sostenibilidad hídrica de la forma:

$$M_0 = \eta(x, r) + e_i \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde,  $\eta =$  es la función que modeliza el concepto en términos de las variables de entrada, y  $e_i =$  es el error o distancia, que existe entre las funciones  $\emptyset$  y  $\eta$  (Reis dos Santos et al., 2009).

El análisis de regresión lineal múltiple (MLINREG) planteado en la figura 4, no necesariamente será el único recurso utilizado, pues dependerá del grado de ajuste que se obtenga de la interrelación de las variables, pues también se tiene contemplado utilizar el análisis factorial y regresión no lineal múltiple:

$$MLINREG: y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k$$

(Ecuación 13)

$$Análisis Factorial: x_j = \mu_j + \lambda_{j1} \cdot f_1 + \lambda_{j2} \cdot f_2 + \dots + \lambda_{jm} \cdot f_m + \eta_j, J = l, \dots, p$$

(Ecuación 14)

$$MNLINREG: y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2^2 + \beta_3 \cdot X_1 \cdot X_2 + \beta_4 \cdot X_1^3 + \beta_5 \cdot X_2^3$$

(Ecuación 15)

Según Walpole et., al (2008). Dice: “Para determinar la calidad del modelo de regresión lineal múltiple se efectúa el Análisis de la Varianza (ANOVA), haciendo la suposición de que los  $\beta_i=0$ ,  $k > 0$ . Del mismo modo que en el Análisis discriminante en los modelos de regresión múltiple puede generarse la mejor combinación de variables  $X_i$  que explican a la variable dependiente  $Y$ , por medio del método de regresión pasó a paso (stepwise regression)” (p. 182).

Según Wackernagel et al. (1996) dice: “A mediados de la década de los 90, se comenzó a desarrollar el índice para medir la sostenibilidad, llamado la Huella Ecológica. Que mide los impactos que produce una población, expresados en hectáreas de ecosistemas que requiere dicha población para regenerar los recursos naturales consumidos” (p. 23). “Posteriormente, esta herramienta comenzó a ser utilizada por empresas y organizaciones, transformándose en un indicador reconocido a nivel mundial”(Doménech, 2009, p. 89).

Otro indicador asociado al tema del calentamiento global es la Huella de Carbono, que mide el grado de contaminación ambiental expresado en toneladas equivalentes de  $CO_2$ . Además, comienza a surgir en las grandes empresas, interés por temas de sostenibilidad, como parte de su “responsabilidad social corporativa” (Hoekstra, 2010 a, p. 13).



Recientemente según Hoekstra, et al, (2009) dice: “La huella hídrica es un indicador alternativo del uso del agua que incluye el uso de los consumidores o los productores tanto de forma directa como indirecta, y determina el volumen total de agua dulce empleado para producir los bienes y servicios consumidos por un individuo, una comunidad o una actividad” (p. 112).

Posteriormente según Hoekstra, et al, (2009) dice: “El término fue elaborado y presentado en 2002 por dos investigadores del UNESCO-IHE Institute for Water Education de Delft (Arjen Y. Hoekstra Y A. K. Chapagain) como resultado del trabajo sobre el consumo bruto de agua de un producto alimentario, empleando una cuantificación parecida a la de la huella ecológica a partir del concepto agua virtual establecido por un investigador del King's College de Londres (John Anthony Allan, 1993) cuando estudiaba las importaciones hídricas como solución a la escasez de agua en Oriente Medio (mediante el comercio de agua virtual), concepto por el cual Allan fue galardonado con el Premio Estocolmo del Agua dotado con 96,000 euros en agosto de 2008, hecho que demuestra el interés que suscita en determinadas “ (p. 123)

## **Resumen del capítulo**

Se definió que es la sostenibilidad, sus componentes y como se aplica a los recursos hídricos, se hace una revisión de las diferentes definiciones según varios autores y termina adoptándose para esta investigación la definición dada por Mays (2010) en la página 81, se realizó una justificación de la problemática del agua y se estableció como construir una red conceptual multinivel para proponer un modelo matemático capaz de definir la sostenibilidad hídrica.



## CAPITULO II

### Marco Metodológico

#### 2.1 Propuesta de metodología a utilizar (Estado del arte)

Actualmente existen diferentes metodologías para la gestión sostenible del agua sin embargo, “en un pasado reciente han existido pocas reflexiones en la ciencia y en la práctica, sobre la gestión del agua en cuanto a su consumo y contaminación, a lo largo de toda la producción de los bienes y su cadena de suministro” (Hoekstra, et al, 2009 a, p.114).

“Las empresas, en general, manejan mucha información sobre el agua que utilizan, pero no realizan un adecuado manejo de esta información, tanto al interior de la empresa, como en la presentación de esta información hacia el exterior” (Côte, 2010, p. 4). Es por ello que “existe escasa conciencia acerca de los factores efectivamente influyentes en el consumo de los volúmenes de agua (temporal y espacialmente) y la contaminación asociados con un producto de consumo final” (Hoekstra et al, 2009 a, p. 114). Y por otro lado últimamente existe un creciente interés por los temas de sostenibilidad y su evaluación. Pero este concepto no ha sido fácil de interpretar, por ello internacionalmente muchas agencias han generado indicadores para su medición tales como la huella ecológica para evaluar el ambiente, huellas de carbono para evaluar la contribución a los gases de efecto invernadero y últimamente la huella hídrica que específicamente evalúa el recurso hídrico asociado al consumo.

Para evaluar qué tipo de indicadores y tendencias metodológicas se están utilizando actualmente se procede a realizar una revisión exhaustiva y crítica de trabajos publicados previamente relacionados con los recursos hídricos su gestión y evaluación, tanto a nivel internacional como a nivel nacional, para

revisar las hipótesis formuladas así como la interpretación de resultados y análisis de las metodologías empleadas para establecer sus limitaciones y alcances. A continuación se hace un resumen de los resultados encontrados.

Dentro de las metodologías más usadas para evaluar el recurso hídrico, se destacan particularmente los Estudios Prospectivos que en total fueron 5 estudios analizados, de los cuales destaca el desarrollado por la ONU (2013), al generar la 4ta. Edición del informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, más conocido como WWDR4, en donde el título de la investigación realizada fue “Gestionar el agua en un contexto de incertidumbre y riesgo” en el mismo se logran desarrollar 5 escenarios típicos al 2050 para cada una de las regiones del mundo dejando plasmado como uno de varios resultados el apoyo a la toma de decisiones en condiciones de una mayor incertidumbre en cada escenario planteado.

Otro estudio muy importante desarrollado en el año 2011 en México, con metodología prospectiva aplicada a los recursos hídricos fue el estudio titulado “La agenda del agua 2030” dirigido por la SEMARNAT (La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), en la cual se plantearon como objetivo principal “Poder entregar a la siguiente generación un país con sostenibilidad hídrica, es decir, con ríos limpios, cuencas y acuíferos en equilibrio, cobertura universal de agua potable y alcantarillado y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas”, (p. 5). El estudio es muy completo y sumamente ambicioso, en el cual se define la brecha existente entre el escenario deseado llamado “la visión” y la realidad actual.

Se priorizan las líneas de acción de cambios de reglamentación, financiamiento, educación, capacitación, y se estima el tamaño de la inversión de 300,000 millones de dólares para alcanzar el objetivo, al año 2030. El resultado

final de esta investigación fue la creación de la Agenda del agua al 2030. A manera de comentario personal, se estima que se tomaron con la mayor rigurosidad y formalidad del caso para desarrollar el estudio que se considera que tiene mucha participación social que fue incluida en el mismo. Aunque algunos críticos escépticos creen que el presupuesto para lograrlo es inalcanzable, los resultados del estudio son de múltiples líneas de acción. En general algo muy parecido a esto es lo que se desea realizar en una de las cuencas de la ciudad de Guatemala.

El siguiente estudio relevante a destacar es el desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente de Brasil en el año 2006, el cual utilizó la metodología prospectiva, titulado, “Agua para el futuro: Escenarios para 2020” en el mismo se plantean tres hipótesis que dicen “Agua para pocos, Agua para algunos y agua para todos”, (p. 24, 38, 50) al final del estudio se plantean 6 escenarios básicos y como resultado del mismo se genera el Plan Nacional de Recursos Hídricos para sus doce regiones del país. La única crítica general que aplica, es que siempre que se desee proyectarse hacia el futuro los estudios prospectivos son los más indicados a usar, y han logrado captar la atención y confianza de muchos organismos de prestigio, en los que han fincado sus esperanzas e inversiones.

El siguiente estudio fue desarrollado en el año 2007 en la provincia de Mendoza, Argentina, fue dirigido por el INA (Instituto Nacional del Agua), el título de la investigación fue “Condiciones y usos del recurso hídrico en la provincia de Mendoza en el 2025” la hipótesis de la investigación fue “El desconocimiento u omisión de importantes componentes del sistema por parte de las autoridades hídricas conduce a decisiones que comprometen el uso eficiente y equitativo del agua, y su sostenibilidad”, (p. 5). La metodología utilizada fue prospectiva y como principal resultado se generan estrategias para alcanzar el escenario deseado.

La principal crítica a este estudio es que implementan este tipo de metodologías aun cuando consideran reevaluar estrategias ya definidas, pero aun así, teniendo dudas acerca de si dejaron de fuera aspectos no considerados, vuelven a realizar otro estudio.

En el año 2007 en Barcelona, España se publica la tesis doctoral de Bárbara Sureda Carbonell titulada “Propuesta metodológica para el análisis de la sostenibilidad, utilizando indicadores e índices, implementados y analizados”. En esta investigación se desarrolló una propuesta metodológica que facilita el proceso de análisis de problemáticas relacionadas con la sostenibilidad de un sistema urbano. La metodología utilizada es de indicadores modelados por presión-estado-respuesta-fuerza motriz-impacto. A manera de crítica, la forma de abordar la sostenibilidad es novedosa pues implementa dos indicadores más a la ecuación que son fuerza motriz e impacto, no se proyecta al futuro, pero su aporte es muy importante.

Una metodología que vale la pena mencionar es la construcción de Indicadores Sintéticos, desarrollados en la tesis doctoral de Gabriela Sánchez Fernández en España, en el año 2009, bajo el título “Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos” y su hipótesis central fue “En qué medida la sostenibilidad de las explotaciones agrarias, es heterogénea dentro de un mismo sistema agrario” (p. 3). Como resultado de este trabajo se visualizaron las variables estructurales y decisionales de la sostenibilidad para poder aumentarla. A manera de crítica de este trabajo, se estima que es muy novedosa en cuanto a que combina diferentes técnicas de ponderación subjetiva.

Otra metodología interesante que aborda la medición de la sostenibilidad hídrica, es la del método deductivo, adaptado a la incursión aplicada de indicadores de respuesta, utilizado en la tesis doctoral de Holgar Benavides

Muñoz, en el año 2010 en España, bajo el título “ Diagnóstico de la sostenibilidad de un abastecimiento de agua e identificación de las propuestas que lo mejoren”, este método permite transformar indicadores a factores de calidad, según su peso e importancia en el contexto valorativo del ISA (Indicador de Sostenibilidad de Abastecimiento). Como resultado de esta investigación se logran graficar los ISA para facilitar su comprensión e identificación de sus componentes comprometidas.

No puede dejarse de mencionar la metodología tradicional de evaluar la sostenibilidad a través de indicadores PSE (Presión-Estado-Respuesta), el cual fue utilizado por Cipriano Juárez Sánchez-Rubio en el año 2008 en España, en un estudio particular desarrollado bajo el título “Indicadores hídricos de sostenibilidad y desarrollo turístico y residencial en Costa Blanca, Alicante” en el cual se centra el análisis de la sostenibilidad en el recurso agua, tanto en cantidad y calidad como en la presión ejercida sobre los sistemas naturales y las respuestas realizadas por la sociedad. Como resultado de esta investigación se logra conocer la evolución integrada del recurso hídrico de la región objeto de estudio.

A manera de contrastar las principales metodologías estudiadas se procede a diagramarlas tal y como se muestra en la Figura 15 que se presenta a continuación:

La ventaja de la metodología prospectiva es que permite proyectarse al futuro y además hace un planteamiento adecuado de un modelo matemático que define la sostenibilidad hídrica, definido como novedad científica.

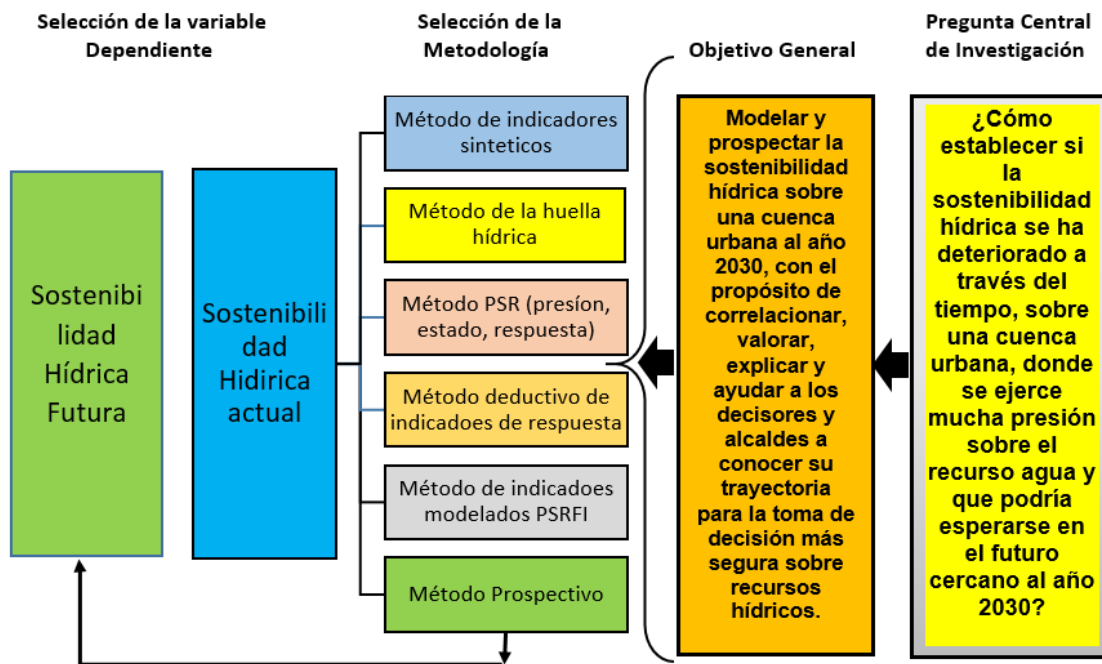


Figura 15: Esquema de las principales metodologías que se han utilizado para evaluar la sostenibilidad hídrica. Fuente. Elaboración propia (2015)

Del análisis anterior se puede concluir que la metodología prospectiva, aplicada a los recursos hídricos es apropiada cuando lo que se busca es, conocer el comportamiento de este recurso en el futuro, además son muchas las ventajas que ofrecen los estudios prospectivos para hacer la gestión del agua, entre los más importantes se puede mencionar:

- Permiten identificar y entender las variables y actores claves que tomarán las decisiones hoy, con la mirada puesta en el futuro que se pretende alcanzar.
- Es posible observar en los escenarios planteados los factores externos que impactan a los recursos hídricos de manera dominante tales como la economía, el desarrollo de nuevas tecnologías y cómo pueden llegar a



afectar la calidad de vida en una ciudad, que para este caso muy bien podría la ciudad de Guatemala.

También como pudo observarse, muchos de estos estudios han servido para generar políticas en la gestión del agua a mediano plazo, con líneas de acción que fueron identificadas para corregir el rumbo con la menor incertidumbre posible, por países de mayor desarrollo que el de Guatemala.

### **2.1.1 Las fases de análisis**

La metodología propuesta para el desarrollo de esta investigación consistió básicamente en las siguientes fases:

- Fase 1 Revisión documental y aprobación del protocolo
- Fase 2 Desarrollo metodológico de la construcción de la base analítica histórica
- Fase 3 Recopilación de datos, entrevistas y encuestas
- Fase 4 Desarrollo prospectivo y elaboración de escenarios futuros
- Fase 5 Elaboración del informe final

#### **Fase 1: Revisión documental y aprobación del protocolo**

Esta fase está constituida por cuatro grandes etapas, la primera está formada por la investigación bibliográfica, la cual da inicio con visitas a bibliotecas, y obtención de permisos temporales a bases de datos digitales, como OARE, en la biblioteca de la universidad Rafael Landívar, para el acceso de artículos científicos de revistas ambientales y especializadas en hidrología, también es importante el acceso a internet, para la localización de tesis doctorales de universidades con acceso libre, en el tema de sostenibilidad y recursos hídricos.

La segunda etapa fue la elaboración del protocolo, el cual fue construido durante los cursos de seminarios de tesis 1, 2 y 3 respectivamente, para los aspectos técnicos fue necesario apegarse al normativo de trabajos de graduación de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, y fue necesario tener mucha claridad, buena base teórica y sobre todo una buena actitud para recibir las críticas constructivas, que sin ellas este trabajo no sería una realidad.

La tercera etapa está constituida por la contratación de los servicios de una bibliotecóloga, para afinar los detalles de citas bibliográficas en la normativa APA, también en esta etapa se buscó y localizó a un asesor con el grado de Doctor en ciencias y con experiencia en el tema de investigación, fue propuesto a la escuela de postgrado y autorizado, esta etapa culmina con el ingreso del protocolo a la dirección de escuela.

Y la cuarta etapa, que consistió, con la asignación de un revisor por parte de la escuela, para ultimar apego al normativo, aspectos de forma y congruencia de forma con la investigación planteada, en esta etapa, se solicita fecha para la defensa del protocolo y culmina con la defensa del mismo ante una terna nombrada para tal efecto.

## **Fase 2: Desarrollo metodológico de la construcción de la base analítica histórica**

Da inicio con la selección de un grupo de 30 expertos en el área de los recursos hídricos y el criterio de selección será en base al grado de experiencia reconocida y que conozcan el problema desde sus diferentes visiones: ambientalistas, periodistas, antropólogos, abogados, ingenieros y docentes universitarios, pertenecientes a diferentes áreas y de diversas ocupaciones, y como mínimo se tratará en lo posible de incorporar 3 personas por especialidad,

los cuales por medio de 2 talleres de 3 horas de duración o 2 entrevistas a profundidad de al menos 2 horas de duración, se encargarán de sugerir la matriz FODA, las variables y los actores que se relacionan con la sostenibilidad hídrica, “Para garantizar la fiabilidad de la información suministrada por los expertos se utilizará el método DELPHI”. (García Alaric R, 2009, p. 45).

La guía de entrevista a profundidad con los expertos, deberá incluir los siguientes ámbitos en cuanto al fenómeno a estudiar: opinión de la escasez de agua, reconocimiento de sus causas, planteamiento de posibles soluciones. En cuanto al objeto de estudio: Como evaluaría la sostenibilidad hídrica, Cuáles serían las principales variables a considerar, Cuales son los principales actores a tomar en cuenta. Debería de privatizarse el servicio de distribución de agua. Porque. Cuál es su opinión en cuanto al cumplimiento de los parámetros de calidad del agua. En cuanto a los aspectos ambientales: Su opinión sobre el cuidado de las cuencas, Contaminación de los cuerpos de agua, planes de educación sobre el uso del agua. Su opinión sobre áreas protegidas y zonas de recarga de agua. La relación del agua con los efectos del cambio climático.

En cuanto a los aspectos económicos: Su opinión de las tarifas de agua. Qué opina de las inversiones millonarias dejadas de hacer por EMPAGUA. Su opinión sobre la búsqueda de nuevas fuentes de suministro de agua. El papel del servicio privado en el suministro de agua. Y otros más.

Con la información obtenida de los expertos se confeccionara la matriz FODA que deberá contener al menos 5 fortalezas, 5 amenazas, 5 debilidades y 5 oportunidades, para evaluar los posibles impactos, y determinar en qué sectores de la matriz se encuentran.

A continuación, por medio de diferentes metodologías (MICMAC, MACTOR, SMIC), se determinarán las variables clave, los actores clave, factores de peso y el problema específico estratégico.

FODA		Oportunidades					Amenazas				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Fortalezas	1										
	2	Cuadrante 1					Cuadrante 2				
	3	Total de impactos					Total de impactos				
	4	OFENSIVA					DEFENSIVA				
	5										
Debilidades	1										
	2	Cuadrante 3					Cuadrante 4				
	3	Total de impactos					Total de impactos				
	4	ADAPTATIVA					SUPERVIVENCIA				
	5										

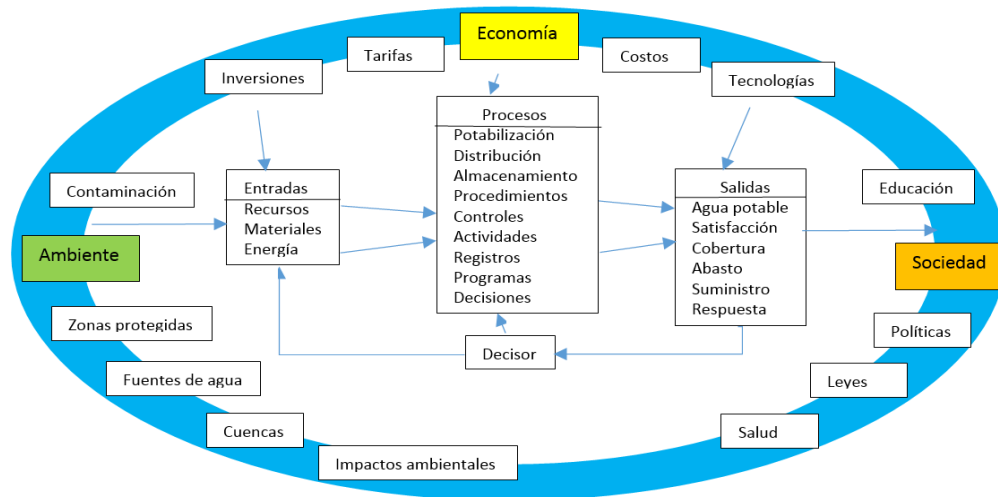
Figura 16. Diseño de una matriz FODA. Fuente elaboracion propia

Para evaluar la sostenibilidad hídrica es necesario hacerlo por medio de un indicador el cual ha sido denominado **ISH = Índice de Sostenibilidad Hídrica**, el cual evaluará y analizará la sostenibilidad del recurso agua tanto en cantidad como en calidad, para lo cual se pretende establecer un modelo matemático-estadístico que relacione el recurso agua con el crecimiento económico, cuidando el ambiente con equidad social, pues la presión que se ejerce sobre el recurso hídrico por parte de población demanda respuestas que se deben conocer para actuar sobre los posibles conflictos económicos y medioambientales, de la siguiente forma:

$$ISH = (C_A, C_E, C_S) \quad (\text{Ecuación 16})$$

Con las variables y actores claves ya se puede hacer la determinación de los diferentes componentes,  $C_A$ ,  $C_E$ ,  $C_S$  y plantear las diferentes relaciones que definen el ISH, para lo cual se hará uso del análisis multivariado, por medio de los software SPSS, Excel y R, para determinar sus valores de significancia, haciendo una relación múltiple de las diferentes variables que agrupe cada componente, pues la finalidad de este análisis es determinar cuáles son las relaciones de mayor peso, de acuerdo a los análisis de confiabilidad respectivos.

A continuación, se presenta una figura que muestra algunos de los principales componentes que definen el sistema de la sostenibilidad hídrica como entradas, salidas, procesos y relaciones con el ambiente, economía y sociedad.



*Figura 17.* Principales componentes de un sistema de sostenibilidad hídrica.  
Fuente. Elaboración propia

Una vez conocidos los componentes  $C_A$ ,  $C_E$ ,  $C_S$  ya se puede plantear la ecuación matemática que define el ISH, y por lo tanto ya se puede proceder a calcular el ISH retrospectivo y su correspondiente escenario retrospectivo para evaluar las tendencias y mecanismos de funcionamiento de la sostenibilidad hídrica y el escenario actual para determinar los gérmenes de cambio y algunos proyectos detectables de los actores actual y con esto se puede concluir la fase 2 de la metodología propuesta también llamada construcción de la base analítica e histórica.

Para facilitar la construcción del modelo del ISH se hará uso del software llamado EUREKA que posee la particularidad de manejar bases de datos grandes y generar varias ecuaciones alternativas con sus respectivos análisis de error y correlaciones respectivas. Y también se puede utilizar para el

procesamiento de la información el paquete de programas del Laboratorio de Investigación en Prospectiva Estratégica y Organización de Michel Godet (2005).

### **Fase 3: Recolección de datos**

Esta fase consiste en la captura de las bases de datos recopiladas estadísticamente del monitoreo realizado en el pasado y presente de las diferentes variables claves del análisis determinado por el grupo de expertos seleccionados, dentro de las cuales se pueden mencionar algunas como sugerencias, pues al momento no se conocen cuáles serán los resultados de ese análisis:

- Bases de datos de ofertas y demandas hídricas en EMPAGUA
- Base de datos meteorológicos de la ciudad de Guatemala en INSIVUMEH
- Base de datos de la población de la ciudad en el INE
- Demandas hídricas del sector privado a través de la oficina de producción más limpia de la Cámara de Industria de Guatemala
- Indicadores Económicos y registros de desarrollo en el Ministerio Economía
- Datos históricos y actuales del PIB, tasa crecimiento económico en el BANGUAT
- Consumos de Energía en el Ministerio de Energía y Minas
- Datos ambientales de contaminación de la ciudad y otros estudios sobre las tendencias de uso del agua en el Ministerio Ambiente
- Datos de salubridad, enfermedades de origen digestivo en el Ministerio de Salud
- Accesos a bases de datos como OARE en universidad LANDIVAR

Otra fase importante a desarrollar, son las encuestas de satisfacción del servicio de abastecimiento de agua, las cuales son importantes tomar en cuenta para definir la sostenibilidad hídrica. Esta fase da inicio con el diseño de la encuesta (sección 2.2.1 del índice de contenido) y la misma puede ser revisada con todo detalle en el anexo 9. Posteriormente se procede a determinar la muestra (sección 2.2.2 del índice de contenido) representativa de acuerdo a los siguientes criterios:

- Usos del agua en el sector
- Tamaño de la población
- Que responda a por lo menos el 80 % del área de análisis

El levantamiento de las encuestas, se realizó a través de los formularios creados y se eligen específicamente para determinar el nivel de satisfacción del servicio de agua, en el área de estudio. En cuanto al tamaño de la muestra seleccionada a encuestar se realizara de acuerdo a la ecuación estadística

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

$\sigma$  = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

$e$  = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

Algunas de las preguntas básicas cerradas a realizar incluyen:

- ¿Posee servicio de agua todo el día?,
- ¿Cuántos días de la semana les ponen el agua?,
- ¿Cuándo reciben el agua, por cuantas horas lo tienen?,
- ¿Posee una cisterna?,
- ¿Alguna vez ha tenido la inquietud de saber cuánta agua recibe?,
- ¿Compra agua embotellada por garrafón para beber?,
- ¿Confía en el agua que recibe para beber y cocinar?.

Entre otras, como también existen industrias se buscara la percepción de las mismas a través de las encuestas. Durante esta fase se desarrollan varias visitas de campo a las plantadas potabilizadoras de agua, y a diferentes lugares del área objeto de estudio

#### **Fase 4: Desarrollo prospectivo y elaboración de escenarios futuros**

Se plantean juego de Hipótesis probabilizadas sobre las cuestiones claves para el futuro y se analizan por medio de la metodología MORPHOL, la cual determina cuáles son las más probables de suceder. A continuación, se plantean los futuros escenarios de acuerdo a cuatro criterios básicos que son:

- Escenario pesimista,
- escenario probable o de tendencia,
- escenario deseado u Optimista y,
- el escenario contrastado.

En cada escenario planteado se analizan las estrategias alternativas por el método de MULTIPOL o multicriterio y se determina la sostenibilidad hídrica,



de acuerdo a los componentes claves identificados, cada uno con sus respectivos análisis de error y criterios de aceptación.

A continuación, se comparará el escenario deseado contra el escenario actual y se determinará la brecha, para formular los planes de acción, que permitan llegar del escenario actual al escenario deseado y así poder formular medidas y acciones focalizadas de mitigación, adaptación, en la actualidad con la mirada puesta en el futuro.

### **Fase 5: Elaboración del informe final**

En esta fase se elaboran los capítulos de resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones, se consolida el informe final como tal y se le entrega al asesor para que pueda emitir su opinión y haga todas sus recomendaciones pertinentes, se formatea digitalmente y se contratan los servicios de un revisor en lingüística, para las correcciones finales, se hace la entrega oficial a la escuela de postgrado, la cual nombra a un revisor para que emita su dictamen correspondiente, pueda ser autorizado por la dirección de escuela.

A continuación se presenta un resumen en forma gráfica del proceso metodológico antes expuesto.

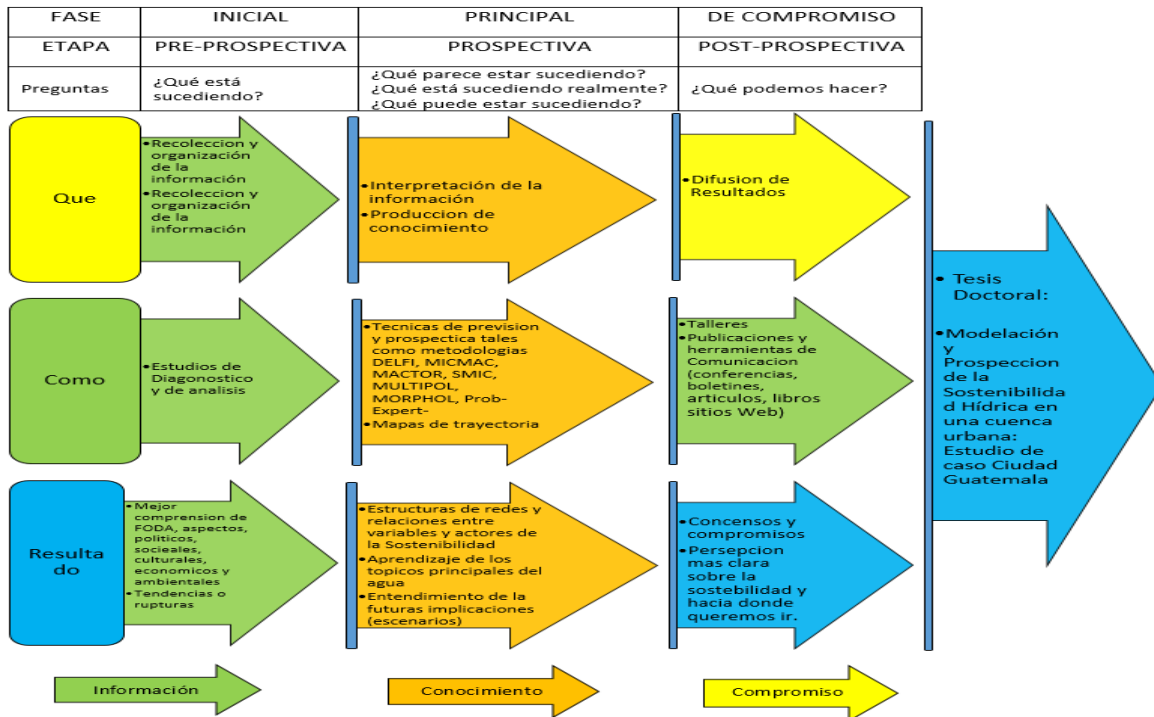


Figura 18. Fases del análisis prospectivo de la sostenibilidad hídrica. Fuente elaboración propia

### 2.1.2 Diagnóstico integral.

Según SEGEPLAN (2010), “el crecimiento acelerado de la población por un lado, demanda más agua dulce potable y por el otro genera más agua contaminada que impacta a las fuentes de suministro y a los costos de tratamiento” (p. 64). En pocas palabras el aumento de la población sigue dos vectores principales que se relacionan con la oferta y demanda y de cómo se verán afectadas en el futuro cercano si hoy no se emprenden las líneas de acción con miras a no padecer sed y racionamiento del agua, todo esto es fácilmente identificable a través de un estudio prospectivo, que relacione los factores

externos e internos del recurso hídrico en tiempo (pasado, presente y principalmente futuro).

Por todo lo anteriormente dicho se puede justificar la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación la cual literalmente dice: **“Se considera que los efectos antrópicos como la constante inmigración de las personas a la ciudad y los del cambio climático como la variabilidad en los regímenes de lluvia e incremento de la temperatura del ambiente, son los factores más determinantes y de mayor peso en la modelación de la sostenibilidad hídrica sobre una cuenca urbana de hoy y al 2030.”**

Según Gross (2014) de la oficina de pensamiento prospectivo estratégico, proporciona una breve evolución de los estudios prospectivos, señalado que: “los estudios más recientes en Estados Unidos de pronósticos tecnológicos datan de 1950 en la defensa” (p. 3). La Corporación Rand, fue responsable del desarrollo del formulario de medición “Delphi”. Y las empresas privadas lo aplicaron al sector de la energía. Posteriormente en el año 1970 los japoneses elaboran su primera previsión acerca del futuro de la ciencia y la tecnología, con un horizonte temporal de 30 años” (p. 5).

Segun Gross (2014), “Holanda, fue el primer país europeo en utilizar la prospectiva en los años 70 aplicándola a la agricultura, salud y medioambiente, en los 80 en Francia, en Alemania en los 90 y en 1994 en el Reino Unido. Desde entonces, varios países de Europa han aplicado esta técnica y en 2002 se crea el PMSU (Prime Minister's Strategy Unit) que es el principal organismo del gobierno británico dedicado a pensar en el futuro “(p. 11).

El tipo de diseño que se utilizó para abordar esta investigación fue no experimental de carácter correlacional y explicativo, basado en los criterios de análisis estadístico, de series de datos longitudinales retrospectivas (pasado y

presente) y prospectivas al grado de construir escenarios del futuro cercano (2030)

Según su objetivo, fue una investigación aplicada, dedicada específicamente a explicar cómo funciona la sostenibilidad hídrica en ciudad de Guatemala y la metodología a utilizada fue mixta (80 % cuantitativo y 20 % cualitativo, pues se realizaron entrevistas a profundidad al grupo de expertos para indagar todas las cuestiones relacionadas con el futuro que avizoran y que puede ser factibles de realizar en los próximos 15 años, además se utilizarón instrumentos como encuestas dirigidas y personales para indagar todos los asuntos relacionados con la satisfacción del servicio de agua suministrado tanto en cantidad, calidad y tiempo).

Por el tipo de información recolectada fue de carácter estadístico y por lo tanto no se puede hacer ninguna clase de manipulación de los datos, sino más bien a correlacionarlos y a buscar explicaciones a los fenómenos relacionados con agua (sostenibilidad hídrica); por su ubicación en el espacio fue de campo (en la ciudad de Guatemala) y por su ubicación en el tiempo fue longitudinal en cuanto a la determinación de las variables claves ambientales, económicas y sociales de 1978 a 2030, también fue transversal, en cuanto a la evaluación de la sostenibilidad, pues se hicieron cortes en el tiempo para su análisis.

Para alcanzar el objetivo general de esta investigación se propuso la utilización de un estudio prospectivo que analizo la sostenibilidad hídrica en ciudad de Guatemala para lo cual se propuso la metodología como novedad científica y aporte al conocimiento.

### 2.1.3 Diferentes enfoques del futuro

Los diferentes enfoques del futuro, pueden ser resumidos en las siguientes 5 preguntas básicas que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 7. Preguntas básicas de un estudio prospectivo.

Probabilidad.	Tiempo	Preguntas	tipo
P0	Presente	¿Quién soy? o ¿En dónde estamos?	incertidumbre
P1	Futuro probable	¿Qué puede pasar? o ¿Para dónde vamos?	Prospectiva
P2	Futuro posible	¿Qué puedo hacer? o ¿Qué otras alternativas tenemos del futuro?	Estratégica
P3	Futuro deseable	¿Qué voy hacer? o ¿Hacia dónde pretendemos ir?	Estratégica
P4	Presente	¿Cómo Hacerlo? o ¿Cómo podemos construir desde ahora el futuro que deseamos?	Estratégica

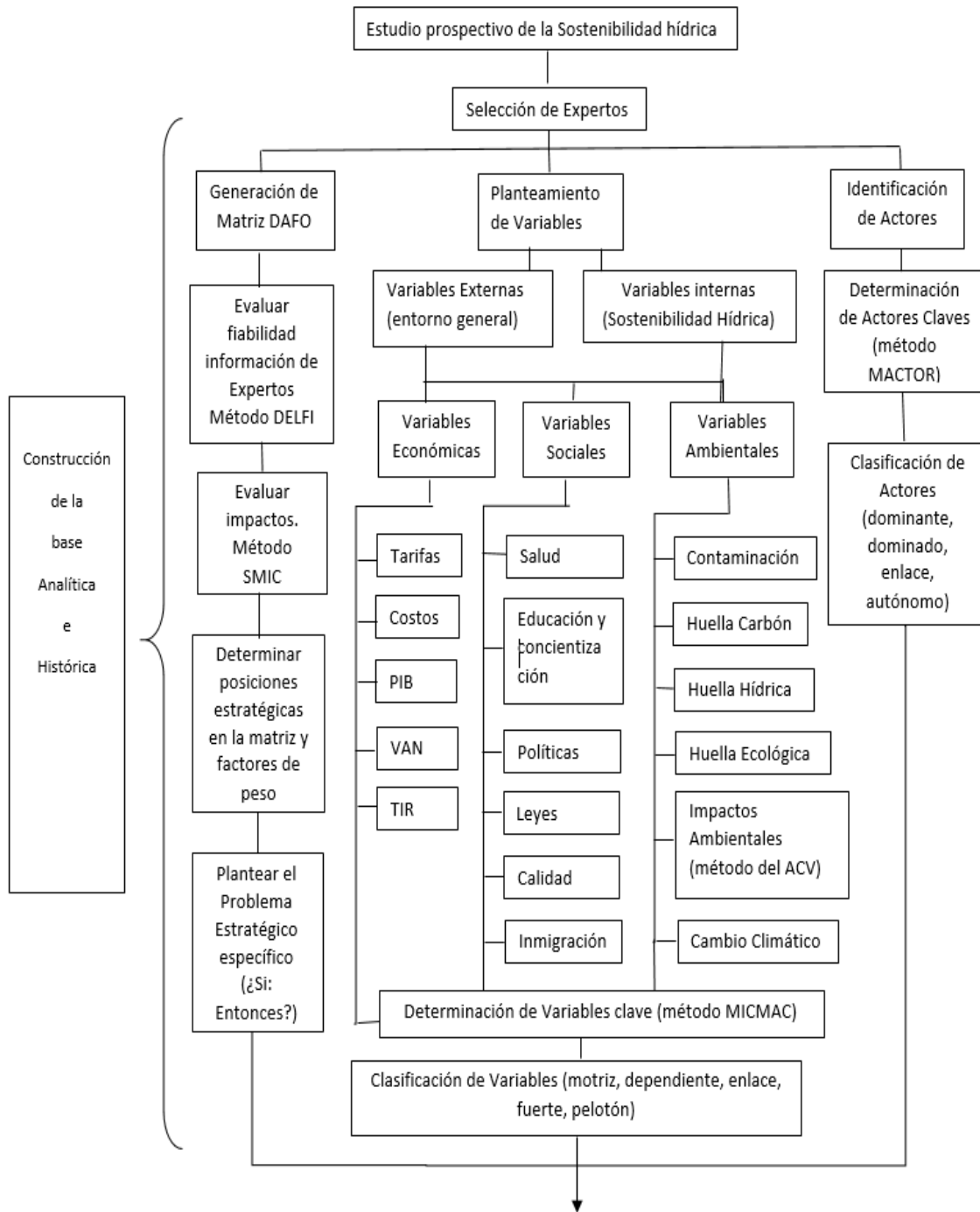
Fuente elaboración propia

Una forma gráfica de interpretar las preguntas arriba descritas es como la que se presenta a continuación, mostrando los diferentes enfoques de los escenarios del futuro aplicados a un estudio de la sostenibilidad hídrica.



Figura 19. Esquemización de los diferentes escenarios del futuro  
Fuente: adaptado de M. Goodet. (2006)

**2.1.4 PROPUESTA METODOLOGICA PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD HIDRICA EN UNA CUENCA URBANA AL 2030 (Aporte Científico)**



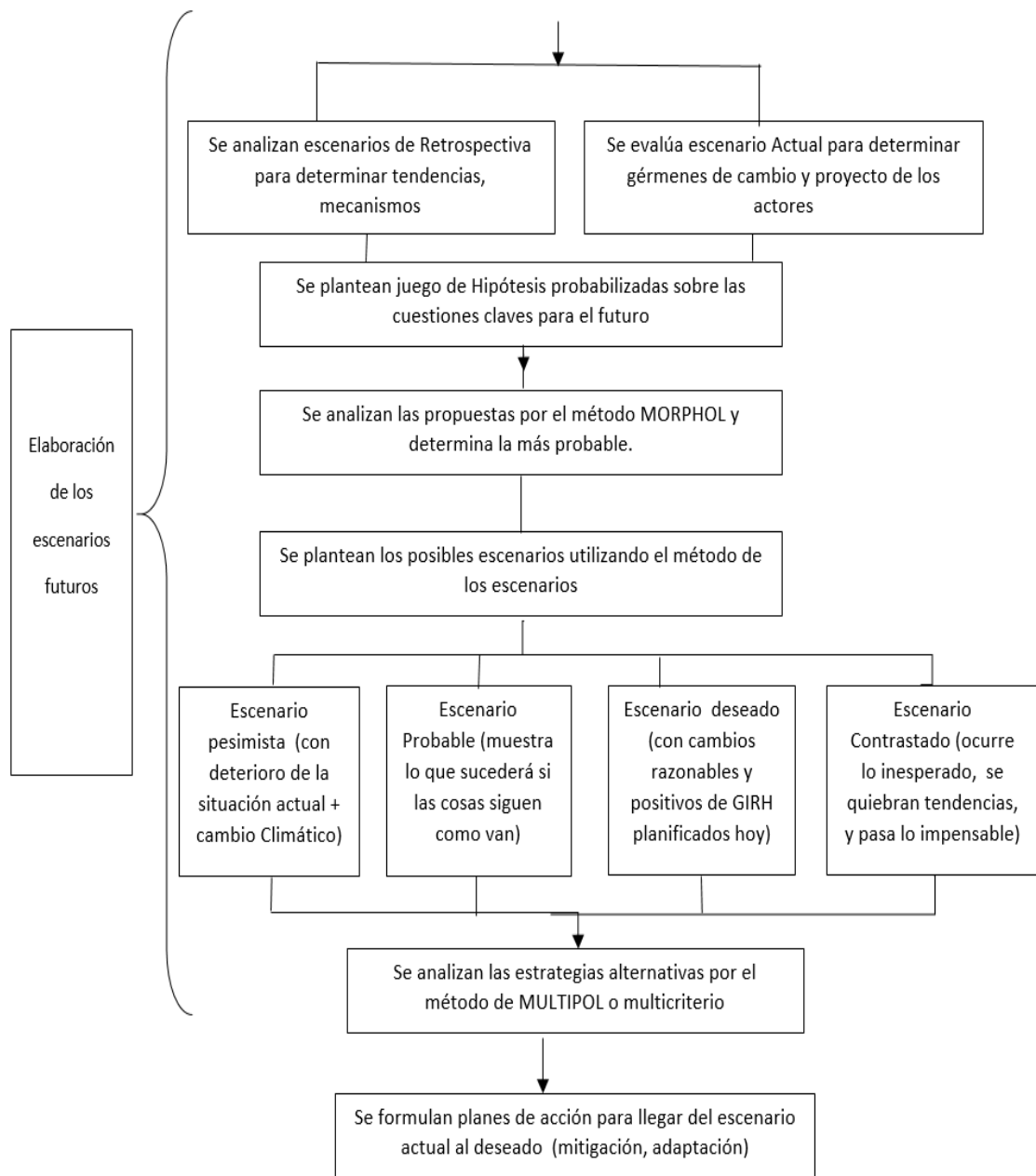


Figura 20. Metodología para la sostenibilidad hídrica. Fuente elaboración propia

## **2.2 Las entrevistas a expertos**

### **2.2.1 La definición de un experto**

Según ROY PÉREZ<sup>3</sup>, “el experto es un práctico sin capacidad inventiva”, el cual “se sitúa en un estadio inferior al del inventor, sin su capacidad para producir un invento, pero con un conjunto de habilidades muy similares y con un acceso ilimitado a la información”.

Según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE), un experto es una persona “práctica, hábil y experimentada”.

El propósito de un experto, es ofrecer su *perspectiva* sobre un tema en cuestión. Esa es la razón por la cual las personas van a un experto: pues quieren saber su opinión, sus consejos, sus conocimientos, etc. En esencia, quieren escuchar su *perspectiva*. Quieren saber simplemente qué es lo que el experto piensa u opina sobre un tema en específico.

### **2.2.2 La selección de expertos**

Para generar una lista de expertos se procedió a seleccionar un grupo de 48 profesionales en conjunto con el Dr. Marvin Salguero Asesor de esta tesis, todos ellos fueron considerados como expertos en el área de hidrología, recursos naturales, especialistas en análisis de aguas, tanto de orden de agua potable como de aguas residuales, químicos biólogos, ambientalistas, ingenieros agrónomos, químicos, y afines

Para asegurarse, de sus cualidades se pasó una lista de chequeo que asegura su especialidad en el tema a tratar.



Nombre: \_\_\_\_\_

Profesión: \_\_\_\_\_

fecha: \_\_\_\_\_ Hr. Inicio: \_\_\_\_\_ Hr. Fin: \_\_\_\_\_

Tipo de ocupación actual:

- Ambientalista     Periodista     Antropólogos     Abogado  
 Alcalde     Ingeniero     Biólogo     Hidrólogo     Medico  
 Ministro     Técnico especialista     Docente universitario  
 Director Área     Gerente

A continuación algunos criterios específicos para la selección de un experto:

No.	Criterio de selección	valoración		
		Excelente	Reconocido	Bueno
1	Experiencia reconocida			
2	Relevancia de sus trabajos			
3	Experiencia científica			
4	Disposición a participar			
5	Capacidad de análisis			
6	Conocimiento del problema			
7	Publicaciones destacadas			
8	Creatividad y pensamiento lógico			
9	Posiciones ocupadas			
10	Antigüedad en la posición			

Figura 21. Boleta de evaluación de experto. Fuente elaboración propia. 2016

### 2.2.3 Diseño del cuestionario

Para dirigir la entrevista con los expertos se diseñó una guía de preguntas claves que ayudan a evaluar la sostenibilidad actual y futura del agua en Guatemala y sus principales problemas relacionados con salud, pobreza, escasez de agua, educación, cambio climático, contaminación de los cuerpos de agua, escasas plantas de tratamiento de agua, y además la no existencia de una ley general de aguas, que complica, que la gestión de los recursos hídricos sea dificultosa de aplicar, las preguntas son:

- 1      ¿Cuál es su opinión en cuanto a la escasez de agua en la ciudad de Guatemala?  
         ¿Considera que la situación se ha ido agravando?  
         Reconocimiento de causas  
         Planteamiento de posibles soluciones.
  
- 2      ¿Está usted de acuerdo que la sostenibilidad hídrica puede evaluar la escasez de agua?  
         Si la respuesta es afirmativa, ¿Cuáles deberían de ser las principales variables a considerar y como que tipo de ecuación o relación debería de ser utilizada?
  
- 3      ¿Qué actores considera usted, que tienen que ver con la sostenibilidad Hídrica?
  
- 4      ¿Qué opinión le merecen los estudios relacionados al agua enfocados a la ciudad de Guatemala?  
         Tiene algunas preferencias específicas que usted considera que deberían incluirse o enfocarse en los estudios relacionados al agua en la ciudad de Guatemala.

- 5 En cuánto a los aspectos sociales, ¿Cuál es su opinión? al respecto de:
- El cumplimiento de los parámetros de calidad del agua distribuido por EMPAGUA
  - La falta de controles de calidad del agua en los productos ofertados en el mercado, además de empresas surtidoras de llenado de garrafones.
  - El abastecimiento público de agua segura en zonas marginales, asentamientos, a precios especiales o gratuitos.
  - La racionalización permanente del agua en varias zonas de la capital, y el favorecimiento en otras de mejor condición social (falta de equidad)
  - En cuanto a la ley de aguas, que no debería faltar en su reglamento
  - Como se podría asegurar el abastecimiento de agua segura en las escuelas públicas mientras se implementas acciones y políticas de largo y mediano plazo.
  - La escasez del agua y el abastecimiento de agua no segura es el principal vector de la mayoría de enfermedades gastrointestinales que padece la población, que alternativas considera deberían implementarse.
- 6 ¿En cuanto a los aspectos ambientales, cuál es su opinión al respecto de?
- La contaminación de los cuerpos de agua,
  - El cuidado de las cuencas,
  - Los planes de educación sobre el uso del agua. Su opinión sobre
  - Las áreas protegidas y zonas de recarga de agua.
  - La relación del agua con los efectos del cambio climático.

7 ¿En cuanto a los aspectos económicos cuál es su opinión al respecto de?

- Las tarifas de agua.
- ¿Actualmente, tanto la municipalidad de Guatemala, como muchas otras municipales del país se quejan de que el servicio de agua no es autofinanciable y debe de subvencionarse de otros impuestos, según usted que soluciones hay, y entre ellas debería de privatizarse y porque?
- El papel del servicio privado en el suministro de agua
- La comercialización del agua tanto a escala industrial (bebidas gaseosas, cerveza, jugos etc. Donde el 90 % del producto terminado es agua) como artesanal venta de agua en camiones cisterna.
- Según estadísticas el uso del agua subterránea que abastece a la ciudad de Guatemala en 1995 era de 40 %, al día de hoy alcanza casi el 60 % y resto del agua es de origen superficial, lo cual encarece el costo de producción en cuanto al precio de la energía de eléctrica pero tiene la ventaja que el costo de potabilización es bajo, con respecto al tratamiento de aguas superficiales, de continuar esa tendencia, más los efectos del cambio climático, el fenómeno del niño y la variabilidad climática debería pensarse en actuar ya y qué medidas se deberían de toma.
- De las inversiones millonarias dejadas de hacer por EMPAGUA.
- Sobre la búsqueda de nuevas fuentes de suministro de agua.

8 Preguntas relacionadas al futuro probable (prospectivas)

- Qué puede pasar si nuestras autoridades actuales no le ponen atención a la problemática del agua en la ciudad de Guatemala o

- A dónde vamos a parar de aquí a 15 años.

9 Preguntas relacionadas al futuro posible (estratégicas)

- Apropiado, y urgente un proyecto a mediano y largo plazo de un acueducto nacional de los principales ríos del norte de mayor caudal, hacia diferentes puntos del país, contemplando varias represas capaces de cubrir las necesidades de agua en la época de mayor estiaje, especialmente para la ciudad de Guatemala y el corredor seco.
- Que otras alternativas tenemos a corto, mediano y largo plazo para afrontar la escasez del agua en ciudad de Guatemala.

10 Preguntas relacionadas al futuro deseable (estratégicas)

- Hacia donde pretendemos ir en el corto y mediano plazo (2030) para afrontar los problemas relacionados a la escasez del agua en la ciudad de Guatemala.
- Guatemala es un país con una gran riqueza hídrica, pero los altos niveles de contaminación y la mala gestión del recurso hídrico han ocasionado una escasez hídrica económica, ¿qué tipo de visión tiene, que sea realista y que le gustaría alcanzar en cuanto a la problemática del agua?
- Considera imprescindible en el futuro cercano la autorización de la ley de aguas, y la creación del Instituto Nacional del Agua, para hacer realidad, los proyectos de mejora, o cree que aun sin estas se puede hacer algo.

11 Preguntas relacionadas al presente proactivo (estratégicas)

- Como podemos construir desde ahora las acciones inmediatas para alcanzar el futuro que deseamos respecto al abasto del agua.

- Considera que es factible para la ciudad de Guatemala como respuesta inmediata a la problemática que vive adquirir tecnologías capaces de tratar el agua de nuestros ríos con niveles altos de contaminación, para que pudiéramos consumirla sin grandes inversiones de plantas de tratamiento de agua tradicional.

### **2.3 Objeto de estudio a investigar**

El fenómeno a estudiar es la escasez hídrica y se enfocara su análisis a través de evaluar la sostenibilidad hídrica pues con este concepto se logra agrupar:

- la salud humana,
- los medios de sustento,
- el crecimiento económico,
- el mantenimiento de los ecosistemas,
- el crecimiento demográfico,
- el estilo de vida,
- las necesidades y aspiraciones humanas,
- la explotación y preservación del recurso hídrico, y
- otras variables más

### 2.3.1 La zona de análisis

Es la cuenca urbana de la ciudad capital de Guatemala y específicamente parte sur de la misma, la cual agrupa a las zonas 11, 12, 13, 14 y 21

La ubicación geográfica del área de estudio se muestra en el mapa de la Figura 21. En la Figura 22, se muestra el mapa del departamento de Guatemala y la ubicación de la Ciudad de Guatemala. Mientras que en la Figura 23, se muestra la distribución de las zonas en la cuenca sur de la Ciudad de Guatemala.

En la *Figura 24*, se muestra la zona de impactos hídricos en la cuenca sur de la Ciudad de Guatemala.

*La Figura 25*, identifica la hidrografía de la Ciudad de Guatemala.

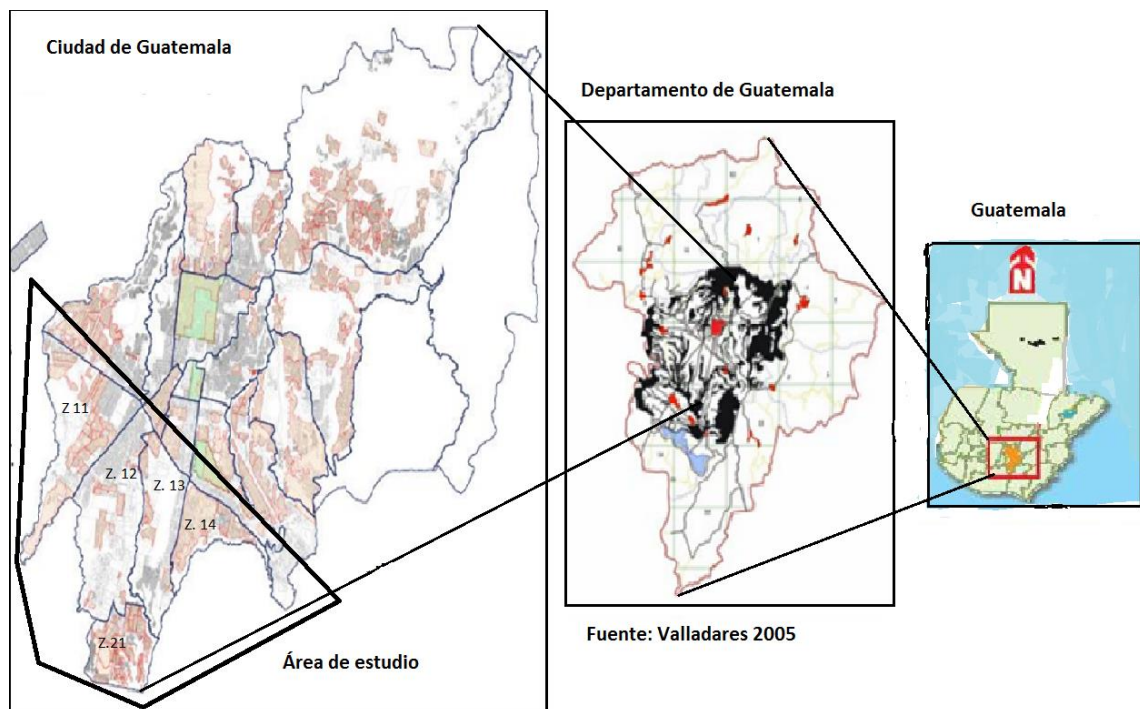


Figura 22. Mapa de la ciudad de Guatemala. Fuente POT (2014, p.22)

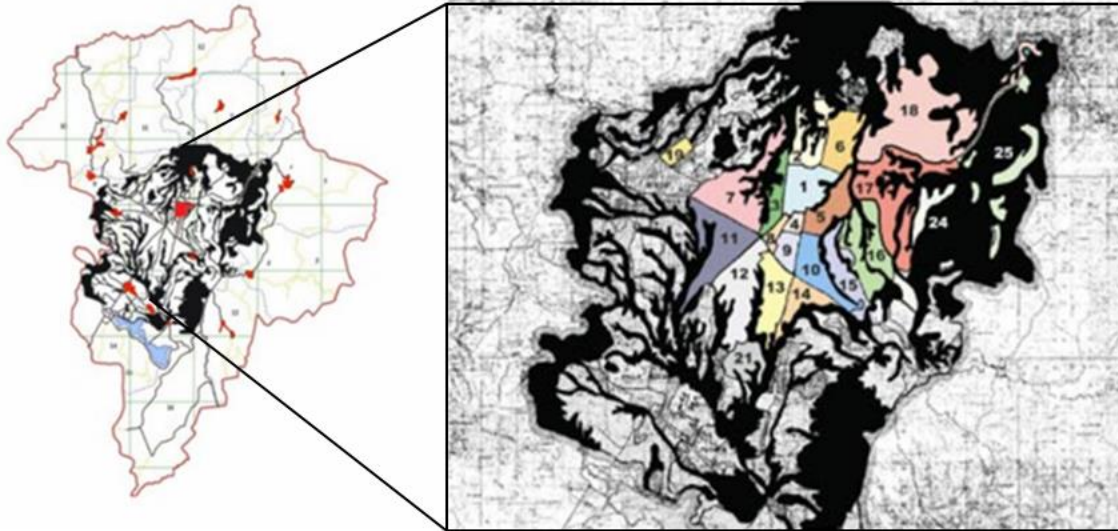


Figura 23. Ubicación de la ciudad en el departamento de Guatemala. Fuente: Valladares, 2005

Área de estudio de la cuenca urbana del sur de la ciudad de Guatemala

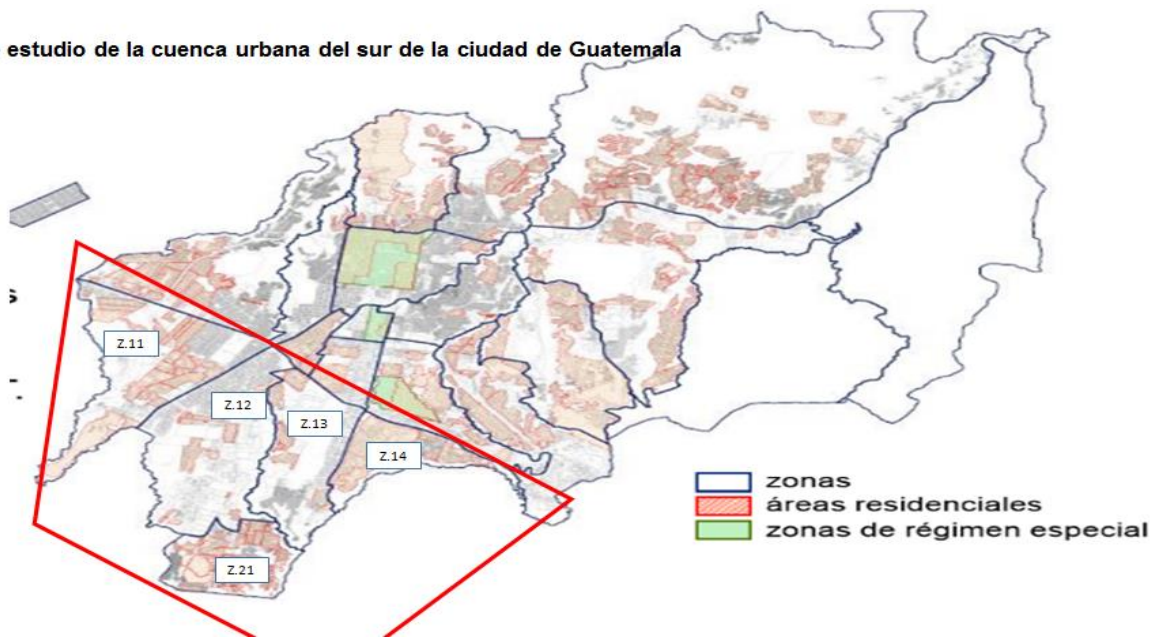


Figura 24. Distribución de zonas en cuenca sur de Guatemala. Fuente: Municipalidad de Guatemala, POT 2014



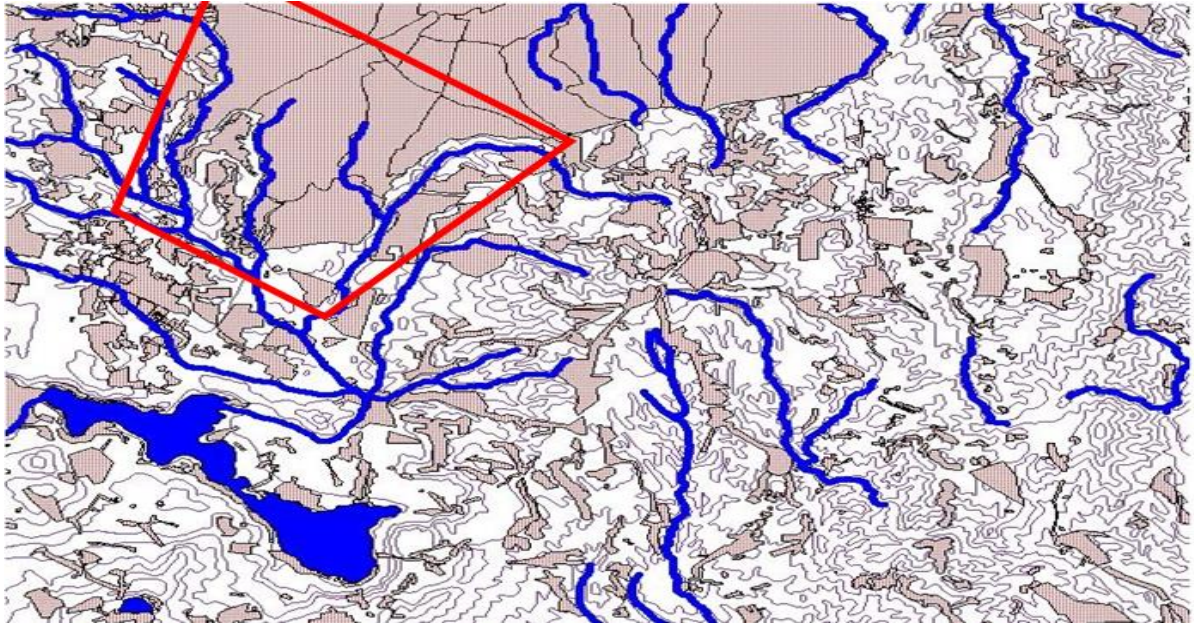


Figura 25. Impactos hídricos de la cuenca sur de Guatemala Fuente: Municipalidad de Guatemala, POT 2014



Figura 26. Hidrografía de la cuenca urbana de la ciudad de Guatemala. Fuente: Municipalidad de Guatemala, POT 2014

### 2.3.2 Población base

“La ciudad capital de Guatemala en los últimos 10 años ha tenido un crecimiento de casi el 20 % de su población llegando a alcanzar a los 3.2 millones de habitantes” (INE, 2012, p. 4), con una población base de 0.9925 millones, lo cual indica que existe una población flotante 2.2075 millones, demandando servicios básicos, entre los cuales el recurso agua es uno de mas importantes a contemplar, las autoridades municipales en el afán de suplir estas demandas, se ven cada día más amenazadas en no poder abastecer de este vital liquido a la población y tienden a racionar el agua, que en mucho de los casos no se hace de forma ecuánime, pues algunos sectores son más beneficiados que otros, provocando malestar social.

La metodología utilizada para el análisis del agua, en cuanto a la población base que se tomó en cuenta sugiere diferenciarla en dos grandes grupos así:

Población base	Habitantes directos (hab. d)
Población flotante	{ Habitantes empleados (hab. e)
	{ Habitantes ambulatorios (hab. a)

La determinación de cada grupo se realizó con las fuentes primarias como el INE, IGSS, Ministerio de trabajo y previsión social y el instituto de turismo.

Otro dato importante a considerar en este punto es que según expertos del INE, indican que la población se duplica aproximadamente cada 29 años.

### **2.3.3 Actividad económica**

El banco de Guatemala y sus registros en cuanto a las declaraciones financieras de cada empresa, industria o comercio registrados son una buena fuente de información confiable, además la cámara de industria también puede proporcionar información contrastada, tanto de PIB, Renta, e impuestos por producción diaria.

Para el caso específico de la demanda de agua para el sector privado se utilizó el criterio desarrollado por Colin Clark el cual indica que para analizar el consumo de cualquier actividad económica llámese, industria, comercio negocio, primero debe ser ubicado de acuerdo a los sectores primario, secundario y terciario de una economía en un periodo dado, para lo cual los agrupa de la siguiente manera:

- Sector Primario: Agricultura, silvicultura, caza y pesca, la explotación de minas y canteras.
- Sector Secundario: Industria manufacturera, construcción y electricidad, gas, agua y servicios sanitarios.
- Sector Terciario: Vivienda, comercio, mayorista, bancos, compañías de seguros, bienes inmuebles, servicios privados, admón. Pública y defensa, transportes, almacenajes y comunicaciones.

### **2.3.4 Demanda hídrica**

Es la cantidad de agua exigida por la población en una determinado tiempo y espacio, para el caso particular se realizó sobre una cuenca urbana, específicamente en la cuenca sur de la ciudad de Guatemala.

Para calcularla existen diferentes formas de hacerlo, pero en esta investigación se utilizaran los requerimientos internacionales mínimos de consumo de agua por habitante al día y multiplicados por la población base, y flotante en el área de estudio.

Para el caso particular de la ciudad de Guatemala, se ajustaran estos requerimientos de acuerdo a las condiciones que se viven en las diferentes zonas del área de estudio. Finalmente se procederá a comprar con los factores proyectados de demanda por la empresa EMPAGUA.

La Ecuación 18, propuesta en esta investigación para determinar la demanda del agua de toda la ciudad (D) está definida así:

$$D = \left(\frac{30}{1000}\right) \cdot [(hab. d) * (Rmm hab. d) + (hab. e) * (Rmm hab. e) + (hab. a) * (Rmm hab. a)] + Dsp$$

(Ecuación 18)

Donde:

hab. d = habitantes directos	{	población base
hab. e = habitantes empleados		población flotante
hab. a = habitantes ambulatorios		población flotante

Rmm.hab.d = requerimientos mínimos medios de agua de los habitantes directos

Rmm.hab.e = requerimientos mínimos medios de agua de los habitantes empleados

Rmm.hab.a = requerimientos mínimos medios de agua de los habitantes ambulatorios

Los Rmm. deben de introducirse en litros de agua por persona por día

Dsp = Demanda de agua del sector privado para producción de toda la ciudad.  
En m<sup>3</sup>/mes

A continuación se realiza el correspondiente análisis dimensional

D = es la demanda del agua para toda la ciudad de Guatemala

$$D = \left[ (\text{personas}) * \left( \frac{L H_2O}{\text{persona} - \text{dia}} \right) * \left( \frac{1m^3 H_2O}{1000 L H_2O} \right) * \left( \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} \right) \right]$$

$$D = \left( \frac{30}{1000} \right) * \left( \frac{m^3 H_2O}{\text{mes}} \right)$$

Con esta misma fórmula también se procedió a calcular:

Dze = Demanda de agua de la zona de estudio

Dz11 = Demanda de agua de la zona 11

Dz12 = Demanda de agua de la zona 12

Dz13 = Demanda de agua de la zona 13

Dz14 = Demanda de agua de la zona 14

Dz21 = Demanda de agua de la zona 21

Los cuales pueden ser consultados en la sección 3.6.1.1

### 2.3.5 Oferta hídrica para la zona de estudio

La forma de calcular este parámetro o indicador simple es por medio de los registros de EMPAGUA y los registros de la cámara de industria, la sumatoria de ambos ofrece este dato así:

$$A = (a) + (p1) - (pa) + (p2) - (pb) + (w2) \quad \text{en} \left( \frac{m^3 H_2O}{\text{mes}} \right) \quad (\text{Ecuación 19})$$

Dónde:

a = Toda el agua superficial que sale de la planta potabilizadora en m<sup>3</sup>/mes

p1 = Toda el agua subterránea de pozos de EMPAGUA en m<sup>3</sup>/mes

pa = Pérdidas en la red de distribución pública

pa = (Ao)\*(Xrp / 100) en m<sup>3</sup>/mes

Ao = Toda el agua de suministro público (EMPAGUA) superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras

Ao = (a) + (p1) en m<sup>3</sup>/mes

Xrp = porcentaje (%) de pérdidas de agua en la red de distribución pública en %

p2 = Toda el agua subterránea de pozos de la iniciativa privada en m<sup>3</sup>/mes

pb = pérdidas en la red de distribución privada

pb = (p2) (Xrpv / 100) en m<sup>3</sup>/mes

Xrpv = porcentaje (%) de pérdidas de agua en la red de distribución privada

w2 = precipitación que cae en el área de los asentamientos

w2 = (1,000) wo (Aa) en m<sup>3</sup>/mes

wo = precipitación mensual acumulada en (mm) de lluvia

Análisis dimensional:

1 mm H<sub>2</sub>O = 1L H<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup> = 1000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>

$$(1 \text{ mm } H_2O) = \left[ \frac{1 \text{ L } H_2O}{1 \text{ m}^2} \right] * \left( \frac{1,000,000 \text{ m}^2}{1 \text{ Km}^2} \right) * \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L } H_2O} \right) = \frac{1000 \text{ m}^3}{\text{Km}^2}$$

Al igual que en el caso de la demanda de agua también se determinó:

A = suministro de agua de toda la ciudad

Aze = suministro de agua de la zona de estudio

Aa = Superficie ocupada por las viviendas de los asentamientos en km<sup>2</sup>

Az11 = suministro de agua de la zona 11

Az12 = suministro de agua de la zona 12

Az13 = suministro de agua de la zona 13

Az14 = suministro de agua de la zona 14

Az21 = suministro de agua de la zona 21

Para determinar las cantidades de agua de cada sector se recurrió a fuentes secundarias de información, pues algunas no fueron proporcionadas por EMPAGUA, talvez por que no las tenían o simplemente porque no les interesó proporcionarla. En cuanto a la planta de tratamiento de agua El Cambray que distribuye geográficamente al área atendida correspondiente de las zonas 9, 10, 13, 14 y 15 de la ciudad capital. Y para el caso del área de estudio de esta investigación cubre las zonas 13 y 14 estos habitantes son considerados como los potenciales.

Tabla 8. *Habitantes por zonas a las que distribuye agua potable la planta El Cambray al año 2002*

<b>Zona</b>	<b>Habitantes</b>
9	1,750
10	12,090
13	26,734
14	18,322
15	14,549
<b>Total</b>	<b>73,445</b>

Fuente: [www.ine.gob.gt](http://www.ine.gob.gt)

Los datos anteriores fueron capturados de Instituto Nacional de Estadística. Proyecciones de Población y Lugares Poblados con base al XI Censo de Población y VI de Habitación, Período 2000-2020.

Según datos de la encuesta realizada en el 2006, por la Empresa Municipal de Agua, sobre el consumo de agua potable, una familia promedio en esas zonas está formada por 5 miembros los cuales consumen de 2 a 3 garrafones de agua pura, por semana, que no confían en la calidad brindada por EMPAGUA.

Con los datos de la tabla 7 y con la información del Instituto Nacional de Estadística, sobre el número promedio de miembros por familia que para este caso fue de 5, se calculó el número total de familias que viven en las zonas 13, y 14, que son:

Zona 13 = 26,734 habitantes / 5 = 5, 347 familias.

Zona 14 = 18,322 habitantes / 5 = 3, 665 familias.

Esta información se utilizó para la estimación de la demanda y oferta. Y se realizó por año desde 1978 hasta el 2014. Según información del Instituto Nacional de Estadística (INE) del XI Censo de Población y el VI de habitación 2002, Guatemala tiene como población un total de 11, 237,196 habitantes, de los cuales 2, 541,581 están en la capital lo que se traduce en una densidad de población de 103 hab / km<sup>2</sup>.

Según las proyecciones de población, para el año 2010 la población será 14, 361,666, para el año 2020 el número de habitantes será de 18, 055,025 con una tasa de crecimiento poblacional de 2.7%. Para efectos de cálculo se estará considerando el mismo incremento para ambos sectores de población.



Tabla 9. Crecimiento de la población del año 2002 al año 2008 de la zona de estudio.

Zona	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>9</b>	1,750	1,797	1,846	1,896	1,947	1,999	2,053
<b>10</b>	12,090	12,416	12,752	13,096	13,450	13,813	14,186
<b>13</b>	26,734	27,546	28,197	28,958	29,740	30,543	31,368
<b>14</b>	18,322	18,817	19,325	19,847	20,382	20,933	21,498
<b>15</b>	14,549	14,942	15,345	15,760	16,185	16,622	17,071

Fuente: Tánchez, 2007, pág. 18

La situación actual de la relación de demanda actual, en el consumo de agua potable de los habitantes residentes en la zonas 9, 10, 13, 14 y 15, los cuales son 73,445 y representan un 2.89% de la población en la ciudad capital.

En la tabla 9 se presenta el consumo actual de agua potable en m<sup>3</sup> por zona y por número de habitantes de la misma. El consumo se obtuvo de la relación del consumo total del sector 25,000 m<sup>3</sup> por día, según los datos de EMPAGUA y la proyección de población del INE.

Tabla 10. Consumo de agua por sector al día durante el año 2007

Zona	2007	%	Consumo (m <sup>3</sup> /día)
<b>9</b>	1,999	2.38	595.68
<b>10</b>	13,813	16.46	4,115.32
<b>13</b>	30,543	36.40	9,100.01
<b>14</b>	20,933	24.95	6,236.64
<b>15</b>	16,622	19.81	4,952.35
<b>Total</b>	83,910		25,000.00

Fuente: Tánchez, (2007)

### **2.3.6 Visita de campo**

Para conocer de cerca el estado de las instalaciones y el tipo de atención que se le brinda a cada de las plantas de tratamiento de agua, que abastecen la zona de estudio, fue necesario emprender esta actividad y tomar una impresión general, principalmente en los escenarios del futuro.

La historia del abastecimiento del agua potable en la Ciudad de Guatemala data de antes del traslado de la Ciudad al Valle de la Ermita. En 1774 se realizó un estudio de la introducción de las aguas de Mixco, Pansalique, Pancochá, Belén, Pínula, Acatan y Agua Bonita.

El agua se suministraba sin presión y sin un sistema de medida. En 1782 por decreto surgió la Dirección de Aguas como dependencia de la Municipalidad de Guatemala.

En 1918, se inicia la aplicación del cloro a las aguas que surten la capital; en 1950 la Municipalidad de Guatemala dispuso controlar el uso del agua por medio de medidores.

Cuando el Gobierno Central tomó la decisión de realizar por su propia cuenta el Acueducto Nacional Xayá Pixcayá, obtuvo financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y promovió ante la Municipalidad citadina la transformación de la Dirección de Aguas y Drenajes Municipales en la empresa especializada en la prestación del servicio de agua potable, creándose para el efecto la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala -EMPAGUA-, por acuerdo municipal del 28 de noviembre de 1972 .

EMPAGUA se divide en las siguientes plantas de tratamiento de agua:

- El Cambray y Planta de Bombeo Hincapié
- La Brigada.

- Las Ilusiones y Estación de Bombeo El Atlántico.
- Estación de Bombeo Ojo De Agua
- Santa Luisa
- Xayá y Pixcayá y Planta de Tratamiento Lo De Coy

Según personeros de EMPAGUA indican que el abastecimiento de agua para cada uno de los sectores (zonas de la capital) de la cuenca Sur de la ciudad de Guatemala está distribuido de la siguiente forma:

Tabla 11. *Distribución del agua que abastece las zonas de estudio*

Sector	Planta de potabilización	Tipo de Cuenca	Fuente de Suministro	Ubicación de la cuenca
Zona 11	Lo de Coy	externa	rio Xayá y Pixcayá	Chimaltenango
Zona 21 y 12	Ojo de agua	Interna	bombeo Subterráneo	Zona 12
Zona 13 y 14	El Cambray	externa	Rio Pínula y las Minas	Santa Catarina Pínula

Fuente: EMPAGUA, 2014

### 2.3.6.1 Planta El Cambray y Planta de Bombeo Hincapié

La planta El Cambray es una planta potabilizadora de agua que forma parte de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), de la Ciudad de Guatemala su operación básica es la recolección, tratamiento y distribución de agua potable. Actualmente la empresa no logra cubrir sus costos de mantenimiento y operación con las tarifas que cobra a los consumidores.

Esto no ha permitido desarrollar proyectos de mejora en los servicios que brinda. Adicional a lo expuesto, las plantas de tratamiento en su mayoría no trabajan al 100% de la capacidad instalada.

Esta planta abastece de agua purificada actualmente a los habitantes de las zonas 9, 10, 13, 14 y 15, de la ciudad capital de Guatemala. Las zonas de interés para el área de estudio son las zonas, 13 y 14.

La planta El Cambray es la más antigua de la ciudad de Guatemala. Se construyó cuando la capitanía general se trasladó al valle de la Ermita (1776) y cuyos vestigios aún se observan en el llamado Acueducto de Pinula (Zonas 13 y 14), hoy en día está considerado patrimonio histórico nacional. En 1963 se construyó el tanque circular de aguas claras.

Posteriormente, en 1998 la planta de tratamiento El Cambray fue rehabilitada con el apoyo técnico y financiero de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA). La planta consta de:

- Prensa de captación del río Pínula.
- un tanque de alimentación
- desarenador

La planta produce diariamente 25,000 m<sup>3</sup>. Con esta producción son abastecidas las zonas 9, 10, 13, 14 y 15 de la ciudad capital, como se dijo anteriormente y según mediciones realizadas por la superintendente de la planta, dicha capacidad está siendo utilizada de un 85 a 90% de eficiencia.

Las tarifas por este servicio oscilan entre Q1.12 y Q5.60 por m<sup>3</sup> , según el número de m<sup>3</sup> consumidos. Estos ingresos se vuelven insuficientes para que la empresa sea auto sostenible y como consecuencia exista la necesidad de aumentar las tarifas a los consumidores finales.



Figura 27. Ubicación de la planta El Cambray. Fuente: [www.google-maps.com](http://www.google-maps.com)



Figura 28. Ubicación aérea de la planta El Cambray. Fuente: [www.google-earth.com](http://www.google-earth.com)

### 2.3.6.2 Estación de bombeo Hincapié

En 1968 se completó el sistema con la planta de bombeo Hincapié y la perforación del pozo del mismo nombre en 1970.



Figura 29. Ubicación aérea de la planta El Cambray. Fuente: [www.google-earth.com](http://www.google-earth.com)

La Estación de bombeo Hincapié, incluye una presa de captación, y cuatro unidades de bombeo, dos de 200 hp. y dos de 250 hp. Estas últimas como parte de la rehabilitación realizada con el apoyo financiero del gobierno de Japón.

### 2.3.6.3 Planta de Bombeo Ojo de Agua

El Sistema Ojo de agua, está conformado por 11 pozos de operación simultánea, trabaja las 24 horas del día, produciendo agua 100% subterránea, la cual recibe su proceso de desinfección correspondiente, para luego dirigirlo a los diferentes tanques de distribución ubicados en diferentes puntos de la ciudad de

Guatemala. EMPAGUA paga aproximadamente Q.3 millones en factura eléctrica para que esta planta funcione.

Está ubicada al Final de la Avenida Petapa, Finca el Frutal, Zona 12. En abril del 2005 el 60% del porcentaje de producción de agua en la ciudad es obtenido por medio de pozos y el otro 40% es captado por fuentes superficiales, el estimado de producción de EMPAGUA para esa época fue de 3.5 m<sup>3</sup> / s.

Algunos datos históricos de interés se presentan a continuación:

Tabla 12. *Caudales de abastecimiento de la ciudad de Guatemala en (miles de m<sup>3</sup>/año)*

Año	Total	Lo de Coy	Ojo de Agua	Sta. Luisa	Las Ilusiones	Pozos	El Cambray	La Brigada
1980	68.307	21.996	18.363	11.448	5.074	4.203	5.481	1.744
1982	80.133	32.895	16.828	10.445	5.580	4.852	5.639	3.894
1984	79.565	31.536	17.739	9.822	7.346	5.669	5.512	1.965
1986	80.918	35.063	16.046	10.430	7.589	5.324	4.851	1.616
1988	89.463	36.404	19.648	9.520	7.492	9.187	5.091	121
1990	97.590	40.103	20.794	9.484	7.181	12.738	4.538	742
1992	90.393	31.102	23.567	7.908	6.890	15.074	4.570	1.282
1993	97.428	33.853	25.398	8.597	7.369	15.632	4.850	1.729

Fuente: EMPAGUA/ASIES, 1994.

#### 2.3.6.4 Sistema Xayá Pixcayá

Según la municipalidad de Guatemala, había preparado en otros estudios traer agua de los ríos Xayá hacia la ciudad capital pero en diferente ruta. Fue hasta en octubre de 1961, cuando el gobierno de Guatemala con el fin de ayudar a enfrentar la escasez de agua potable, decidió hacer estudios para traer a la ciudad capital el agua de los ríos Xayá y Pixcayá. Para el efecto se encargó a Ingenieros guatemaltecos la preparación de un anteproyecto, que fue terminado a principios de 1962.

El acueducto se inició en 1971 y se terminó en 1978, el acueducto Xayá-Pixcayá es hasta la fecha la obra más grande en materia de abastecimiento de agua en Guatemala, el cual abastece a la planta de tratamiento Lo de Coy y que a su vez produce el 39% del agua potable que distribuye EMPAGUA en la Ciudad de Guatemala. La capacidad del acueducto es de 140, 000 m<sup>3</sup>/día equivalentes a 1.6 m<sup>3</sup>/s. Fue ampliado en 1991 con una capacidad máxima de 3 m<sup>3</sup>/s con el plan de emergencia II. El acueducto Xayá lo constituyen la presa de derivación La Sierra (Km 75 de la carretera interamericana Tecpan, Chimaltenango), la presa de derivación El Tesoro (Km. 58, Chimaltenango) y líneas de conducción. La Planta de tratamiento Lo de Coy



Figura 30. Represa el Tesoro. Fuente: EMPAGUA. 2014

#### **2.3.6.5 Planta Lo de Coy**

Entró en operaciones en 1978 con una capacidad de producción de 960 litros por segundo y una capacidad máxima de 1 m<sup>3</sup>/s y a continuación en 1991 se amplió su capacidad para operar hasta los 3 m<sup>3</sup>/s con el denominado plan de emergencia II. La planta está ubicada en el Km. 17.5 Carretera Interamericana, Mixco.

La Planta de tratamiento Lo de Coy consta de 1 Canal de entrada 3



floculadores, 4 sedimentadores y 6 filtros. Además la planta de tratamiento tiene una infraestructura que permite realizar el proceso de producción sin utilizar prácticamente energía eléctrica, ya que solamente se usa ésta para dosificar los químicos.



Figura 31. Plano de ubicación de planta Lo de Coy Fuente EMPAGUA.

Fuente:<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1164421>.2016

#### Caja de Entrada:

Las líneas de conducción se inician en el altiplano e ingresan a la planta por medio del acueducto Xayá Pixcayá por la entrada en la cual se puede regular el caudal el caudal de agua cruda que se desea tratar y atrapar lo desechos sólidos grandes y el exceso se hace rebalsar hacia el desfogue de agua cruda.

#### Canal Entrada:

El canal de entrada tiene la función de medir el caudal de agua que ingresa a la planta para su tratamiento, el cual, lo que se efectúa por medio de un medidor de caudal tipo Parshall y se efectúa la precoloración; los caudales que ingresan fluctúan entre 800 a 1,840 litros por segundo y turbiedades de 15 a 5,000 unidades.

#### Canal De Mezcla Rápida:

Lugar donde se aplican los químicos a través del cuarto de máquinas, en el cual puede hacer cuatro tipos de dosificaciones de Sulfato de Aluminio, Polielectrolito, Cal Hidratada y Sulfato de Cobre.

#### Canal De Mezcla Lenta:

Lugar donde se efectúa la floculación a través del canal formando por pantallas que desvía el agua en forma serpenteada, con el fin de reducir la velocidad del caudal.

En este canal por la acción del sulfato de aluminio se van uniendo partículas pequeñas de lodo y el sulfato de aluminio formando otras de mayor tamaño, para que en el siguiente proceso por su propio peso se depositen en el fondo de los tanques sedimentadores.

#### Sedimentadores:

A continuación de los floculadores, existe un canal que distribuye el agua hacia cuatro tanques sedimentadores de tipo convencional y que se alimentan por medio de paredes con perforaciones (tanques agujerados) con el fin de reducir velocidad y que ingrese el agua en forma compensada al tanque. En la salida de cada uno de los sedimentadores, existen canales en la superficie que recolecta el flujo ascendente de agua ya sedimentada a través de los orificios que

tiene cada una. Existe una tubería que interconecta los tanques sedimentadores y los filtros.

#### Filtros:

Los filtros que operan en la planta tienen la función principal de remover toda aquella materia en su suspensión que no fue sedimentada en el proceso anterior. Los filtros actuales son denominados filtros rápidos a presión, cuyo lecho es compuesto de grava, pedrín y arena Antracita.

#### Tanque De Almacenamiento:

El agua filtrada es conducida por un caudal totalmente cerrado al tanque de almacenamiento, en este canal se efectuará la cloración final, la que posteriormente es conducida a otros tanques de distribución, ubicadas en los diferentes puntos de la ciudad. Existe un tanque de 25,000 m<sup>3</sup>; la turbiedad del agua aquí fluctúa 1.0 a 2.5 de turbiedad como máxima.

#### Tratamiento de Agua Potable:

El agua cruda contiene diversas sales, así como materiales orgánicos microscópicos, tales como: grava, arena gruesa, arena fina, arcilla, bacterias, partículas coloidales, etc. Por consiguiente es necesario llevar a cabo algunos procesos de tratamientos para purificar el agua y ponerla en óptimas condiciones para el consumo humano.

#### Químicos que se utilizan:

En el proceso de tratamiento se utilizan diversos tipos de materiales químicos para la purificación de agua; a continuación se explica detalladamente la composición de los mismos, así como su función en el proceso, los materiales químicos son los siguientes.

Sulfato de aluminio: Está destinado para tratar la turbiedad del agua.

Polielectrolito: Tiene una misma función que el sulfato de aluminio, es usada para altas turbiedades su costo es más bajo en relación al sulfato de aluminio. Sin embargo no puede usarse como coagulante primario.

Sulfato de cobre: Es el material químico que permite eliminar las algas.

Cal hidratada: Es aplicada para obtener un PH óptimo de coagulación y floculación, corregir la acidez del agua para que pueda utilizarse en el consumo humano.

Cloro gaseoso: Es el elemento que elimina la contaminación bacteriológica.

Hipoclorito: Es el cloro granular, y tiene la misma función del cloro.

Silicio fluoruro de sodio: Es aplicado para prevenir las caries.

Proceso de tratamiento:

Proceso de tratamiento:

- Precloración: es un proceso que consiste en la aplicación de cloro al agua antes de cualquier otro tratamiento. Los beneficios que se obtienen por este procedimiento son los siguientes:
- Mejoría en el proceso de la coagulación.
- Reducción de materia en suspensión causante de sabor y olor por oxidación, retardando su descomposición en los sedimentadotes.

- Mezcla Rápida Coagulación: la coagulación significa unir, es el resultado de la desestabilización de cargas eléctricas de los coloides por la adición de los productos químicos. Los coloides poseen cargas eléctricas que mantienen las mismas en repulsión, reduciendo o neutralizando estas cargas eléctricas que pueden unir y entrar en contacto.
- Después de ese fenómeno ocurre la floculación, en la cual se forman partículas sedimentales a partir de la unión de partículas sedimentadas.
- Las partículas coloidales, después de ser desestabilizadas permiten ser reunidas para formar partículas más densas y mayores. La agitación en esta fase, debe ser controlada de tal forma que permita un contacto físico entre las partículas, para provocar un agrupamiento y también para no romper o disgregar aquellos flóculos ya formados en una agitación muy lenta con poca energía, los flóculos formados tenderán a sedimentar en las cámaras de floculación y no en el tanque sedimentador.
- Sedimentación: el agua después de la etapa de floculación entra a los sedimentadores, las cuales tienen la función de Sedimentar las partículas en suspensión en el agua que fueron aglomeradas en la fase anterior.
- Filtración: la filtración es una de las etapas más importantes en el tratamiento del agua, porque en esta etapa es retenido el material en suspensión que no fue removido en la etapa de sedimentación. Si esa agua que llega al filtro posee mucha turbidez, la superficie de la capa filtrante se tapa rápidamente y la producción de agua filtrada se reduce, por lo mismo es esencial un buen pretratamiento para que el filtro alcance un buen funcionamiento y que el agua se de mejor calidad para que los lavados sean más espaciados.

- El lavado de los filtros es una de las operaciones de mayor importancia dentro de una planta de tratamiento. La realización de lavados mal efectuados, puede ocasionar la pérdida del lecho filtrante en un tiempo muy corto. O bien el deterioro del material filtrante.
- Desinfección: La floculación tiene como objeto proporcionar mayor calidad del agua a través de este elemento nutricional que ayuda al desarrollo de la dentadura, con alta resistencia a las carnes.

## **2.4 Las encuestas de evaluación del servicio**

Para la encuesta se hará uso de la boleta diseñada para recoger los datos específicos de molestias, satisfacciones y mejoras que el usuario del servicio de agua ha contratado.

### **2.4.1 El diseño**

Uno de los principales desafíos que se pretende superar en esta encuesta es el poder determinar la cantidad de agua que recibe el usuario, puesto que ha sido una constante duda que otras encuestas no han podido determinar y para solventar este tema, se han propuesto varias preguntas (3/10) que combinadas permiten tener una aproximación a esta duda.

Otra preocupación que se tiene, en cuanto a la disposición del usuario a tener un incremento de pago en el servicio prestado de agua, también se consideró dentro de la encuesta, pues el último ajuste tarifario fue en el año 2003. A pesar de que, por reglamentación legal el agua para consumo humano debe ser potable y segura, se pensó en incluir en la encuesta, una pregunta que

permitiera saber si se consume agua embotellada en Garrafón, con la finalidad de establecer, si se confía en la calidad del agua.

#### 2.4.2 La muestra representativa

En cuanto a la generación del número de boletas se hizo de acuerdo a la población de usuarios activos de cada zona, mediante la utilización de la siguiente ecuación que dice:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

$\sigma$  = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

e = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.

Con los resultados obtenidos de la encuesta se procesaron con ayuda del programa Excel, para establecer tendencias, rangos y principales problemas, para que puedan ser utilizados en los indicadores de la sostenibilidad hídrica.





## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS DE DATOS Y PRUEBAS ESTADÍSTICAS

El nivel de la investigación que se realizó, en cuanto a su carácter, fue correlacional y explicativo basado en los siguientes criterios:

- De índole estadístico pues busca explicar a través del análisis estadístico el desarrollo hídrico de una ciudad en vías de desarrollo.
- De índole longitudinal retrospectivo pues analizará una serie de datos del pasado (1977) al presente (2014)
- De índole prospectivo hasta el nivel de construir escenarios en el futuro cercano, al año 2030.

Según su objetivo, fue una investigación aplicada, dedicada específicamente a explicar cómo funciona la sostenibilidad hídrica en ciudad de Guatemala y la metodología que se utilizó fue mixta (con un contenido de un 80 % cuantitativo y 20 % cualitativo, pues se realizaron entrevistas a expertos y encuestas a los usuarios del servicio de agua potable).

El diseño de investigación fue no experimental, puesto que solo se evaluaron las variables, porque el tipo de información que se recolectó fue de carácter estadístico a fin de encontrar las correlaciones y buscar explicaciones a los fenómenos relacionados con el agua.

Por su ubicación en el espacio fue de campo (pues se propuso como caso de estudio la ciudad de Guatemala) y por su ubicación en el tiempo fue longitudinal, en cuanto a la determinación de las variables claves ambientales, económicas y sociales de 1977 a 2030; también fue transversal, en cuanto a la

evaluación de la sostenibilidad, se hizo cortes en el tiempo para su análisis (pasado y presente).

### **3.1 Determinación de la población o universo de la muestra**

Aquí se define a toda la actividad económica, evolución ambiental, hídrica y crecimiento demográfico de la ciudad de Guatemala desde su fundación en el valle de la Ermita en agosto de 1777 al 2014, del porque llegar hasta el año 2014, corresponde a que en muchas instituciones el proceso burocrático de la autorización de la información no es inmediato y por tal razón no se comprometen a la difusión de la misma.

### **3.2 Selección de la muestra**

El período de análisis, por ser una serie continua longitudinal, se realizó desde 1977 a 2014, y se evaluó la actividad económica (estilos de vida y hábitos de consumo), demanda y oferta de agua, crecimiento demográfico de la ciudad de Guatemala y los indicadores de desarrollo humano.

En cuanto al tema espacial se consideró toda la actividad, económica, social, ambiental y cultural de la evolución hídrica de la parte sur de la ciudad de Guatemala, o sea desde el inicio de la vertiente del Pacífico (Calzada Roosevelt, Boulevard Liberación) hasta colindar al sur con el municipio de Villa Nueva y San Miguel Petapa, al oeste colinda con el municipio de Mixco y al este con el municipio de San José Pínula, dicho espacio actualmente lo constituyen las zonas 11, 12, 13, 14 y 21, y que, para los propósitos de este estudio, de aquí en adelante será llamada cuenca hidrográfica sur de la ciudad.

Uno de los criterios de selección más importantes para la determinación de la muestra, es que según INE (2012) en esa cuenca de la ciudad se ubica la zona 12 lugar donde se encuentra el 60 % de la industria, la cual ejerce gran presión sobre el recurso agua. En cuanto a la población se refiere, según la Municipalidad de Guatemala (2012), los residentes de las zonas 11 y 12 de la capital ubicadas en esta cuenca habitan ahí desde hace más de 80 años y han presenciado los cambios en la evolución del abastecimiento del agua. Pues el pretender abarcar a toda la ciudad se sale de los límites económicos y del tiempo para su ejecución.

### **3.2.1 Representatividad de la muestra**

Para la selección de la muestra se utilizó el criterio de calidad de información pues se consideró que el monitoreo de muchas variables (estilos de vida, hábitos de consumo, demanda y oferta de agua y el crecimiento demográfico) ya se empezó a realizar con mayor confiabilidad desde el periodo de 1978 – 2014.

Por el tipo de estudio longitudinal de la serie de datos que se analizaron en la escala del tiempo, desde que fue fundada la ciudad de Guatemala, la escogencia del período a seleccionar es puramente por la calidad y disponibilidad de la información que existe en el periodo seleccionado.

### **3.3 Unidad de análisis**

- El recurso hídrico
- Cuencas hidrográficas de la sección sur la ciudad de Guatemala.
- Población de la ciudad de Guatemala
- Factores de Crecimiento económico (consumos y estilos de vida)

### **3.4 Instrumentos de medición**

Se obtuvo información de las diferentes organizaciones gubernamentales, así como las instituciones privadas, y organismos internacionales tales como:

Para los indicadores Económicos:

- Banco de Guatemala
- Ministerio de Economía
- Cámara de Industria
- Naciones Unidas

Para los indicadores ambientales:

- INSIVUMEH
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
- Universidad de San Carlos de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Universidad del Valle de Guatemala
- EMPAGUA (Empresa Municipal de Agua)
- DAHO pozos (empresa privada)

Para los indicadores Sociales:

- Instituto Nacional de Estadística
- Municipalidad de Guatemala
- Entrevistas a expertos, y
- Encuestas

#### **3.4.1 Validez de los instrumentos**

Los datos están referidos a instituciones acreditadas, y en el caso particular de las entrevistas se tuvo el sumo cuidado de escoger a directivos de instituciones acreditadas o a sus departamentos técnicos u oficinas de divulgación o a quienes ellos nombraron para tal fin.

Se desarrolló en la fase 2 de la metodología, dando inicio con la definición de un experto, posteriormente se procedió a seleccionar la muestra de expertos de acuerdo a la metodología DELPHI: el número de expertos ( $n$ ) se calcula así:

$$n = \frac{p(1-p)*K}{i^2} \quad (\text{Ec. 20})$$

$K$ : constante que depende del nivel de significación estadística ( $1 - \alpha$ ).

$p$ : proporción de error al hacer estimaciones del problema con  $n$  expertos.

$i$ : precisión del experimento. ( $i \leq 12$ ).

Tabla 13. *Significancia estadística.*

<b>1-<math>\alpha</math></b>	<b>K</b>
<b>99%</b>	6.6564
<b>95%</b>	3.8416
<b>90%</b>	2.6896

Fuente: Walpole (2009, p.75)

El criterio para seleccionar al grupo de expertos se basó en el grado de experiencia reconocida, la relevancia de sus trabajos, la posición que ocupan, lo destacado de sus opiniones, creatividad, disposición a participar, experiencia científica y profesional en el tema, capacidad de análisis, pensamiento lógico, espíritu de trabajo en equipo y que conocimiento del problema desde sus diferentes visiones: ambientalistas, periodistas, antropólogos, abogados, ingenieros y docentes universitarios, pertenecientes a diferentes áreas y de diversas ocupaciones. Como mínimo se incorporaron tres personas por especialidad.

A continuación, se procedió a diseñar el cuestionario (sección 2.1.3 del índice propuesto) con las preguntas claves que sirvieron de guía para dirigir las entrevistas con los expertos. El cuestionario utilizado se presenta en el Anexo 8.

El criterio que se utilizó para determinar el número de rondas de consulta a los expertos, fue hasta alcanzar el nivel de coincidencia > 50 %.

Posterior a la entrevista, y con la información recolectada se utilizó el método SMIC (Sistema de Matriz de Impactos Cruzados probabilizados) también llamado probabilidad de expertos, o de consulta a expertos o Abaco de Reigner, con el objetivo de reducir el margen de incertidumbre, estimar el comportamiento del grupo y la intensidad del problema.

### **3.5 Variables dependientes**

- IDH (Índice de desarrollo humano)
- IEV (Índice de Esperanza de Vida)
- Ingreso per cápita (Quetzales)
- Índice social de estrés hídrico (ISEH)
- Número de habitantes (Población)
- Pérdidas de agua por fugas

#### **3.5.1 El PIB**

El Producto Interno Bruto (PIB) mide el valor monetario de la producción de bienes y servicios finales de un país durante un año. También se define como el conjunto de todos los bienes y servicios finales producidos en un país durante un año. Este indicador se utiliza habitualmente como medida del grado de bienestar de la población de un país.

Hay varias formas de medir el PIB una de ellas es por el método del gasto:

$$PIB = C + I + G + X - M \quad \text{(Ecuacion 21)}$$

Donde:

C = Consumo,                      G = Gasto público,                      I = Inversión,  
X = Exportaciones,                      M = Importaciones

Existen diferentes formas de reportar el PIB tales como:

- PIB nominal, también llamado PIB a precios corrientes o del día.
- PIB a precios de 1950
- PIB per cápita (o PIB por habitante), se obtiene dividiendo el PIB entre el número de habitantes. El cual permite comparar el bienestar de los habitantes de distintos países, ya que representa el valor de los bienes y servicios producidos cada año en función del tamaño de la población.
- Porcentaje de variaciones del PIB, que suele expresarse como una variación del año anterior en porcentaje de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Variación del PIB} = \frac{PIB_{\text{actual}} - PIB_{\text{año anterior}}}{PIB_{\text{año anterior}}} \times 100 \text{ (Ecuación 22)}$$

Para esta investigación se utilizó el PIB a precios corrientes.

Tabla 14. Serie histórica del PIB expresado en varias formas.

Año	Poblacion	PIB a precios de 1950 en millones de Q	Tasa de variaciones a precio de 1950	PIB a precios Corrientes de cada año en millones de Q	PIB percapita en Q a precios de 1950	PIB percapita a precios corrientes de cada año en Q	Tipo cambio Q a \$	PIB percapita en \$ a precios de 1950	PIB percapita en \$ a la paridad del poder adquisitivo (PPA)
1977	6,551,000	2,721.06	7.80	6,911.60	415.4	1,055.0	1	415.4	1055.0
1978	6,724,000	2,857.11	5.00	7,257.18	424.9	1,079.3	1	424.9	1079.3
1979	6,903,000	2,991.40	4.70	7,598.26	433.3	1,100.7	1	433.3	1100.7
1980	6,916,831	3,106.88	3.86	7,879.40	449.2	1,139.2	1	449.2	1139.2
1981	7,277,000	3,127.60	0.67	8,607.70	429.8	1,182.9	1	429.8	1182.9
1982	7,473,000	3,016.60	-3.55	8,717.30	403.7	1,166.5	1	403.7	1166.5
1983	7,673,000	2,939.60	-2.55	9,049.90	383.1	1,179.4	1	383.1	1179.4
1984	7,876,000	2,953.50	0.47	9,470.30	375.0	1,202.4	1	375.0	1202.4
1985	7,963,356	2,936.10	-0.59	11,180.00	368.7	1,403.9	1	368.7	1403.9
1986	8,281,000	2,940.20	0.14	15,838.10	355.1	1,912.6	1.875	189.4	1020.0
1987	8,483,000	3,044.40	3.54	17,711.10	358.9	2,087.8	2.5	143.6	835.1
1988	8,688,000	3,162.90	3.89	20,544.90	364.1	2,364.7	2.62	139.0	902.6
1989	8,899,000	3,287.60	3.94	23,684.70	369.4	2,661.5	2.816	131.2	945.1
1990	9,197,345	3,389.56	3.10	34,316.90	368.5	3,731.2	4.486	82.2	831.7
1991	9,385,000	3,507.23	3.47	47,302.30	373.7	5,040.2	5.029	74.3	1002.2
1992	9,619,000	3,675.57	4.80	53,985.40	382.1	5,612.4	5.171	73.9	1085.4
1993	9,860,000	3,818.92	3.90	64,243.20	387.3	6,515.5	5.635	68.7	1156.3
1994	10,106,000	3,971.68	4.00	74,669.20	393.0	7,388.6	5.751	68.3	1284.8
1995	10,612,000	4,166.29	4.90	85,156.70	392.6	8,024.6	5.81	67.6	1381.2
1996	10,621,228	4,291.28	3.00	95,478.60	404.0	8,989.4	6.05	66.8	1485.9
1997	10,871,000	4,480.10	4.40	107,873.40	412.1	9,923.0	6.065	67.9	1636.1
1998	11,136,000	4,704.10	5.00	124,022.50	422.4	11,137.1	6.395	66.1	1741.5
1999	11,408,000	4,882.86	3.80	135,286.90	428.0	11,858.9	7.386	58.0	1605.6
2000	12,221,706	5,058.64	3.60	149,743.00	413.9	12,252.2	7.763	53.3	1578.3
2001	12,258,600	5,174.99	2.30	146,977.80	422.2	11,989.8	7.859	53.7	1525.6
2002	12,288,600	5,288.84	2.20	162,506.80	430.4	13,224.2	7.822	55.02	1690.6
2003	12,300,000	5,399.90	2.10	174,044.10	439.0	14,149.9	7.941	55.28	1781.9
2004	12,400,000	5,545.70	2.70	190,440.10	447.2	15,358.1	7.946	56.28	1932.8
2005	12,700,000	5,723.16	3.20	207,728.90	450.6	16,356.6	7.634	59.03	2142.6
2006	12,987,829	5,986.43	4.60	229,836.10	460.9	17,696.3	7.603	60.62	2327.5
2007	13,320,000	6,291.74	5.10	261,760.10	472.4	19,651.7	7.673	61.56	2561.1
2008	13,677,815	6,499.36	3.30	295,871.50	475.2	21,631.5	7.56	62.85	2861.3
2009	14,017,067	6,531.86	0.50	307,966.60	466.0	21,970.8	8.162	57.09	2691.8
2010	14,361,666	6,721.28	2.90	333,093.40	468.0	23,193.2	8.058	58.08	2878.3
2011	14,713,763	7,003.58	4.20	371,011.60	476.0	25,215.3	7.785	61.14	3239.0
2012	15,072,375	7,290.73	4.10	394,723.00	483.7	26,188.5	7.834	61.75	3342.9
2013	15,438,384	7,750.04	6.30	423,097.70	502.0	27,405.6	7.857	63.89	3488.0
2014	15,806,675	8,385.54	8.20	454,052.80	530.5	28,725.4	7.732	68.61	3715.1

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de Guatemala. 2016



### 3.5.2 IDH Índice de desarrollo humano

Es un indicador social de desarrollo para casi todos los países del mundo. Fue inspirado por las ideas del Premio Nobel Amartya Sen, desde 1990 Naciones Unidas publica anualmente el Human Development Report, considerando tres aspectos fundamentales asociados al grado de desarrollo de un país:

- La salud,
- La educación y
- El bienestar material.

Para cada uno de estos aspectos se construye un índice parcial y luego se combinan los tres índices resultantes mediante una media aritmética para producir el IDH. Como indicador de salud se utiliza la esperanza de vida al nacer; la educación se mide mediante una variable combinada: la tasa de alfabetización, por un lado, y la tasa de matriculación bruta (con pesos de 2/3 y 1/3, respectivamente). Finalmente, para el bienestar material se utiliza el PIB per cápita.

$$IDH = \frac{(I_{sa} + I_{ed} + I_{bm})}{3} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

$I_{sa}$ : *f(esperanza de vida al nacer)*

$I_{ed}$ :  $f\left(\frac{2}{3} \text{ tasa de alfabetización}, \frac{1}{3} \text{ tasa de matriculación bruta}\right)$

$I_{bm}$ : *PIB per cápita*

Debido a que en el país existen diferentes condiciones de desarrollo, tales como acceso a la salud, pues la mayoría de hospitales de atención completa se encuentra ubicados en la ciudad, así como las mejores escuelas públicas y privadas también están en la ciudad, lo mismo ocurre con los mejores empleos, es por ello que el IDH no es igual en la ciudad en el departamento de Guatemala ni a nivel país.

Tabla 15. Comparación del IDH en diferentes puntos del país.

Año	IDH a nivel país	IDH a nivel Depto. Guatemala	IDH a nivel Ciudad Guatemala
1977	0.414	0.419	0.614
1978	0.421	0.422	0.623
1979	0.425	0.436	0.632
1980	0.428	0.445	0.641
1981	0.432	0.449	0.654
1982	0.436	0.453	0.667
1983	0.440	0.458	0.680
1984	0.444	0.462	0.692
1985	0.445	0.467	0.705
1986	0.449	0.471	0.718
1987	0.453	0.475	0.731
1988	0.458	0.480	0.743
1989	0.462	0.480	0.756
1990	0.467	0.483	0.769
1991	0.471	0.488	0,8200
1992	0.475	0.492	0.826
1993	0.480	0.497	0,8590
1994	0.485	0.502	0,8610
1995	0.489	0.506	0,8590
1996	0.494	0.511	0,8600
1997	0.494	0.516	0,7920
1998	0.498	0.521	0,7700
1999	0.503	0.526	0,7650
2000	0.508	0.551	0,7700
2001	0.513	0.556	0,7750
2002	0.518	0.562	0.826
2003	0.523	0.567	0,8590
2004	0.528	0.572	0,8200
2005	0.533	0.576	0.795
2006	0.538	0.581	0.798
2007	0.543	0.608	0.799
2008	0.548	0.601	0.800
2009	0.553	0.614	0.799
2010	0.558	0.613	0.798
2011	0.574	0.620	0.798
2012	0.579	0.626	0.785
2013	0.585	0.628	0.783
2014	0.591	0.627	0.782

Fuente: Elaboración con datos de Encovi, Banguat, Bco. Mundial, FMI. 2016

Tabla 16. *Estudiantes matriculados por año en Guatemala.*

año	Matriculación a nivel Ciudad Guatemala			Matriculación a nivel Depto Guatemala			Matriculación a nivel Pais Guatemala		
	Total ciudad	Primaria adultos	Total 0 - 19	Total Depto.	Primaria adultos	Total 0 - 19	Total Pais	Primaria adultos	Total 0 - 19
1977	239,798	2537	237261	262,451	4,786	257,665	856982	13,728	843,254
1978	243,156	3160	239996	273,511	5,253	268,258	904,186	15,300	888,886
1979	246,515	2928	243587	284,571	5,873	278,698	947,747	23,196	924,551
1980	249,873	3873	246000	286,231	6,277	279,954	983,000	17,693	965,307
1981	252,298	3886	248413	287,018	6,221	280,797	1,056,418	20,018	1,036,400
1982	254,724	3898	250826	292,405	6,047	286,358	1,089,800	23,736	1,066,064
1983	257,149	3911	253238	298,793	6,139	292,654	1,143,200	22,111	1,121,089
1984	259,575	3923	255651	311,181	6,329	304,852	1,196,600	22,228	1,174,372
1985	262,000	3936	258064	332,568	6,401	326,167	1,250,000	21,477	1,228,523
1986	268,225	4083	264142	355,179	6,617	348,562	1,299,000	24,746	1,274,254
1987	274,450	4231	270219	377,789	6,789	371,000	1,348,000	22,389	1,325,611
1988	280,675	4378	276297	400,400	6,875	393,525	1,401,181	24,181	1,377,000
1989	286,900	4526	282374	423,010	7,009	416,001	1,446,000	22,631	1,423,369
1990	293,125	4673	288452	445,621	7,327	438,294	1,495,000	19,443	1,475,557
1991	297,182	4821	292362	466,926	7,826	459,100	1,544,000	19,680	1,524,320
1992	301,240	4969	296271	488,231	8,910	479,321	1,694,000	18,698	1,675,302
1993	305,297	5116	300181	509,535	9,410	500,125	1,764,000	15,696	1,748,304
1994	309,355	5264	304090	530,840	9,710	521,130	1,771,000	20,402	1,750,598
1995	313,412	5412	308000	552,145	9,931	542,214	1,883,000	20,240	1,862,760
1996	314,379	6,664	307,715	571,292	10,122	561,170	2,128,678	24,447	2,104,231
1997	318,427	6,685	311,742	578,383	10,231	568,152	2,175,056	22,915	2,152,141
1998	324,492	6,585	317,907	606,070	10,018	596,052	2,353,205	22,311	2,330,894
1999	321,610	5,958	315,652	617,650	8,657	608,993	2,587,040	19,899	2,567,141
2000	340,195	8,083	332,112	665,481	10,797	654,684	2,792,447	27,349	2,765,098
2001	355,058	8,085	346,973	699,734	10,726	689,008	2,934,807	27,770	2,907,037
2002	360,603	8,719	351,884	731,040	11,941	719,099	3,107,761	29,919	3,077,842
2003	365,794	9,073	356,721	753,419	12,359	741,060	3,250,341	32,169	3,218,172
2004	354,520	9,561	344,959	761,488	12,107	749,381	3,439,579	34,487	3,405,092
2005	369,130	8,821	360,309	795,777	11,480	784,297	3,565,429	29,478	3,535,951
2006	375,979	9,346	366,633	824,482	12,208	812,274	3,697,570	32,241	3,665,329
2007	394,494	12,261	382,233	855,758	15,214	840,544	3,804,737	35,066	3,769,671
2008	384,088	8,984	375,104	861,523	11,883	849,640	3,912,992	31,701	3,881,291
2009	382,327	8,614	373,713	890,837	12,061	878,776	4,260,177	32,918	4,227,259
2010	418,998	14,382	404,616	938,061	17,881	920,180	4,342,355	28,786	4,313,569
2011	386,041	6,614	379,427	916,250	10,223	906,027	4,346,594	19,805	4,326,789
2012	380,069	6,405	373,664	913,180	9,872	903,308	4,254,283	18,948	4,235,335
2013	396,680	10,482	386,198	929,756	13,794	915,962	4,202,010	22,697	4,179,313
2014	384,286	8,668	375,618	918,128	11,782	906,346	4,151,028	18,625	4,132,403

Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de educación. 2016

### 3.5.3 IESH (Índice Estrés Social Hídrico)

Fue desarrollado en 1996 por el Dr. Leif Ohlsson, del departamento de ciencias sociales de la universidad de Goteborg, Suecia, el cual tiene la característica de medir el estrés hídrico que una sociedad está afrontando, para ello se valió de un indicador que mide el grado de adaptación que la sociedad busca para aliviar su condición de escasas de agua.

El indicador que va de cero a 1, mide cuando este, está cercado a 1 un alto estrés y mientras es más pequeño o cercano a 0, indica que la sociedad se adapta más fácilmente. La ecuación que utilizo para describir esta relación fue:

$$\mu_5 = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{d_{5,i}}{h_i}\right) \quad (\text{Ecuación 24})$$

$\mu_5$  = Índice social de estrés hídrico, adimensional

$d_{5,i}$  = Índice de estrés hídrico, adimensional y para el caso particular de estudio

$d_{5,ZE}$  = Índice de estrés hídrico, en la zona de estudio, también llamado F (CA1) que anteriormente fue definido como la razón entre el Suministro de agua (A) y la Demanda de agua D ( $A_{ZE} / D_{ZE}$ ).

$h_i$  = IDH Índice de desarrollo humano, Adimensional

$$h_i = \frac{1}{3}(a_i) + \frac{1}{3}(b_i) + \frac{1}{3}(c_i) \quad (\text{Ecuación 23})$$

$a_i$  = Índice de esperanza de vida (IEV), adimensional

$b_i$  = Índice de educación (IE),

$c_i$  = Índice de producto interno bruto (PIB), Adimensional

Los detalles de cálculos se realizan cuando se calcule el criterio de sostenibilidad 8 o también el llamado componente social 2 para generar el modelo matemático de sostenibilidad hídrica.

### 3.6 Variables independientes

Las variables independientes consideradas en el estudio se presentan a continuación:

Tabla 17. *Variables independientes.*

<b>Ambientales</b>	<b>Económicas</b>	<b>Sociales</b>
Precipitación pluvial	Tarifas	Nivel de satisfacción
Temperatura (°C)	Inversiones	Habitantes
Caudales (m <sup>3</sup> /s)	Costos	Educación
% Contaminación	Oferta de agua	Concientización
Áreas protegidas	Pérdidas de agua	Horas de servicio
	PIB	% de inmigración
		Calidad del agua
		Total de estudiantes matriculados por año

### 3.7 Propuesta de modelos y pruebas estadísticas

Para las series ambientales, tales como, precipitación pluvial, temperatura, suministro, demanda y consumo de agua, se normalizaron por Pearson con dos desviaciones estándar. Para la estimación de errores se referirán a los instrumentos de monitoreo tales como a los termómetros, pluviómetros, contadores de agua y equipos de laboratorio utilizados. Con la ayuda de programas específicos de estadística como SPSS y R se realizaron los análisis de multivarianza.

### 3.7.1 Regresión múltiple

Para poder describir cómo se comporta la demanda de agua a través del tiempo, en función de las variables propuestas tales como los habitantes del área de estudio, así como sus respectivos consumos diarios y la demanda de agua del sector privado, se hizo uso del análisis estadístico de datos con un modelo de regresión lineal múltiple.

Con la ayuda de Excel del programa Office de Microsoft se ajustaron los datos de la tabla de la demanda de agua para la zona 11, donde los datos que se introducen al programa son los indicados en la tabla 17. En la cual se indica quien es el valor de Y, y cuáles son las variables denominadas como X o explicatorias de la forma:

$$\begin{aligned} & \textit{Demanda de agua: } Y = F(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7) \\ Y &= AX_1 + BX_2 + CX_3 + DX_4 + EX_5 + FX_6 + GX_7 + H \quad (\text{Ecuación 25}) \end{aligned}$$

Este mismo proceso se repitió con las tablas de demanda de las otras zonas del área de estudio, así también como la de la ciudad y en forma global de toda la zona de estudio con fines de comparación.

Tabla 18. *Demanda de agua en la zona 11*

	Y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7
Año	Dz11	hab.d11	hab.e11	hab.a11	Rm.hab.d.z11	Rm.hab.e.z11	Rm.hab.a.z11	Dppz11
1977	466,550	31,110	11,489	14,372	160	17	12	306,188
1978	470,846	31,669	11,694	14,653	160	17	12	307,597
1979	469,370	31,884	11,934	14,941	160	17	12	304,864
1980	487,802	32,141	13,679	15,234	165	19	13	314,964
1981	489,095	32,410	10,611	15,532	165	19	13	316,562
1982	499,932	33,216	11,254	15,836	165	19	13	322,924
1983	524,898	33,430	10,967	16,147	170	20	14	341,040
1984	529,914	33,559	11,421	16,776	170	20	14	344,863
1985	535,267	33,989	12,492	17,520	170	20	14	347,069
1986	520,530	34,376	13,336	18,000	170	20	14	329,652
1987	543,502	34,634	14,045	18,816	175	22	15	343,938
1988	560,617	34,977	16,600	19,320	175	22	15	357,335
1989	575,019	35,063	16,791	20,808	175	22	15	370,491
1990	596,882	35,119	17,131	21,840	180	23	16	384,935
1991	611,556	35,149	18,419	23,220	180	23	16	397,896
1992	617,071	35,235	18,711	24,624	180	23	16	402,071
1993	636,673	35,300	19,796	25,320	180	23	16	420,242
1994	648,645	35,377	19,845	26,160	185	24	17	424,672
1995	669,129	35,751	20,216	26,880	185	24	17	442,448
1996	683,806	36,181	19,751	27,660	185	24	17	454,677
1997	726,254	36,524	19,931	28,200	185	24	17	494,811
1998	700,595	37,212	21,120	28,776	175	20	15	479,612
1999	719,232	37,813	21,950	29,232	175	20	15	494,387
2000	759,169	38,716	22,673	31,200	175	20	15	528,268
2001	890,545	39,188	23,622	32,244	170	18	13	665,353
2002	818,925	39,669	24,305	32,520	170	18	13	590,806
2003	894,072	40,108	24,198	32,808	170	18	13	663,657
2004	865,983	40,548	24,620	33,000	170	18	13	633,025
2005	940,950	40,987	24,790	33,840	165	17	12	713,239
2006	934,481	41,426	24,975	35,705	165	17	12	703,830
2007	935,865	41,866	26,120	35,820	165	17	12	702,414
2008	941,574	42,117	25,882	35,929	170	20	15	695,079
2009	933,474	42,310	26,021	36,595	170	20	15	685,610
2010	936,604	42,461	26,670	37,244	170	20	15	687,293
2011	947,112	42,572	27,977	37,875	170	20	15	696,163
2012	1,008,491	42,649	30,221	38,491	170	20	15	755,527
2013	1,093,383	42,693	30,732	39,091	175	21	15	832,294
2014	1,230,604	42,704	30,584	39,677	175	21	15	969,286

Fuente: elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, 2016

Y los resultados obtenidos del programa son:

Tabla 19. Resumen estadístico para el modelo demanda de la zona 11

Estadísticas de la regresión					
Coefficiente de correlación múltiple	0.999997268				
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.999994535				
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>0.99999445</b>				
Error típico	473.9006935				
Observaciones	456				

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	7	1.84107E+13	2.6301E+12	11711095.38	0
Residuos	448	100612676.5	224581.8673		
Total	455	1.84108E+13			

Variables	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-158884.313	2312.749949	-68.69930462	5.0737E-240	-163429.4991	-154339.1275
Variable X 1	4.260807675	0.039410422	108.1137279	0	4.183355423	4.338259927
Variable X 2	0.761424288	0.025606536	29.73554441	4.4372E-108	0.711100446	0.81174813
Variable X 3	0.355205795	0.031746665	11.18875936	8.52526E-26	0.292814921	0.417596669
Variable X 4	874.355117	13.74709284	63.6029106	2.0405E-226	847.3383222	901.3719118
Variable X 5	-240.0000884	72.19344064	-3.324402969	0.00095885	-381.8799315	-98.12024533
Variable X 6	2773.081239	81.81257595	33.89553754	9.9722E-126	2612.297166	2933.865312
Variable X 7	1.011770755	0.000578078	1750.231253	0	1.010634673	1.012906837

Fuente: Elaboración propia, mediante el uso de Excel 2013®. 2016

Y expresado en la forma de la ecuación planteada da:

$$Y = AX_1 + BX_2 + CX_3 + DX_4 + EX_5 + FX_6 + GX_7 + H \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$Y = 4.261X_1 + 0.761X_2 + 0.355X_3 + 874.355X_4 - 240X_5 + 2,773.081X_6 + 0.042X_7 - 158,884.313$$

Y definida en términos de las variables de estudio son:

$$Y = 4.261(\text{hab. d11}) + 0.761(\text{hab. e11}) + 0.355(\text{hab. a11})$$

$$+ 874.355(\text{Rm. hab. d. z11}) - 240(\text{Rm. hab. e. z11})$$

$$+ 2,773.081(\text{Rm. hab. a. z11}) + 0.042(\text{Dppz11}) - 158,884.313$$



El resto de ecuaciones se presenta en la sección 4.7 de resultados. Para el caso del suministro de agua se presenta a continuación para la misma zona 11.

Tabla 20. *Suministro de agua de la zona 11 como promedio mensual en m<sup>3</sup>*

Año	Y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7
	Az11	az11	p1z11	p2z11	w <sub>o</sub>	Aaz11	Xrp	Xrpv
1977	203,574	162,533	62,183	12,817	67.73	0.0286	16	1.00
1978	205,839	159,454	68,100	13,013	72.83	0.0300	16	1.05
1979	207,921	148,538	83,231	16,089	101.56	0.0315	19	1.35
1980	212,144	153,572	82,643	19,476	74.59	0.0330	19	1.90
1981	221,803	155,439	90,953	23,218	88.12	0.0346	20	1.90
1982	250,944	178,149	99,476	29,871	90.82	0.0363	21	2.20
1983	247,693	164,309	109,534	32,972	92.91	0.0380	23	2.23
1984	249,971	173,228	101,361	36,574	91.07	0.0399	23	2.50
1985	253,413	170,520	109,000	37,438	84.55	0.0418	24	2.53
1986	254,492	145,474	134,253	40,871	79.87	0.0438	24	2.80
1987	268,528	162,716	132,634	43,401	86.38	0.0460	25	2.80
1988	268,528	162,716	132,634	43,401	86.38	0.0460	25	2.80
1989	290,564	175,120	149,166	51,914	100.05	0.0505	27	3.10
1990	301,686	184,876	151,139	58,431	83.19	0.0530	28	3.10
1991	278,916	175,271	137,662	54,570	88.01	0.0555	29	3.20
1992	286,156	181,010	136,490	60,011	86.38	0.0582	30	3.20
1993	298,953	198,189	143,444	64,572	99.20	0.0610	33	3.50
1994	288,379	189,020	148,428	63,781	82.06	0.0640	34	3.50
1995	321,560	193,534	178,598	75,101	127.00	0.0671	35	3.80
1996	318,585	212,342	160,129	75,978	102.48	0.0703	36	3.80
1997	316,258	212,412	160,157	75,998	79.98	0.0737	36	3.90
1998	312,500	208,856	157,469	74,724	128.13	0.0773	37	3.90
1999	328,953	230,184	153,363	83,127	121.13	0.0811	38	4.00
2000	329,295	229,828	159,177	84,310	88.29	0.0850	38	4.23
2001	356,625	208,252	215,861	91,919	84.58	0.0891	38	4.44
2002	360,618	196,821	230,928	98,355	84.37	0.0934	39	4.90
2003	356,070	194,227	227,870	98,016	106.20	0.0979	40	5.08
2004	360,520	190,630	241,902	100,439	102.29	0.1027	41	5.20
2005	356,671	201,931	227,056	100,323	120.33	0.1077	42	5.58
2006	369,060	222,932	222,076	110,392	116.27	0.1129	43	6.00
2007	360,701	223,400	222,449	110,826	100.61	0.1183	45	6.50
2008	362,777	228,756	219,813	112,632	138.52	0.1241	46	6.93
2009	344,068	221,052	220,194	110,793	100.34	0.1301	48	7.63
2010	355,125	216,863	226,892	117,410	152.74	0.1364	49	8.03
2011	363,006	229,778	219,278	120,154	146.28	0.1430	48	8.42
2012	360,802	236,803	218,189	121,742	100.16	0.1499	48	8.60
2013	377,741	223,021	241,249	132,067	112.03	0.1572	48	9.00
2014	366,767	217,919	236,381	129,230	111.56	0.1648	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

Y los resultados obtenidos del programa son:

Tabla 21. Resumen estadístico para el modelo suministro de agua de la zona 11

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99590634
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.991829438
R <sup>2</sup> ajustado	0.991701773
Error típico	5065.593309
Observaciones	456

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	7	1.39548E+12	1.99354E+11	7768.99829	0
Residuos	448	11495785538	25660235.58		
Total	455	1.40698E+12			

Variable	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	115789.5774	6752.109462	17.1486523	4.8017E-51	102519.8368	129059.318
X 1 = az11	0.564461764	0.031773067	17.76541632	7.7552E-54	0.502019003	0.626904525
X 2 = p1z11	0.500662812	0.031313151	15.98889895	7.4701E-46	0.439123911	0.562201713
X 3 = p2z11	1.769724642	0.106807228	16.5693341	1.9295E-48	1.559819246	1.979630038
X 4 = Wo	81.62530853	2.274982965	35.87952515	8.029E-134	77.15434519	86.09627186
X 5 = Aaz11	-757023.394	53516.93258	-14.14549298	8.0973E-38	-862198.794	-651847.994
X 6 = Xrp	-2493.268085	150.5854293	-16.5571669	2.1874E-48	-2789.209613	-2197.326558
X 7 = Xrpv	1414.86405	795.8197092	1.77787008	0.07610342	-149.1391954	2978.867296

Fuente: Elaboración Propia, resultados del programa Excel, OFICE2013, 2016

Y expresado en la forma de la ecuación planteada, el suministro para la zona 11 (Az11) viene dado por:

$$Y = 0.5645(X1) + 0.5007(X2) + 1.7697(X3) + 81.6253(X4) - 757,023.394(X5) - 2,493.2681(X6) + 1,414.86416(X7) + 115,789.5774$$

Y utilizando los términos de las variables de estudio el modelo para el suministro de agua se expresa de la siguiente manera:

$$Az11 = 0.5645(a) + 0.5007(p1) + 1.7697(p2) + 81.6253(Wo) \\ - 757,023.394(Aa) - 2,493.2681(Xrp) + 1,414.86416(Xrpv) \\ + 115,789.5774$$

Las ecuaciones para el resto de zonas se presenta en la sección 4.7 de resultados.

### 3.7.1.1 Estadística inferencial

Aquí se presentan todos los datos del resultado de la varianza de cada zona de estudio así:

Tabla 22. *Estadística inferencial para la demanda de agua de todas las zonas*

Zona	ANÁLISIS DE VARIANZA	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
D	Regresión	7	2.81547E+15	4.0221E+14	137401.598	0
	Residuos	448	1.31141E+12	2927262827		
	Total	455	2.81679E+15			
Dze	Regresión	7	2.41851E+14	3.455E+13	2074218.5	0
	Residuos	448	7462310033	16656942		
	Total	455	2.41858E+14			
Dz11	Regresión	7	2.81547E+15	4.0221E+14	137401.598	0
	Residuos	448	1.31141E+12	2927262827		
	Total	455	2.81679E+15			
Dz12	Regresión	7	2.11456E+13	3.0208E+12	3667359.37	0
	Residuos	448	369017471.9	823699.714		
	Total	455	2.1146E+13			
Dz13	Regresión	7	6.86902E+12	9.8129E+11	2849560.55	0
	Residuos	448	154275498	344364.951		
	Total	455	6.86918E+12			
Dz14	Regresión	7	1.74805E+13	2.4972E+12	13199566.9	0
	Residuos	448	84756650	189188.951		
	Total	455	1.74806E+13			
Dz21	Regresión	7	2.66717E+12	3.8102E+11	2068416.5	0
	Residuos	449	96495570.3	214912.183		
	Total	456	2.66726E+12			

Fuente: Elaboración propia, programa de regresión múltiple de Excel®, 2016

Tabla 23. Estadística inferencial para el suministro de agua de todas las zonas

Zona	ANÁLISIS DE VARIANZA	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
A	Regresión	7	1.10161E+15	1.5737E+14	2114.98564	0
	Residuos	448	3.3335E+13	7.4408E+10		
	Total	455	1.13494E+15			
Aze	Regresión	7	7.52537E+13	1.0751E+13	1160.94232	1.4155E-282
	Residuos	448	4.14856E+12	9260175679		
	Total	455	7.94023E+13			
Az11	Regresión	7	1.39548E+12	1.9935E+11	7768.99829	0
	Residuos	448	11495785538	25660235.6		
	Total	455	1.40698E+12			
Az12	Regresión	7	1.07108E+13	1.5301E+12	647.07799	1.0361E-229
	Residuos	448	1.05936E+12	2364647526		
	Total	455	1.17701E+13			
Az13	Regresión	7	6.02815E+11	8.6116E+10	4177.23591	0
	Residuos	448	9235812493	20615652.9		
	Total	455	6.12051E+11			
Az14	Regresión	7	9.61492E+11	1.3736E+11	875.352295	9.0564E-257
	Residuos	448	70297963813	156915098		
	Total	455	1.03179E+12			
Az21	Regresión	7	7.30168E+12	1.0431E+12	1501.35574	2.0341E-306
	Residuos	448	3.11257E+11	694770535		
	Total	455	7.61294E+12			

Fuente: Elaboración propia, programa de regresión múltiple de Excel, 2016

### 3.7.1.2 Análisis de confiabilidad

Aquí se presentan todos los datos de la estadística de regresión y se resumen en el siguiente cuadro para todas las zonas de estudio así:

Tabla 24. *Análisis de confiabilidad de los modelos de demanda de agua.*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	<i>D</i>	<i>Dze</i>	<i>Dz11</i>	<i>Dz12</i>	<i>Dz13</i>	<i>Dz14</i>	<i>Dz21</i>
Coeficiente de correlación múltiple	0.999767187	0.999984573	0.999997268	0.999991274	0.99998877	0.999997576	0.999981911
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.999534429	0.999969146	0.999994535	0.999982549	0.999977541	0.999995151	0.999963822
R <sup>2</sup> ajustado	0.999527154	0.999968664	0.99999445	0.999982276	0.99997719	0.999995076	0.997736167
Error típico	54104.18493	4081.291712	473.9006935	907.5790401	586.8261675	434.9585623	463.5862199
Observaciones	456	456	456	456	456	456	456

Fuente: Elaboración propia, programa de regresión múltiple de Excel, 2016

Tabla 25. *Análisis de confiabilidad de los modelos de suministro de agua.*

<i>Estadísticas de</i>	<i>A</i>	<i>Aze</i>	<i>Az11</i>	<i>Az12</i>	<i>Az13</i>	<i>Az14</i>	<i>Az21</i>
Coeficiente de	0.985204819	0.973525881	0.99590634	0.953937004	0.992426349	0.965333076	0.979344028
Coeficiente de	0.970628535	0.947752642	0.991829438	0.909995808	0.984910059	0.931867947	0.959114725
R <sup>2</sup> ajustad	0.970169606	0.946936277	0.991701773	0.908589492	0.984674279	0.930803384	0.958475892
Error típico	272779.0081	96229.8066	5065.593309	48627.64158	4540.446331	12526.57566	26358.50024
Observaciones	456	456	456	456	456	456	456

Fuente: Elaboración propia, programa de regresión múltiple de Excel, 2016

### 3.7.1.3 Estimaciones de errores

Tabla 26. Errores típicos en la modelación de la demanda de agua

Sector	Nombre	Variable	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
D	Constante	Intercepción	-4089998.69	110163.371	-37.126666	8.4376E-139	-4306499.8	-3873497.56
	hab.d	X 1	2.090966098	0.19683384	10.6230013	1.16255E-23	1.70413381	2.477798383
	hab.e	X 2	-0.90222278	0.19319061	-4.6701171	3.98496E-06	-1.2818951	-0.522550425
	hab.a	X 3	0.952898211	0.07491876	12.719087	7.40983E-32	0.80566237	1.100134049
	Rmm.hab.d	X 4	28250.84665	149.395592	189.100938	0	27957.2435	28544.44982
	Rmm.hab.e	X 5	53767.33534	4892.83811	10.9889872	4.91579E-25	44151.5711	63383.09957
	Rmm.hab.a	X 6	69493.21642	7677.11384	9.05199765	4.32554E-18	54405.5894	84580.84345
	Dsp	X 7	1.010841359	0.00475957	212.380686	0	1.0014875	1.020195221
Dze	Constante	Intercepción	-1469423.75	30967.841	-47.44999	7.8347E-177	-1530284	-1408563.476
	hab.dze	X 1	6.401206239	0.05760518	111.122053	0	6.28799631	6.514416169
	hab.eze	X 2	0.733459036	0.02330751	31.4687852	1.5336E-115	0.68765341	0.779264664
	hab.aze	X 3	0.266683389	0.02494261	10.691881	6.4401E-24	0.21766435	0.31570243
	Rmm.hab.d.ze	X 4	6496.808324	206.194367	31.5081756	1.0421E-115	6091.58003	6902.036613
	Rmm.hab.e.ze	X 5	15936.12313	1965.21123	8.10911465	4.92628E-15	12073.9459	19798.30033
	Rmm.hab.a.ze	X 6	-13512.6741	2166.36454	-6.2374886	1.02992E-09	-17770.173	-9255.175673
	Dppze	X 7	1.003172731	0.00116944	857.82121	0	1.00087446	1.005471005
Dz11	Constante	Intercepción	-158884.313	2312.74995	-68.699305	5.0737E-240	-163429.5	-154339.1275
	hab.d11	X 1	4.260807675	0.03941042	108.113728	0	4.18335542	4.338259927
	hab.e11	X 2	0.761424288	0.02560654	29.7355444	4.4372E-108	0.71110045	0.81174813
	hab.a11	X 3	0.355205795	0.03174666	11.1887594	8.52526E-26	0.29281492	0.417596669
	Rm.hab.d.z11	X 4	874.355117	13.7470928	63.6029106	2.0405E-226	847.338322	901.3719118
	Rm.hab.e.z11	X 5	-240.000088	72.1934406	-3.324403	0.00095885	-381.87993	-98.12024533
	Rm.hab.a.z11	X 6	2773.081239	81.812576	33.8955375	9.9722E-126	2612.29717	2933.865312
	Dppz11	X 7	1.011770755	0.00057808	1750.23125	0	1.01063467	1.012906837
Dz12	Constante	Intercepción	-251528.377	3979.59997	-63.204437	2.5714E-225	-259349.38	-243707.3757
	hab.d12	X 1	4.97468116	0.08113179	61.3160568	5.0302E-220	4.81523503	5.134127293
	hab.e12	X 2	0.653643934	0.03223502	20.277445	2.43812E-65	0.5902933	0.716994568
	hab.a12	X 3	0.018288607	0.03549491	0.51524583	0.606635387	-0.0514686	0.088045816
	Rm.hab.d.z12	X 4	1373.574811	32.4210686	42.3667346	8.4589E-159	1309.85855	1437.291072
	Rm.hab.e.z12	X 5	1351.139972	82.0212986	16.4730381	5.2042E-48	1189.9457	1512.334242
	Rm.hab.a.z12	X 6	848.7718485	123.375201	6.87959848	2.02927E-11	606.305856	1091.237841
	Dppz12	X 7	1.002893275	0.00026375	3802.45951	0	1.00237494	1.003411613
Dz13	Constante	Intercepción	-272945.634	5391.27267	-50.62731	1.8277E-187	-283540.96	-262350.3098
	hab.d13	X 1	7.969150683	0.07086189	112.460316	0	7.8298877	8.108413668
	hab.e13	X 2	0.636893819	0.011193	56.9011033	3.8809E-207	0.61489652	0.658891115
	hab.a13	X 3	0.498315808	0.01207579	41.2656948	1.0181E-154	0.47458358	0.522048033
	Rm.hab.d.z13	X 4	971.0293322	23.6250474	41.1016881	4.179E-154	924.599657	1017.459008
	Rm.hab.e.z13	X 5	-1207.44302	127.905105	-9.4401472	2.05279E-19	-1458.8115	-956.0745271
	Rm.hab.a.z13	X 6	2710.205709	159.034123	17.0416617	1.458E-50	2397.66019	3022.751227
	Dppz13	X 7	1.030303776	0.00198093	520.112181	0	1.02641071	1.034196837
Dz14	Constante	Intercepción	-214389.868	4892.93355	-43.816223	4.4859E-164	-224005.82	-204773.9164
	hab.d14	X 1	8.013519631	0.09955501	80.493383	1.5562E-268	7.81786682	8.209172438
	hab.e14	X 2	0.827961744	0.00655395	126.330161	0	0.81508144	0.84084205
	hab.a14	X 3	0.746900562	0.00864554	86.3913892	1.842E-281	0.7299097	0.763891419
	Rm.hab.d.z14	X 4	525.7844188	20.1043775	26.152733	3.25442E-92	486.273822	565.2950157
	Rm.hab.e.z14	X 5	3520.642842	138.678914	25.387009	9.32912E-89	3248.10087	3793.184812
	Rm.hab.a.z14	X 6	-1281.07438	86.8790406	-14.745494	2.13003E-40	-1451.8154	-1110.333316
	Dppz14	X 7	0.999072654	0.00089536	1115.83348	0	0.99731303	1.000832281
Dz21	Constante	Intercepción	-277065.654	1799.51634	-153.96673	0	-280602.17	-273529.1337
	hab.d21	X 1	4.098898542	0.01976289	207.403807	0	4.0600593	4.137737788
	hab.e21	X 2	3.192930304	0.57578986	5.54530482	5.01694E-08	2.06135267	4.324507936
	hab.a21	X 3	-0.09562589	0.17141761	-0.5578533	0.577222562	-0.4325063	0.241254537
	Rm.hab.d.z21	X 4	2153.057191	15.6693095	137.406003	0	2122.2629	2183.851481
	Rm.hab.e.z21	X 5	-1276.84059	50.0076838	-25.532888	1.7502E-89	-1375.1188	-1178.562418
	Rm.hab.a.z21	X 6	0.0001	0.0001	65535	0	0	0
	Dppz21	X 7	1.014570716	0.00412968	245.677879	0	1.00645482	1.022686615

Fuente: Elaboración propia, programa de regresión múltiple de Excel, 2016

Tabla 27. Errores típicos en la modelación del suministro de agua

Sector	Nombre	Variable	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
A	Constante	Intercepción	2359662.207	363596.84	6.48977644	2.28215E-10	1645095.04	3074229.378
	a	X 1	0.64580141	0.07098099	9.0982306	3.02205E-18	0.50630436	0.785298455
	p1	X 2	0.451355717	0.06995354	6.45222142	2.86459E-10	0.31387789	0.58883354
	p2	X 3	1.892063063	0.25856871	7.31744794	1.17753E-12	1.38390488	2.400221249
	wo	X 4	5066.54473	122.506399	41.3573883	4.6295E-155	4825.78617	5307.303288
	Aa	X 5	-241782.685	46913.8877	-5.153755	3.83633E-07	-333981.3	-149584.0728
	Xrp	X 6	-66690.5254	8108.93049	-8.2243306	2.14619E-15	-82626.79	-50754.26059
Xrpv	X 7	61467.5793	42854.3899	1.43433565	0.152174139	-22753.01	145688.1687	
Aze	Constante	Intercepción	313538.3984	128265.572	2.44444705	0.014891919	61461.4914	565615.3055
	aze	X 1	0.770066908	0.13624756	5.65196836	2.82666E-08	0.50230321	1.037830607
	p1ze	X 2	0.374024432	0.13427547	2.78550078	0.005571186	0.11013643	0.637912434
	p2ze	X 3	1.808727035	0.40759368	4.4375738	1.14662E-05	1.00769405	2.609760022
	wo	X 4	1814.728443	43.2172848	41.9908019	2.0576E-157	1729.79467	1899.66222
	Aaze	X 5	-84603.0216	46335.4751	-1.8258801	0.068533811	-175664.89	6458.851635
	Xrp	X 6	-13961.6468	2860.64256	-4.8805982	1.4731E-06	-19583.591	-8339.702271
Xrpv	X 7	17826.80158	15119.2505	1.17907971	0.238992242	-11886.658	47540.26136	
Az11	Constante	Intercepción	115789.5774	6752.10946	17.1486523	4.8017E-51	102519.837	129059.318
	az11	X 1	0.564461764	0.03177307	17.7654163	7.7552E-54	0.502019	0.626904525
	p1z11	X 2	0.500662812	0.03131315	15.988899	7.47006E-46	0.43912391	0.562201713
	p2z11	X 3	1.769724642	0.10680723	16.5693341	1.92954E-48	1.55981925	1.979630038
	Wo	X 4	81.62530853	2.27498297	35.8795252	8.0294E-134	77.1543452	86.09627186
	Aaz11	X 5	-757023.394	53516.9326	-14.145493	8.09734E-38	-862198.79	-651847.994
	Xrp	X 6	-2493.26809	150.585429	-16.557167	2.18742E-48	-2789.2096	-2197.326558
Xrpv	X 7	1414.86405	795.819709	1.77787008	0.076103421	-149.1392	2978.867296	
Az12	Constante	Intercepción	354.2604047	64814.9541	0.00546572	0.995641441	-127024.84	127733.3608
	az12	X 1	1.091143786	0.30543359	3.57244205	0.000392002	0.49088331	1.691404264
	p1z12	X 2	0.177666648	0.30101286	0.59022944	0.555334431	-0.4139059	0.769239183
	p2z12	X 3	2.031267665	0.94269281	2.15475035	0.0317137	0.17861863	3.883916703
	wo	X 4	918.0757609	21.8389174	42.0385197	1.371E-157	875.156319	960.9952028
	Aaz12	X 5	10976.05005	46350.2675	0.23680662	0.812915058	-80114.894	102066.9943
	Xrp	X 6	-4197.58534	1445.56799	-2.903762	0.003869282	-7038.5215	-1356.649128
Xrpv	X 7	8273.402714	7640.8098	1.08279134	0.279483485	-6742.877	23289.68238	
Az13	Constante	Intercepción	57885.47762	6052.12238	9.56449225	7.59739E-20	45991.4029	69779.55229
	az13	X 1	0.607177825	0.05242222	11.5824526	2.56763E-27	0.50415384	0.710201807
	p1z13	X 2	0.473329141	0.0516634	9.16178794	1.84223E-18	0.37179643	0.574861848
	p2z13	X 3	1.67387741	0.14832098	11.2855065	3.62675E-26	1.38238614	1.96536868
	wo	X 4	82.26774752	2.03913686	40.3443972	2.9606E-151	78.2602862	86.2752088
	Aaz13	X 5	-378107.424	47968.8647	-7.8823509	2.46619E-14	-472379.35	-283835.494
	Xrp	X 6	-1419.51662	134.974329	-10.516938	2.87423E-23	-1684.7781	-1154.255174
Xrpv	X 7	990.4746979	713.317564	1.38854663	0.16566063	-411.38928	2392.338678	
Az14	Constante	Intercepción	19975.63314	16697.1182	1.19635215	0.232191925	-12838.768	52790.03406
	az14	X 1	0.872399094	0.19011111	4.58889057	5.79384E-06	0.49877879	1.246019393
	p1z14	X 2	0.311324423	0.18735925	1.66164426	0.097283672	-0.0568877	0.679536561
	p2z14	X 3	1.863546219	0.56462339	3.30051191	0.001042193	0.75390693	2.973185504
	wo	X 4	236.6487607	5.62574698	42.0653047	1.0917E-157	225.59263	247.7048912
	Aaz14	X 5	-35839.3674	46319.2271	-0.7737471	0.439488459	-126869.31	55190.57394
	Xrp	X 6	-1439.95002	372.378843	-3.8668954	0.000126556	-2171.7762	-708.1238103
Xrpv	X 7	2216.908832	1967.96213	1.12649974	0.260557095	-1650.6746	6084.49231	
Az21	Constante	Intercepción	119574.0238	35134.1823	3.40335297	0.000725451	50525.7525	188622.295
	az21	X 1	0.723378723	0.11209593	6.45321137	2.84751E-10	0.50307958	0.943677862
	p1z21	X 2	0.402089643	0.11047334	3.6396985	0.000304779	0.18497934	0.619199948
	p2z21	X 3	1.729212847	0.31274893	5.52907684	5.47748E-08	1.11457572	2.34384997
	wo	X 4	496.1111893	11.8377326	41.9093087	4.1191E-157	472.846809	519.3755694
	Aaz21	X 5	-123387.49	46412.0059	-2.6585253	0.008129269	-214599.77	-32175.21309
	Xrp	X 6	-4410.35278	783.561931	-5.628595	3.20859E-08	-5950.2661	-2870.439416
Xrpv	X 7	4926.927719	4140.99844	1.18979222	0.234758218	-3211.2661	13065.12149	

Fuente: Elaboración propia, programa de regresión múltiple de Excel, 2016

Tabla 28. Errores típicos en la modelación de la sostenibilidad económica F (CA1) son:

	DF	SS	MS	F-Statistic	P-Value
x1	1	2.3162	2.3162	6073.96	$1.32676 \times 10^{-17}$
x2	1	0.015206	0.015206	39.8759	0.0000386185
x3	1	0.0493429	0.0493429	129.396	$8.7539 \times 10^{-8}$
x4	1	0.000539603	0.000539603	1.41504	0.257225
x5	1	0.00314678	0.00314678	8.25205	0.0140209
x6	1	-0.000930519	-0.000930519	-2.44017	$1. - 2.16356 \bar{i}$
x7	1	0.00660424	0.00660424	17.3188	0.00131905
x8	1	0.00960317	0.00960317	25.1832	0.000299993
x9	1	0.142311	0.142311	373.193	$2.0903 \times 10^{-10}$
x10	1	-0.0326422	-0.0326422	-85.6002	$3.96983 \times 10^{-6}$
x11	1	-0.0742434	-0.0742434	-194.694	$1.76264 \times 10^{-8}$
x12	1	0.158661	0.158661	416.071	$1.10813 \times 10^{-10}$
x13	1	-0.165116	-0.165116	-432.996	$1.19533 \times 10^{-10}$
x14	1	0.00267927	0.00267927	7.02607	0.0211527
x15	1	-0.0958048	-0.0958048	-251.237	$3.51803 \times 10^{-9}$
x16	1	0.160353	0.160353	420.507	$1.04152 \times 10^{-10}$
x17	1	-2.3241	-2.3241	-6094.67	$1.32883 \times 10^{-17}$
x18	1	1.94222	1.94222	5093.24	$3.80837 \times 10^{-17}$
x19	1	0.15305	0.15305	401.356	$1.36751 \times 10^{-10}$
x20	1	0.0509589	0.0509589	133.634	$7.32409 \times 10^{-8}$
x21	1	0.100603	0.100603	263.818	$1.55926 \times 10^{-9}$
x22	1	0.172948	0.172948	453.534	$6.69179 \times 10^{-11}$
x23	1	-0.377959	-0.377959	-991.153	$7.60376 \times 10^{-13}$
x24	1	0.139232	0.139232	365.119	$2.3743 \times 10^{-10}$
x25	1	0.251334	0.251334	659.094	$7.43113 \times 10^{-12}$
Error	12	0.004576	0.000381333		
Total	37	2.60878			

Fuente: Elaboración propia con ayuda del Programa Matemática®.2016

La asimetría también llamada oblicuidad

$$\text{Skewness} = 4.060898256182803$$

$$R^2 = 0.9945915982230411$$



Tabla 29. Errores típicos (continuación) en la modelación de la sostenibilidad económica F (CA1) son:

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
1	$-2.75583 \times 10^{12}$	$5.86371 \times 10^{12}$	-0.469981	0.646795
x1	$2.03213 \times 10^{-6}$	$1.11099 \times 10^{-6}$	1.82912	0.0923257
x2	$2.35472 \times 10^{10}$	$5.87918 \times 10^{10}$	0.400519	0.695813
x3	$2.35472 \times 10^{10}$	$5.87918 \times 10^{10}$	0.400519	0.695813
x4	$2.35472 \times 10^{10}$	$5.87918 \times 10^{10}$	0.400519	0.695813
x5	$2.35472 \times 10^{10}$	$5.87918 \times 10^{10}$	0.400519	0.695813
x6	$2.35472 \times 10^{10}$	$5.87918 \times 10^{10}$	0.400519	0.695813
x7	$1.66808 \times 10^{11}$	$1.60632 \times 10^{12}$	0.103845	0.919008
x8	$-1.13593 \times 10^{11}$	$1.09388 \times 10^{12}$	-0.103845	0.919008
x9	$3.93098 \times 10^{10}$	$3.78544 \times 10^{11}$	0.103845	0.919008
x10	$2.54437 \times 10^{10}$	$2.45017 \times 10^{11}$	0.103845	0.919008
x11	$-3.53624 \times 10^{10}$	$3.40531 \times 10^{11}$	-0.103845	0.919008
x12	$6.75624 \times 10^{11}$	$8.34366 \times 10^{11}$	0.809746	0.43385
x13	$-2.71105 \times 10^{11}$	$2.74672 \times 10^{11}$	-0.987013	0.34312
x14	$-5.64589 \times 10^{10}$	$1.579 \times 10^{11}$	-0.357562	0.726881
x15	$6.3966 \times 10^{10}$	$9.32376 \times 10^{10}$	0.686054	0.505718
x16	$-3.78207 \times 10^9$	$3.49436 \times 10^{10}$	-0.108234	0.915599
x17	$5.67967 \times 10^8$	$5.46939 \times 10^9$	0.103845	0.919008
x18	$-1.10887 \times 10^9$	$1.06782 \times 10^{10}$	-0.103845	0.919008
x19	0.000886148	0.00174185	0.508739	0.620159
x20	-0.00174253	0.00172747	-1.00872	0.333018
x21	-0.00328242	0.00366848	-0.894764	0.388508
x22	0.0213766	0.0974445	0.219372	0.830047
x23	0.0138698	0.221877	0.0625114	0.951185
x24	$6.07694 \times 10^{-8}$	$9.21833 \times 10^{-8}$	0.659223	0.522202
x25	$-1.93809 \times 10^{-8}$	$7.12936 \times 10^{-8}$	-0.271846	0.790361

Fuente: Elaboración propia con ayuda del Programa Matemática□.2016

### **3.7.2 El software Eureka**

El programa Eureka ® es capaz de ajustar los datos, y presentar las diferentes relaciones matemáticas, con diferentes grados de complejidad y diferentes ajustes con sus respectivos coeficientes de determinación, en resumen, lo que se obtiene son diseños explicativos que en esencia son experimentales, porque buscan qué tipo de variables presenta un mejor ajuste de correlación, este programa funciona a través de redes neurales artificiales y conocido por sus siglas en inglés (ANN).

Una típica ANN consiste en un número de nodos que se organizan de acuerdo a un arreglo particular. Por último, una característica atractiva de las ANN es su capacidad para extraer la relación entre las entradas y salidas de un proceso, sin que se suministre claramente la física de éstos, pues ellos son capaces de proporcionar una asignación de un multivariante espacio a otro, dado un conjunto de datos que representan un mapeo.

El programa cuenta con la respectiva licencia y se hacen los respectivos reconocimientos por parte de Schmidt M., Lipson, H. (2009) “Distilling Free-Form Natural Laws from Experimental Data,” *Science*, Vol. 324, no. 5923, pp. 81 – 85. Schmidt, M., Lipson, H. (2013) Eureka (Version 0.98 beta) [Software]. Available from <http://www.eureqa.com/>

### **3.7.3 Diseño del modelo propuesto**

Debido a que uno de los desafíos propuestos en esta investigación es modelar la sostenibilidad hídrica en una cuenca urbana, lo primero que se pensó es generar una red conceptual multinivel, en la cual se fija el objetivo general de la red (la sostenibilidad hídrica) y a continuación se genera el primer nivel de

evaluación que consiste en las tres componentes básicas de la sostenibilidad (componente ambiental (CA), componente económica (CE) y componente social (CS)).

A continuación se procede a generar el segundo nivel, con cada uno de los criterios de sostenibilidad que se consideran que pueden ser suficientes para conocer el estado de cada componente, de tal manera que se propusieron tres criterios para la componente ambiental (el primero evalúa el nivel de estrés hídrico, el segundo determina el incremento de la demanda de agua por aumento de la temperatura media a causa del calentamiento global y el tercero busca como la contaminación de los cuerpos de agua afectan el suministro de agua).

Para la componente económica también se consideraron tres criterios (el primero evalúa la solvencia económica de operación de la red de distribución pública llámese EMPAGUAM, con las tarifas autorizadas, el segundo evalúa la red de distribución privada, o sea todas aquellas colonias que EMPAGUA no puede abastecer, y el tercero evalúa la operación del sector privado, pero con fines de producción llámese el agua embotellada).

Para la componente social se consideraron (el primero fue una encuesta que busco estimar el volumen de agua recibido, y el segundo criterio evaluó la capacidad que tienen los habitantes que viven en el área de estudio de adaptarse al estrés hídrico).

El tercer nivel se forma con las variables que buscan explicar el criterio, y por último se comienza a recabar la información, para finalmente generar un balance hídrico de la cuenca.

### 3.7.3.1 La red conceptual múltiple

La red conceptual multinivel puede definirse como un aparato conceptual (constructo) para hacer viable el análisis, la modelización y el cálculo de una medida de la sostenibilidad en espacios socio-ambientales. Con este constructo se postula un diseño que se considera como un sistema del conjunto de disciplinas relacionadas con la situación observada en el sistema socio-ambiental considerado, o sea un conjunto de conceptos derivados de las disciplinas, las hipótesis necesarias o los criterios de sostenibilidad necesarios definidos, para determinar la sostenibilidad y los observables que permiten la modelización y la cuantificación de la sostenibilidad. Paulina. (2011)

En este sentido la RCM es un modelo teórico que proporciona una manera de concebir la modelización y la medición cuantitativa de la sostenibilidad a partir de las disciplinas relacionadas con el sistema observado. En la figura xx se observa la estructura de una RCM como propuesta para la medición de la sostenibilidad hídrica. Está conformada por la idea central de sostenibilidad hídrica y la jerarquía componente o disciplina-concepto o criterio - observable. De cada una de las disciplinas o componentes relacionadas se derivan conceptos o también llamados criterios de sostenibilidad y de ellos se „desprenden“ los observables (graficados como pequeños círculos) para la determinación de la cuantificación de la sostenibilidad la sostenibilidad hídrica.

A continuación, con la ayuda de la figura 19 de la pág. 125 de esta esta investigación que define los principales componentes a considerar en un sistema de sostenibilidad hídrica de una cuenca urbana y los observables de la red multinivel propuesta se genera el siguiente diagrama que explica de forma visual, la relación de variables.

### 3.7.3.2 Los criterios de sostenibilidad



Figura 32. Propuesta de Red Conceptual Multinivel (RCM) para modelar la sostenibilidad hídrica. Fuente adaptado de Paulini (2013, p. 21)

### 3.7.3.3 Funcionamiento de la cuenca urbana

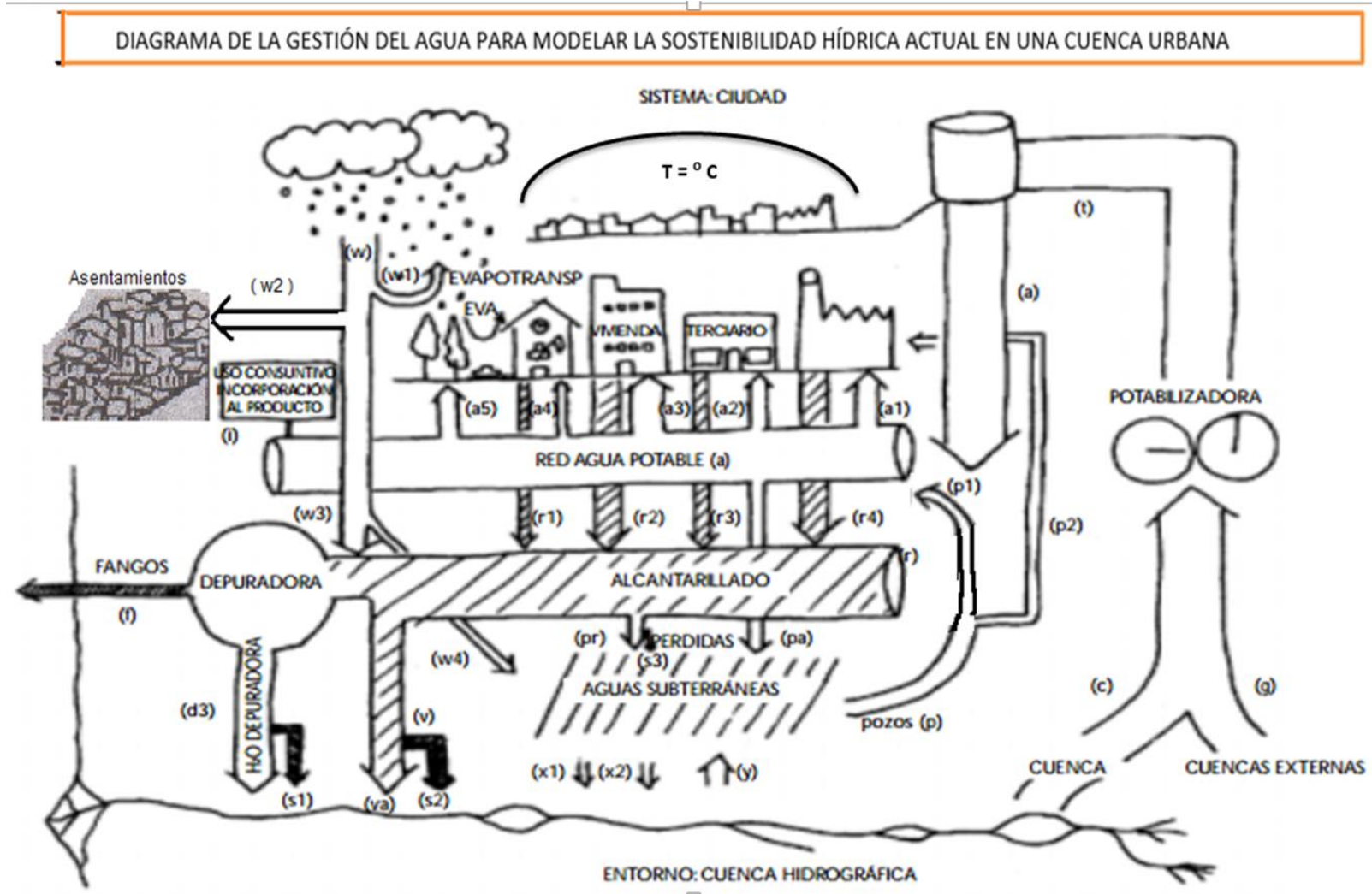


Figura 33. Análisis del ciclo actual del agua en la cuenca Urbana. Fuente: Adaptado de FFA, 1999, pág. 24

### 3.7.3.4 Balance hídrico de la cuenca

Tabla 30. Descripción de las relaciones entre los observables del diagrama para modelar la sostenibilidad hídrica

No	Enunciado	Unidades	Correspondencia con los flujos del modelo	Escala del indicador	Inciden- cia en el modelo	Descripción
1	Porcentaje de apropiación del agua de suministro de la cuenca	%	$g = \left( \frac{V_1 + V_2}{Q_r} \right) * 100$ <p><math>V_1</math> = volumen Presa el Tesoro en Km 58 (m<sup>3</sup>/s)  <math>V_2</math> = volumen Presa Xaya en el Km 80 (m<sup>3</sup>/s)  <math>Q_r</math> = Caudal del río (m<sup>3</sup>/s)</p>	Cuenca	Sistemas de soporte	Es un indicador de apropiación humana del agua. La apropiación de un determinado porcentaje (algunos técnicos proponen no sobrepasar 1/3 del total) debería hacerse teniendo en cuenta las necesidades del resto de ecosistemas
2	Área de cuenca necesaria para el abastecimiento ( $A_{c,a}$ )	km <sup>2</sup>	$A_{c,a} = (A_c) \sum \frac{V_1 + V_2}{\sum Q_r}$ <p>para ambas sumatorias de <math>i = 1</math> hasta <math>n = 12</math> meses  <math>A_c</math> = Área de la cuenca en ( km<sup>2</sup> )</p>	Cuenca	Sistemas de soporte	Es la superficie de cuenca necesaria para abastecer de agua potable al sistema urbano. El cálculo se realiza para un año normal y un año seco. Consiste en saber el caudal específico (l/seg.· km <sup>2</sup> ) que transcurre como agua superficial y que se deriva para abastecimiento urbano.
3	Superficie Total del Área de estudio ( $A_e$ )	km <sup>2</sup>	( $A_e$ ) = Superficie total del área de estudio en Km <sup>2</sup>	Cuenca	Sistema Ciudad	Cantidad total de la superficie del área de estudio
4	Superficie impermeable del área de estudio ( $A_{i,e}$ )	ha	( $A_{i,e}$ ) =	Cuenca	Sistemas Ciudad	Cantidad de superficie ocupada por edificaciones, infraestructuras y superficies impermeables en el territorio. El cálculo debe hacerse, incluyendo terrenos con pendiente < 10 %

5	Superficie ocupada por asentamientos = ( Aa )	m <sup>2</sup>	( Aa ) =	Cuenca	Sistema ciudad	Cantidad de superficie ocupada por la viviendas de los asentamientos del área de estudio
6	Aportación de agua para el consumo también llamado suministro (A)	m <sup>3</sup> /mes	$A = (a) + (p1) - (pa) + (p2) - (pb) + (w2)$ (en m <sup>3</sup> /mes) A = Es la suma de los flujos que entran al Sistema urbano para su consumo humano en m <sup>3</sup> /mes Ao = Toda el agua de suministro público (EMPAGUA) superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras para toda la ciudad $Ao = (a) + (p1)$ (en m <sup>3</sup> /mes) a = toda el agua superficial para la ciudad de las plantas potabilizadora de EMPAGUA en (en m <sup>3</sup> /mes) Aoze = Toda el agua superficial y subterránea (EMPAGUA) para la zona de estudio (en m <sup>3</sup> /mes) $Aoze = (Aoz11+Aoz12+Aoz13+Aoz14+Aoz21)$ Aoze = aze + p1ze aze = Toda el agua superficial de EMPAGUA para la zona de estudio	Cuenca	Sistemas de soporte	$Aze = \text{suministro de agua de la zona de estudio en m}^3/\text{mes}$ $Aze = (aze) + (p1ze) - (paze) + (p2ze) - (pbze) + (w2ze)$ $Az11 = \text{suministro de agua de la zona 11 en m}^3/\text{mes}$ $Az11 = (az11) + (p1z11) - (paz11) + (p2z11) - (pbz11) + (w2z11)$ $Az12 = \text{suministro de agua de la zona 12 en m}^3/\text{mes}$ $Az12 = (az12) + (p1z12) - (paz12) + (p2z12) - (pbz12) + (w2z12)$ $Az13 = \text{suministro de agua de la zona 13 en m}^3/\text{mes}$ $Az13 = (az13) + (p1z13) - (paz13) + (p2z13) - (pbz13) + (w2z13)$ $Az14 = \text{suministro de agua de la zona 14 en m}^3/\text{mes}$ $Az14 = (az14) + (p1z14) - (paz14) + (p2z14) - (pbz14) + (w2z14)$ $Az21 = \text{suministro de agua de la zona 21 en m}^3/\text{mes}$ $Az21 = (az21) + (p1z21) - (paz21) + (p2z21) - (pbz21) + (w2z21)$ $p1 = \text{Toda el agua subterránea de pozos de EMPAGUA para toda la ciudad en m}^3/\text{mes}$ $p1x = \% \text{ de agua subterránea utilizada por el sector público en \%}$ $p1ze = \text{Toda el agua subterránea de pozos de EMPAGUA para la zona de estudio en m}^3/\text{mes}$ $p1ze = p1z11 + p1z12 + p1z13 + p1z14 + p1z21 \text{ en m}^3/\text{mes}$ $p1z11 = \text{toda el agua subterránea de EMPAGUA para la zona 11 en m}^3/\text{mes}$



		<p> <math>aze = az11 + az12 + az13 + az14 + az21</math> (en <math>m^3/mes</math>)            Para cada zona del estudio:  <math>Aoz11 = az11 + p1z11</math>  <math>Aoz12 = az12 + p1z12</math>  <math>Aoz13 = az13 + p1z13</math>  <math>Aoz14 = az14 + p1z14</math>  <math>Aoz21 = az21 + p1z21</math>  <math>az11</math> = El agua superficial de EMPAGUA para la zona 11 en <math>m^3 / mes</math>  <math>az12</math> = El agua superficial de EMPAGUA para la zona 12 en <math>m^3 / mes</math>  <math>az13</math> = El agua superficial de EMPAGUA para la zona 13 en <math>m^3 / mes</math>  <math>az14</math> = El agua superficial de EMPAGUA para la zona 14 en <math>m^3 / mes</math>  <math>az21</math> = El agua superficial de EMPAGUA para la zona 21 en <math>m^3 / mes</math>  <math>Pa = (a) (Xrp / 100)</math> en (<math>m^3 / mes</math>)  <math>Pb = (p2) (xrpv / 100)</math> en (<math>m^3 / mes</math>)  <math>W = wz11 + wz12 + wz13 + wz14 + wz21</math>  <math>wz11 = (1,000) * (W_o) * (A z11)</math> en <math>m^3 / mes</math>  <math>wz12 = (1,000) * (W_o) * (A z12)</math> en <math>m^3 / mes</math> </p>			<p> <math>p1z12</math> = toda el agua subterránea de EMPAGUA para la zona 12 en <math>m^3 / mes</math>  <math>p1z13</math> = toda el agua subterránea de EMPAGUA para la zona 13 en <math>m^3 / mes</math>  <math>p1z14</math> = toda el agua subterránea de EMPAGUA para la zona 14 en <math>m^3 / mes</math>  <math>p1z21</math> = toda el agua subterránea de EMPAGUA para la zona 21 en <math>m^3 / mes</math>  <math>W_o</math> = es la precipitación mensual acumulada en (mm) de lluvia  <math>W</math> = precipitación mensual acumulada de toda la zona de estudio expresada en <math>m^3 / mes</math>  <math>wz11</math> = precipitación mensual acumulada de la zona 11 en <math>m^3 / mes</math> definida por la siguiente ecuación:            sabiendo que (<math>1 mm H_2O = 1 L / m^2</math>)  <math>Wz11 = (W_o \text{ en } mm H_2O \text{ acumulada /en un mes}) * [(1L H_2O / m^2) / 1 mm H_2O]^* (1,000,000 m^2 / 1 Km^2) (1^3 / 1000 L H_2O) = (W_o) * (1000 m^3 / km^2 - mes)</math>            Ahora, si se multiplica por el área de la zona 11 (<math>Az11</math>) en <math>Km^2</math> queda como = <math>(W_o) * (1,000 m^3 / km^2 - mes) * (A z11 \text{ en } Km^2) = 1,000 m^3/mes * (W_o) * (A z11)</math>            por lo tanto:  <math>wz11 = (1,000) * (W_o) * (A z11)</math>            donde <math>W_o</math> es mm de lluvia acumulada mensual y <math>Az11</math> en <math>Km^2</math> para que la ecuación quede expresada en <math>m^3 / mes</math>  <math>wz12</math> = precipitación mensual acumulada de zona 12 en <math>m^3 / mes</math>  <math>wz13</math> = precipitación mensual acumulada de zona 13 en <math>m^3 / mes</math>  <math>wz14</math> = precipitación mensual acumulada de zona 14 en <math>m^3 / mes</math> </p>
--	--	---	--	--	---

		<p> <math>wz13 = (1,000) * (W_o) * (A z13)</math>  en m<sup>3</sup> / mes  <math>wz14 = (1,000) * (W_o) * (A z14)</math>  en m<sup>3</sup> / mes  <math>wz21 = (1,000) * (W_o) * (A z21)</math>  en m<sup>3</sup> / mes  <math>w2 = w2z11 + w2z12 + w2z13 + w2z14 + w2z21</math> en m<sup>3</sup>/mes  <math>Aa = Aaz11 + Aaz12 + Aaz13 + Aaz14 + Aaz21</math> en Km<sup>2</sup>  W2z11 = precipitación que cae en el área de los asentamientos de la zona 11 <math>w2z11 = (1,000) wo (Aaz11)</math> en m<sup>3</sup>/mes  <math>w2z12 = (1,000) wo (Aaz12)</math> en m<sup>3</sup>/mes  <math>w2z13 = (1,000) wo (Aaz13)</math> en m<sup>3</sup>/mes  <math>w2z14 = (1,000) wo (Aaz14)</math> en m<sup>3</sup>/mes  <math>w2z21 = (1,000) wo (Aaz21)</math> en m<sup>3</sup>/mes  p2 = Toda el agua subterránea de pozos privados en m<sup>3</sup> / mes  p2ze = Toda el agua para beber de pozos privados de toda la zona de estudio en m<sup>3</sup>/mes  <math>p2ze = p2z11 + p2z12 + p2z13 + p2z14 + p2z21</math>  p2z11 = Agua para beber de pozos privados de la zona 11 en m<sup>3</sup> /mes </p>			<p> <math>wz21 =</math> precipitación mensual acumulada la zona 21 en m<sup>3</sup> /mes  w2 = Es toda el agua de la precipitación que cae en el área de los asentamientos en m<sup>3</sup> /mes  Pa = perdidas en la red de distribución publica de toda la ciudad en m<sup>3</sup> / mes  Paze = perdidas en la red de distribución publica de la zona de estudio en m<sup>3</sup> / mes  <math>Paze = (Aoze * Xrp) / 100</math> en m<sup>3</sup> / mes  Paz11 = perdidas en la red de distribución de la zona 11  <math>Paz11 = (Aoz11 * Xrp) / 100</math> en m<sup>3</sup>/mes  Paz12 = perdidas en la red de distribución de la zona 12  <math>Paz12 = (Aoz12 * Xrp) / 100</math> en m<sup>3</sup>/mes  Paz13 = perdidas en la red de distribución de la zona 13  <math>Paz13 = (Aoz13 * Xrp) / 100</math> en m<sup>3</sup>/mes  Paz14 = perdidas en la red de distribución de la zona 14  <math>Paz14 = (Aoz14 * Xrp) / 100</math> en m<sup>3</sup>/mes  Paz21 = perdidas en la red de distribución de la zona 21  <math>Paz21 = (Aoz21 * Xrp) / 100</math> en m<sup>3</sup>/mes  Xrp = porcentaje ( % ) de pérdidas de agua en la red de distribución publica  Xrpv = porcentaje ( % ) de pérdidas de agua en la red de distribución privada  Aa = Área total ocupada por todos los asentamientos de la zona de estudio en Km<sup>2</sup>  Aaz11 = Área ocupada por los asentamientos de la zona 11 en Km<sup>2</sup>  Aaz12 = Área ocupada por los asentamientos de la zona 12 en Km<sup>2</sup>  Aaz13 = Área ocupada por los asentamientos de la zona 13 en Km<sup>2</sup>  Aaz14 = Área ocupada por los asentamientos de la zona 14 en Km<sup>2</sup> </p>
--	--	---	--	--	---

			<p>p2z12 = Agua para beber de pozos privados de la zona 12 en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>p2z13 = Agua para beber de pozos privados de la zona 13 en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>p2z14 = Agua para beber de pozos privados de la zona 14 en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>p2z21 = Agua para beber de pozos privados de la zona 21 en m<sup>3</sup>/mes</p>			<p>Aaz21 = Área ocupada por los asentamientos de la zona 21 en Km<sup>2</sup></p> <p>Pb = perdidas en la red de distribución privada de toda la ciudad en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>Pbze = perdidas en la red de distribución privada de la zona de estudio <math>Pbze = ( p2ze ) ( Xrpv / 100 )</math> en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>Pbz11 = perdidas en la red de distribución privada de la zona 11</p> <p><math>Pbz11 = ( p2z11 ) * ( Xrpv / 100 )</math> en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>Pbz12 = perdidas en la red de distribución privada de la zona 12</p> <p><math>Pbz12 = ( p2z12 ) * ( Xrpv / 100 )</math> en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>Pbz13 = perdidas en la red de distribución privada de la zona 13</p> <p><math>Pbz13 = ( p2z13 ) * ( Xrpv / 100 )</math> en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>Pbz14 = perdidas en la red de distribución privada de la zona 14</p> <p><math>Pbz14 = ( p2z14 ) * ( Xrpv / 100 )</math> en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>Pbz21 = perdidas en la red de distribución privada de la zona 21</p> <p><math>Pbz21 = ( p2z21 ) * ( Xrpv / 100 )</math> en m<sup>3</sup>/mes</p>
7	<p>Demanda total de agua exigida por la población en la zona de estudio está definida como: ( Dtze )</p>	m <sup>3</sup> / mes	<p>Dtze = Dtpze + Dppze en m<sup>3</sup>/mes</p> <p><math>Dtze = [(hab.d) * (Rm.hab.d) + (hab.e) * (Rm.hab.e) + (hab.a) * (Rm.hab.a)]</math></p> <p>Análisis dimensional</p> <p><math>Dtze = (personas) * (L H2O / persona / día) * ( 1^3 / 1000 L ) * ( 30 días / 1 mes )</math></p> <p><math>Dtze = ( hab. ) * (Rm.hab.) * (30/1000)</math> en m<sup>3</sup>/mes</p>	Cuenca	Sistema Ciudad	<p>La demanda del agua, es ejercida directamente por la población y para este análisis, la población está dividida en:</p> <p>Dtze = Demanda total de H2O de la zona de estudio expresado en m<sup>3</sup>/mes</p> <p>hab. d = Habitantes directos del área de estudio en número de personas</p> <p>hab. e = Habitantes temporales del área de estudio correspondientes a los empleados de las empresas y de los comerciales en número de personas</p>

		<p>Dtpze = Demanda total de H2O de la población en la zona de estudio<sup>3</sup> / mes</p> <p>Dtpze = Dpdze + Dpeze + Dpaze en <sup>3</sup> mes</p> <p>Dpdze = Demanda de H2O de la población directa en la zona de estudio en <sup>3</sup> / mes</p> <p>Dpdze = Dpdz11 + Dpdz12 + Dpdz13 + Dpdz14 + Dpdz21 en <sup>3</sup> / mes</p> <p>Dpeze = Demanda de H2O de la población empleada en la zona de estudio</p> <p>Dpeze = Dpez11 + Dpez12 + Dpez13 + Dpez14 + Dpez21 en <sup>3</sup> / mes</p> <p>Dpaze = Demanda de H2O de la población ambulatoria en la zona de estudio</p> <p>Dpaze = Dpaz11 + Dpaz12 + Dpaz13 + Dpaz14 + Dpaz21 en <sup>3</sup> / mes</p> <p>Dppze = Demanda de H2O para producción de la zona de estudio en <sup>3</sup> / mes</p> <p>Dppze = Dppz11 + Dppz12 + Dppz13 + Dppz14 + Dppz21 en <sup>3</sup> / mes</p>		<p>hab. a = Habitantes ambulatorios que visitan el área de estudio tales como clientes de los comercios, hospitales, mercados cantonales y demás, en número de personas</p> <p>R<sub>m</sub> = Son los requerimientos mínimos de agua que necesita un habitante al día para poder sobrevivir, según OMS los requerimientos mínimos de h2o son de 50 a 100 L/persona/día. Por otro lado, no hay que confundir los parámetros de referencia que utiliza también la OMS, SEGEPLAN y el IARNA en cuanto a los 1,000 m<sup>3</sup>/hab./año de disponibilidad como un umbral de clasificación en cuanto al estrés hídrico.</p> <p>Debido a que los requerimientos de agua no son iguales para todos los habitantes de una ciudad, puesto que existen habitantes directos (hab.d) o será residentes del sector que cocinan, lavan su ropa, se duchan y demás actividades no realiza un habitante temporal de la zona como lo podría ser un empleado (hab.e) y aun menos un habitante ambulatorio (hab.a) que solo llega a la zona por cierto periodo de tiempo con fines de compra, paseo, o venta y con otros requerimientos de agua, pero al fin de cuentas consumen agua en el área de estudio.</p> <p>Según la OMS en su guía técnica No. 9, p.1 – en su revisión a mayo del 2009 presenta una tabla con los requerimientos minimos de diferentes actividades, con unos proyectos de sobrevivencia a corto, mediano y largo plazo, de ahí se estiman los diferentes valores para (R<sub>m</sub>.hab.d, R<sub>m</sub>.hab.e, R<sub>m</sub>.hab.a)</p>
--	--	---	--	--

8	La sostenibilidad hídrica puede ser medida por medio de un indicador llamado (ISH)	adimensional	$ISH = F(CA, CE, CS)$	Cuenca	Sistemas de soporte	Componente Ambiental (CA), componente Económico (CE), componente Social (CS) donde cada componente es evaluado de acuerdo a las variables claves seleccionadas por el panel de expertos y da una idea de la autosuficiencia del sistema en relación a este recurso.
9	La Sostenibilidad hídrica ambiental ( $Sh_a$ ) = $F(CA_1)$	adimensional	$(Sh_a) = 1$ o 100 % siempre y cuando se cumpla la siguiente ecuación en el sistema ciudad. Suministro de agua = Demanda del agua $(\text{Suministro} / \text{Demanda}) = 1 = Sh_a$ o sea: $F(CA_1) = A / D$	Cuenca	Sistema de soporte	Se considera que $F(CA_1)$ es el factor más = f determinante del componente ambiental que determina la Sostenibilidad hídrica ambiental ( $Sh_a$ ), pero también puede estar afectada por otras variables.
10	Componente ambiental afectado por el calentamiento global = $F(CA_2)$	Adimensional	$F(CA_2) = D_{cc}$ = Factor de demanda de agua afectada por Calentamiento Global así: $\Sigma (\Omega_m T_i) / 3 \geq 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ entonces $D_{cc} = 1.05$ $\geq 1.0 = 1.10$ $\geq 1.5 = 1.15$ $\geq 2.0 = 1.20$	Cuenca	Sistema Ciudad	La principal consecuencia del calentamiento global en la ciudad es el incremento de la temperatura media del ambiente ( $T$ ) expresada en ( $^\circ\text{C}$ ), para definir el incremento se hará uso del concepto de anomalía de temperatura ( $\Omega T$ ) defino como: $\Omega_m T_i = [(T_m) \text{ Promedio de todos los años del mes (m)}] - [T_{i,m}]$ con variaciones de ( $i$ ) desde 1970 hasta 2015 y de ( $m$ ) desde enero hasta diciembre $[(T_m) \text{ Promedio de todos los años del mes (m)}] = \Sigma [ (T_{i,m}) / (n-i) ]$ con $i = 1970$ hasta $n = 2014$ y con $m =$ enero hasta diciembre $D_{cc}$ = Factor de demanda de agua afectada por cambio climático

11	La Sostenibilidad hídrica ambiental (Sh <sub>a</sub> ) = F (CA <sub>1</sub> , CA <sub>2</sub> )	Adimensional	(Sh <sub>a</sub> ) = A / [( D ) (Dcc) ]			De acuerdo a recomendaciones de expertos indican que mientras más alta es la temperatura ambiente, se observa un incremento de la demanda del agua, pues se toma más agua para aliviar la sed y los que pueden hacerlo hasta se duchan varias veces al día y es parte de la idiosincrasia, regar el jardín las veces que sean necesarias hasta obtener un verde profundo, pues sintomáticamente da la sensación de frescura al paisaje.
12	Componente ambiental afectada por la contaminación en cuanto a Vertidos al medio hídrico (V) = F (CA <sub>3</sub> )	Adimensional	F (CA <sub>3</sub> ) = V = <u>(S1)+(S2)+(S3)+(f)</u> Dx	Cuenca	Sistemas de soporte	Consiste en saber la cantidad de contaminación en peso que se vierte al sistema hídrico. si no se reutilizan los fangos Dx = ( D ) (1000) ( ρ ) ( expresados en kilos) ρ = densidad de las aguas residuales en (kg/l ) F (CA <sub>3</sub> ) = es adimensional
13	La componente Economica para el sector publico detectada = F (CE <sub>1</sub> )	Adimensional	F (CE <sub>1</sub> ) = <u>( A1 ) (Ca )</u> [ ( Ao )(Cp1) + Gv ]  Ao = (a)+ (p1) A1 = Ao - ( pa )	Cuenca	Sistema de soporte	El ideal de la gestión hídrica en el aspecto económico, parte del hecho que se cumpla la siguiente ecuación = Todos los ingresos percibidos por la venta de agua = Todos los gastos incurridos en la operación de Captación, tratamiento, distribución, lectura de contadores, instalaciones nuevas, mantenimiento y gastos administrativos Ao = Toda el agua de suministro público (EMPAGUA) superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras. A1 = Toda el agua que logra llegar a las viviendas o que es facturada de acuerdo a su consumo Ca = Canon de agua afectado por el consumo de cada vivienda

						<p>Cp1 = Costo de producción de 1 m<sup>3</sup> de agua en el sector publico</p> <p>Gv = Todos los gastos administrativos no contemplados en el costo de producción Cp1</p>
14	La componente Economica para el sector privado detectada = F(CE <sub>2</sub> )	Adimensional	<p><math>F(CE_2) = \frac{\text{total de inversion en zonas recarga hid.}}{\text{el costo del agua extraída empresarial}}</math></p> <p><math>F(CE_2) = \frac{TizRh}{C_{H_2OEE}}</math></p> <p><math>C_{H_2OEE} = (p_2) (Cp_2) \text{ en } (Q/mes)</math></p> <p><math>n</math></p> <p><math>p_2 = (1.20) (30 (\sum (R_p)))</math></p> <p><math>i = 1</math></p> <p>Donde las sumatorias van desde i = 1 hasta n que es el número total de empresas e industrias en el área de estudio.</p>	Cuenca	Sistema Ciudad	<p>En este sector se deben cumplir por los menos 2 premisas, recomendadas por los expertos las cuales son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se debe garantizar el abasto de agua para suplir las demandas de producción más un 20 % de cobertura por cualquier imprevisto.</li> <li>2. Cp2 = Costo de producción de 1 m<sup>3</sup> de agua en el sector privado, se busca que sea lo más bajo posible y que incluya todos los gastos de mantenimiento, operación, depreciación de los equipos, Energía Eléctrica, Salarios de Monitoreo y el Cp2k1</li> <li>3. K = Son todos los gastos de inversión (búsqueda, perforación y construcción de pozo), en que se incurrieron para tener el pozo en operación puedan ser cubiertos mensualmente, generalmente se busca que este tipo de proyectos pueda ser cubierto en un plazo de 60 meses equivalentes a 5 años</li> </ol>

			<p>La pregunta más importante para la cuenca será:</p> <p>Cuánto dinero se invierte para el manejo sostenible de las zonas de recarga hídrica de los acuíferos subterráneos que abastecen a la zona de estudio en la ciudad capital.</p> <p><math>n</math>  <math>TizRh = \sum_{i=1}^n [(p_2) (Cp1 / 2) ]</math>  en ( Q / mes )</p>			<p><math>K1 = K / 60</math> en ( Quetzales )</p> <p><math>C_{H2O}EE (CE_2) =</math> Costo del Agua Extraído Empresarial</p> <p>TizRh = Total de inversión en zonas recarga hídrica. En ( Q/ mes )</p> <p>Cp2k1 = la componente del costo de producción afectada por la recuperación de inversion.</p> <p><math>Cp2k1 = K1 / ( p2)</math> en ( Q / m<sup>3</sup> )</p> <p>Para el caso específico del sector privado, los costos de producción del agua están incluidos en los precios de venta de los productos que distribuyen, razón por la cual la sostenibilidad económica desde el punto de vista empresarial está más que justificada para la empresa, además en muchos casos en los que se sobrepasan los periodos de recuperación de 5 años, la ganancia es mayor.</p>
15	La sostenibilidad hídrica económica quedara como: (Sh e )	Adimensional	<p><math>(Sh_e) = F(CE_1, CE_2) = [ ( z1 ) F(CE_1) + ( z2 ) F(CE_2) ]</math></p>	Cuenca	Sistema ciudad	<p>Según el grupo de expertos desde el año 2008 a la fecha indica que el abastecimiento de agua utilizado por EMPAGUA para distribución para el consumo humano representa solamente el 40 % por falta de capacidad para hacerlo, el resto está siendo abastecido por el sector privado, de ahí los factores de afectación para cada sector.</p> <p>Z1 = Porcentaje de agua utilizado por el , sector publico para abastecer a la población del total disponible para la cuenca</p> <p><math>Z1 = (100) ( a_o ) / (a_o + p_2)</math></p>



						<p>Z2 = Porcentaje de agua utilizado por el sector privado para abastecer a su población y sus necesidades del total disponible para la cuenca</p> $z2 = 100 - z1 \quad \text{o bien expresarse como}$ $z2 = (100)(p2) / (ao + p2)$
16	<p>Índice de Satisfacción de servicio, se considera una de las componentes sociales en la sostenibilidad hídrica Social como: ( F (CS<sub>1</sub>) =</p>	Adimensional	$F (CS_1) = [ ( Hra ) ( H2Or ) ] / 36 \text{ Hr.} - L / \text{min}$	Cuenca	Sistema ciudad	<p>El grupo de expertos sugiere que una comunidad estará satisfecha con un servicio prestado cuando:</p> <p>La satisfacción del servicio por el cliente = Un servicio satisfactorio dado por el proveedor</p> <p>Hra = Horas abastecidas H2Or = Agua recibida en (L / min ) Según expertos de EMPAGUA, consideran que un servicio satisfactorio es aquel que se provee por lo menos, durante 12 horas continuas con un caudal mínimo de 3 L / min = 36 Hr. – L / min</p>
17	<p>Índice social de estrés hídrico (ISEH) = <math>\mu_5</math>  = F (CS<sub>2</sub>) =</p>	Adimensional	<p>Nota: los valores mínimo y máximo para construir los índices que componen a u5 se pueden ajustar a criterios propios, aunque el PNUD (2005) propone los siguientes valores:</p>	Cuenca	Sistema ciudad	<p>Lo que mide este indicador es el estrés hídrico y la capacidad de una sociedad para afrontarlo, esté estrés social relacionado a cuestiones hídricas refleja la situación de la relación entre la condición de escasez de agua en un territorio y la capacidad de adaptación a tal evento por parte de la sociedad.</p> <p>u5 = Índice social de estrés hídrico, Adimensional d5 = Índice estrés hídrico, en número de cientos de personas, (No. hab. / 100) h = IDH Índice de desarrollo humano, Adimensional a = IEV Índice de esperanza de vida, Adimensional b = IE Índice de educación, Adimensional c = PIB Índice de producto interno bruto, Adimensional f = Esperanza de vida, Años</p>

			$u_{5i} = \left( \frac{d_{5i}}{h_i} \right) \left( \frac{1}{2} \right)$ $h_i = \frac{1}{3}a_i + \frac{1}{3}b_i + \frac{1}{3}c_i$ $a_i = \frac{f_i - f_m}{f_M - f_m}$ $\alpha_i = \frac{f_i - f_m}{f_M - f_m}$ $b_i = \frac{2}{3}g_i + \frac{1}{3}j_i$ $g_i = \frac{l_i - l_m}{l_M - l_m}$ $l_i = 100 \left( \frac{s_i}{v_i} \right)$ $j_i = \frac{o_i - o_m}{o_M - o_m}$ $o_i = 100 \left( \frac{w_i}{x_i} \right)$ $c_i = \frac{r_i - r_m}{r_M - r_m}$ <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>variable</th> <th>m</th> <th>M</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>f</td> <td>25 años</td> <td>85 años</td> </tr> <tr> <td>l</td> <td>0 %</td> <td>100 %</td> </tr> <tr> <td>o</td> <td>0 %</td> <td>100 %</td> </tr> <tr> <td>r</td> <td>100 US\$</td> <td>40,000 US\$</td> </tr> </tbody> </table>	variable	m	M	f	25 años	85 años	l	0 %	100 %	o	0 %	100 %	r	100 US\$	40,000 US\$			<p>m = Número del elemento mínimo a evaluar, Adimensional</p> <p>M = Número del elemento máximo a evaluar, Adimensional</p> <p>g = IA Índice de alfabetización en adultos, Adimensional</p> <p>j = IBM Índice bruto de matriculación, Adimensional</p> <p>l = TAA Tasa de alfabetización en adultos, Porcentaje</p> <p>s = PAA Población de adultos alfabetos, No. hab.</p> <p>v = PA Población adulta, No. hab.</p> <p>o = TBCM Tasa bruta combinada de matriculación (educación primaria secundaria y terciaria), Porcentaje</p> <p>w = Población total escolar, No. hab.</p> <p>x = Población total en edad escolar, No. hab.</p> <p>r = Producto Interno Bruto (PIB) per-cápita ajustado a la Paridad del Poder Adquisitivo (PPA), US\$</p> <p>i = Objeto (subdivisión del territorio) (i = 1, ..., I).</p>
variable	m	M																			
f	25 años	85 años																			
l	0 %	100 %																			
o	0 %	100 %																			
r	100 US\$	40,000 US\$																			
18	(Sh s) = F (CS <sub>1</sub> , CS <sub>2</sub> ) =	Adimensional	(Sh s) = F (CS <sub>1</sub> , CS <sub>2</sub> ) = F (CS <sub>1</sub> ) x F (CS <sub>2</sub> )	Cuenca	Sistema ciudad	Valora la aportación de la componente social al sistema hídrico															

Fuente: Elaboración propia.2016.

Resumen de variables a interrelacionar:

x <sub>1</sub> = a	x <sub>11</sub> = s <sub>1</sub>	x <sub>21</sub> =Cp1	x <sub>31</sub> = IDH
x <sub>2</sub> = w	x <sub>12</sub> = s <sub>2</sub>	x <sub>22</sub> = Gv	x <sub>32</sub> = IEV
x <sub>3</sub> = p <sub>1</sub>	x <sub>13</sub> = s <sub>3</sub>	x <sub>23</sub> =Cp2	x <sub>33</sub> = IE
x <sub>4</sub> = p <sub>2</sub>	x <sub>14</sub> = f	x <sub>24</sub> = T <sub>iz</sub> Rh	x <sub>34</sub> = PIB
x <sub>5</sub> = pa	x <sub>15</sub> = Ω <sub>m</sub> T <sub>i</sub>	x <sub>25</sub> = Hra	x <sub>35</sub> = IA

$$x_6 = pb$$

$$x_7 = w1$$

$$x_8 = w3$$

$$x_9 = w2$$

$$x_{10} = w4$$

$$x_{16} = T$$

$$x_{17} = R_p$$

$$x_{18} = A_o$$

$$x_{19} = A1$$

$$x_{20} = Ca$$

$$x_{26} = H_2Or$$

$$x_{27} = R_m$$

$$x_{28} = hab.d$$

$$x_{29} = hab.e$$

$$x_{30} = hab.a$$

$$x_{36} = IBM$$

$$x_{37} = TAA$$

$$x_{38} = PAA$$

$$x_{39} = PA$$

$$x_{40} = TBCM$$

### Relaciones propuestas:

$$A = (X_1) + (X_3) - (X_5) + (X_4) - (X_6) + \left[ \frac{(X_9)(A_a)}{1000} \right] \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$D = (30[(X_{28}) + \sum(X_{29}) + (X_{30})] (X_{27}) + 30(\sum X_{17})) \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$D_{cc} = \sum \frac{X_{15}}{3} \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$D_X = (D)(1,000) (\rho) \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$V = \frac{X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}}{D_X} \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$F CE_1 = \left( \frac{(A1) \cdot [C_A]}{(A_o) \cdot Cp1 + Gv} \right) = \frac{(X_{19}) \cdot (X_{20})}{(X_{18}) \cdot (X_{21}) + (X_{22})} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$F CE_2 = \frac{TizRh}{C_{H_2OEE}} = \frac{X_{24}}{(X_4)(X_{23})} \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$F (CS_1) = \frac{(Hra)(H_2Or)}{36 \text{ Hr} - L / \text{min}} = \frac{(X_{25})(X_{26})}{36 \text{ Hr} - L / \text{min}} \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$F (CS_1) = \mu_5 = \frac{d5}{IDH} \times \frac{1}{2} \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$\mu_5 = \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{X_{41}}{X_{31}}\right) \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$(Sh\ s) = F(CS_1, CS_2) = F(CS_1) \times F(CS_2) \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$(Sh\ e) = F(CE_1, CE_2) = [(z1) F(CE_1) + (z2) F(CE_2)] \quad (\text{Ecuación 37})$$

Y por último la ecuación 20 puede expresarse en los siguientes términos así:

$$ISH = [F(CA1, CA2, CA3)] [F(CE1, CE2)] [F(CS1, CS2)] \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$ISH = \left[ \frac{(A)}{(D)[D_{CC}]} \times [V] \right] \left[ \frac{(A1)(Ca)}{(A_0)(Cp1)+Gv} \times \frac{(TizRh)}{C_{H_2O}EE} \right] \left[ \frac{(Hra)(H_2Or)}{36\ Hr-L/min} (\mu_5) \right] \quad (\text{Ecuación 38})$$

Y para definirlos en términos de las variables descritas por la red conceptual multinivel (RCM)

$$F_1(X_1, X_3, X_4, X_5, X_6, X_9, X_{15}, X_{17}, X_{27}, X_{28}, X_{29}, X_{30}, ) = \frac{\left[ (X_1) + (X_3) - (X_5) + (X_4) - (X_6) + \left[ \frac{(X_9)(Aa)}{1000} \right] \right]}{[(30[(X_{28}) + \sum(X_{29}) + (X_{30})(X_{27})]) + 30(\sum(X_{17}))] \left[ \frac{\sum(X_{15})}{5} \right]}$$

$$F_2(X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{17}, X_{27}, X_{28}, X_{29}, X_{30}) = \frac{[(X_{11}) + (X_{12}) + (X_{13}) + (X_{14})]}{[(30[(X_{28}) + \sum(X_{29}) + (X_{30})(X_{27})]) + 30(\sum(X_{17}))][(1000)(\rho)]}$$

$$F_3(X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}) = \frac{(X_{19}) \cdot (X_{20})}{(X_{18}) \cdot (X_{21}) + (X_{22})}$$

$$F_4(X_4, X_{23}, X_{24}) = \frac{(X_{24})}{(X_4) \cdot (X_{23})}$$

$$F_5 (X_{25}, X_{26}) = \frac{(X_{25})(X_{26})}{36 \text{ Hr-L}/\text{min}}$$

$$F_6 (X_{31}) = \frac{1}{2} \times \frac{d_{5i}}{X_{31}}$$

$$F_7(X_{32}, X_{33}, X_{34}) = \frac{1}{3}(X_{32}) + \frac{1}{3}(X_{33}) + \frac{1}{3}(X_{34})$$

$$F_8(X_{38}, X_{39}) = 100 \left( \frac{(X_{38})}{(X_{39})} \right)$$



## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Los actores claves

Actores Ambientales	Actores Económicos	Actores sociales
<ul style="list-style-type: none"><li>•MARNS</li><li>•MAGA</li><li>•Gabinete Especifico del agua</li><li>•MICIVI</li><li>•Consejo Nacional de áreas protegidas</li><li>•Universidad de San Carlos</li><li>•Universidad Landívar</li><li>•Universidad del Valle</li><li>•Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Ministerio de Economía</li><li>•Segeplan</li><li>•Camara de Industria</li><li>•Ministerio de Energía y Minas</li><li>•Ministerio de Finanzas Públicas</li><li>•Ministerio de Relaciones Exteriores</li><li>•Ministerio de Cultura y Deportes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•MINEDUC</li><li>•Municipalidad de Guatemala</li><li>•Municipalidad de Santa Catarina Pinula.</li><li>•Municipalidad de Chimaltenango</li><li>•Municipalidad de Villa Nueva</li><li>•Municipalidad de Mixco</li><li>•Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social</li><li>•Alcaldías Auxiliares</li><li>•Cocodes</li><li>•Sociedad Civil</li></ul>

Figura 34. Actores claves. Fuente: elaboración propia.2016

#### 4.2 Las variables claves

Variabes Ambientales	Variabes Económicas	Variabes Sociales
<ul style="list-style-type: none"><li>• Precipitación</li><li>• Temperatura</li><li>• Humedad relativa</li><li>• Caudales (m3/s)</li><li>• % Contaminación</li><li>• % Deforestación</li><li>• % Uso del suelo</li><li>• Areas protegidas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tarifas</li><li>• Costos</li><li>• Demanda de agua</li><li>• Oferta de agua</li><li>• Inversiones</li><li>• % de perdidas de abasto</li><li>• PIB</li><li>• IDH (Indice de desarrollo humano)</li><li>• IEV (Indice de Esperanza de Vida)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nivel de satisfacción</li><li>• Habitantes</li><li>• Educación</li><li>• Concientización</li><li>• Horas de servicio</li><li>• % de urbanización</li><li>• % de inmigración</li><li>• Calidad del agua</li><li>• Índice social de estrés hídrico (ISEH)</li></ul>

Figura 35. Variables claves. Fuente: elaboración propia.2016

### 4.3 Recolección de datos

Tabla. 31. Población base del país, departamento de Guatemala, ciudad y zonas de estudio

No.	año	Población total en número de personas							
		País	Depto. Guatemala	Ciudad	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21
1	1977	6,551,000	1,197,651	724,000	31,110	36,247	20,966	14,369	58,262
2	1978	6,724,000	1,221,124	737,000	31,669	36,898	21,342	14,627	59,308
3	1979	6,903,000	1,245,057	742,000	31,884	37,148	21,487	14,726	59,711
4	1980	6,916,831	1,269,458	748,000	32,141	37,448	21,661	14,845	60,193
5	1981	7,277,000	1,294,338	754,243	32,410	37,761	21,842	14,969	60,696
6	1982	7,473,000	1,319,706	773,000	33,216	38,700	22,385	15,341	62,205
7	1983	7,673,000	1,345,571	778,000	33,430	38,950	22,530	15,441	62,608
8	1984	7,876,000	1,398,000	781,000	33,559	39,101	22,617	15,500	62,849
9	1985	7,963,356	1,460,000	791,000	33,989	39,601	22,906	15,699	63,654
10	1986	8,281,000	1,500,000	800,000	34,376	40,052	23,167	15,877	64,378
11	1987	8,483,000	1,568,000	806,000	34,634	40,352	23,341	15,996	64,861
12	1988	8,688,000	1,610,000	814,000	34,977	40,753	23,572	16,155	65,505
13	1989	8,899,000	1,734,000	816,000	35,063	40,853	23,630	16,195	65,666
14	1990	9,197,345	1,820,000	817,300	35,119	40,918	23,668	16,221	65,770
15	1991	9,385,000	1,935,000	818,000	35,149	40,953	23,688	16,234	65,827
16	1992	9,619,000	2,052,000	820,000	35,235	41,053	23,746	16,274	65,988
17	1993	9,860,000	2,110,000	821,500	35,300	41,128	23,789	16,304	66,108
18	1994	10,106,000	2,180,000	823,301	35,377	41,218	23,842	16,340	66,253
19	1995	10,612,000	2,240,000	832,000	35,751	41,654	24,093	16,512	66,953
20	1996	10,621,228	2,305,000	842,000	36,181	42,155	24,383	16,711	67,758
21	1997	10,871,000	2,350,000	850,000	36,524	42,555	24,615	16,870	68,402
22	1998	11,136,000	2,398,000	866,000	37,212	43,356	25,078	17,187	69,689
23	1999	11,408,000	2,436,000	880,000	37,813	44,057	25,483	17,465	70,816
24	2000	12,221,706	2,600,000	901,000	38,716	45,108	26,092	17,882	72,506
25	2001	12,258,600	2,687,000	912,000	39,188	45,659	26,410	18,100	73,391
26	2002	12,288,600	2,710,000	923,184	39,669	46,219	26,734	18,322	74,291
27	2003	12,300,000	2,734,000	933,408	40,108	46,731	27,030	18,525	75,114
28	2004	12,400,000	2,750,000	943,632	40,548	47,243	27,326	18,728	75,937
29	2005	12,700,000	2,820,000	953,856	40,987	47,755	27,622	18,931	76,759
30	2006	12,987,829	2,975,417	964,080	41,426	48,266	27,918	19,134	77,582
31	2007	13,320,000	2,985,000	974,304	41,866	48,778	28,214	19,337	78,405
32	2008	13,677,815	2,994,047	980,160	42,117	49,071	28,384	19,453	78,876
33	2009	14,017,067	3,049,601	984,655	42,310	49,297	28,514	19,542	79,238
34	2010	14,361,666	3,103,685	988,150	42,461	49,472	28,615	19,611	79,519
35	2011	14,713,763	3,156,284	990,750	42,572	49,602	28,691	19,663	79,728
36	2012	15,072,375	3,207,587	992,541	42,649	49,691	28,742	19,698	79,872
37	2013	15,438,384	3,257,616	993,552	42,693	49,742	28,772	19,719	79,954
38	2014	15,806,675	3,306,397	993,815	42,704	49,755	28,779	19,724	79,975

Fuente: INE, 2014



Una buena fuente de información son las estadísticas del IGSS (Instituto Guatemalteco de Seguridad Social) que puede indicar el número de empleados de las zonas de estudio, en las actividades económicas de industria, comercio y servicios, contrastado contra las estadísticas del INE (Instituto Nacional de Estadística) y el servicio prestado por EMPAGUA.

Según AVANCSO (2003, p 110) en 1975 el total de trabajadores de la industria alcanzo 41,694 de los cuales 35,000 (83.94 %) residían en ciudad de Guatemala, y datos del ministerio de trabajo y previsión Social reportan que para 1968 el 90 % de la industria está focalizada en el municipio de Guatemala, Mixco y Villanueva.

En cuanto a poder determinar la población de empleos en las zonas de estudio se consultó al Departamento de Trabajo y Previsión Social sobre qué porcentaje de empleos existe en el área de estudio (zonas, 11, 12, 13, 14 y 21) indicaron que al año 2005 ahí se ubica casi el 50 % del empleo de la ciudad de Guatemala, desglosado de la siguiente manera, además en cuanto a la variación de este con respecto al tiempo ha si muy poco el desplazamiento y consideran que por los menos en los últimos 18 años su variación ha sido en decimas de porcentaje.

Tabla 32. *Nivel de empleo por zonas*

Zona	% de empleo
11	6
12	9
13	17
14	21
21	0.25
Total	53.25

Fuente: Ministerio de trabajo y previsión social, 2005

Según datos del departamento de estadística del IGSS, se pueden obtener el número de trabajadores de cada zona de la capital y principalmente del área de estudio.

Tabla 33. Total de trabajadores de patronos activos

año	total de trabajadores de patronos activos							
	Pais	Depto. Guate	Ciudad	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21
1977	666,529	220,088	191,476	11,489	17,233	32,551	40,210	479
1978	666,529	226,620	194,893	11,694	17,540	33,132	40,928	487
1979	666,529	231,286	198,906	11,934	17,902	33,814	41,770	497
1980	755,542	268,217	227,985	13,679	20,519	38,757	47,877	570
1981	591,019	213,062	176,842	10,611	15,916	30,063	37,137	442
1982	609,144	225,992	187,574	11,254	16,882	31,888	39,390	469
1983	583,548	222,915	182,791	10,967	16,451	31,074	38,386	457
1984	594,936	235,000	190,350	11,421	17,131	32,359	39,973	476
1985	631,654	260,241	208,193	12,492	18,737	35,393	43,721	520
1986	660,444	281,349	222,266	13,336	20,004	37,785	46,676	556
1987	678,995	300,116	234,090	14,045	21,068	39,795	49,159	585
1988	779,560	354,700	276,666	16,600	24,900	47,033	58,100	692
1989	788,367	363,437	279,847	16,791	25,186	47,574	58,768	700
1990	785,750	370,795	285,512	17,131	25,696	48,537	59,958	714
1991	786,903	409,304	306,978	18,419	27,628	52,186	64,465	767
1992	795,708	421,419	311,850	18,711	28,067	53,015	65,489	780
1993	823,239	451,967	329,936	19,796	29,694	56,089	69,287	825
1994	830,324	456,200	330,745	19,845	29,767	56,227	69,456	827
1995	855,596	467,954	336,927	20,216	30,323	57,278	70,755	842
1996	852,243	463,650	329,192	19,751	29,627	55,963	69,130	823
1997	851,292	467,867	332,186	19,931	29,897	56,472	69,759	830
1998	887,228	502,869	352,008	21,120	31,681	59,841	73,922	880
1999	893,126	522,620	365,834	21,950	32,925	62,192	76,825	915
2000	908,122	547,657	377,883	22,673	34,009	64,240	79,355	945
2001	927,768	570,591	393,708	23,622	35,434	66,930	82,679	984
2002	953,052	587,075	405,082	24,305	36,457	68,864	85,067	1,013
2003	957,921	593,092	403,303	24,198	36,297	68,561	84,694	1,008
2004	988,892	612,427	410,326	24,620	36,929	69,755	86,168	1,026
2005	1,002,356	616,671	413,170	24,790	37,185	70,239	86,766	1,033
2006	1,026,405	630,687	416,253	24,975	37,463	70,763	87,413	1,041
2007	1,073,458	659,597	435,334	26,120	39,180	74,007	91,420	1,088
2008	1,072,692	653,592	431,371	25,882	38,823	73,333	90,588	1,078
2009	1,088,417	667,198	433,679	26,021	39,031	73,725	91,073	1,084
2010	1,107,192	683,846	444,500	26,670	40,005	75,565	93,345	1,111
2011	1,154,378	728,580	466,291	27,977	41,966	79,270	97,921	1,166
2012	1,185,866	786,998	503,679	30,221	45,331	85,625	105,773	1,259
2013	1,222,865	813,017	512,201	30,732	46,098	87,074	107,562	1,281
2014	1,270,557	822,145	509,730	30,584	45,876	86,654	107,043	1,274

Fuente: IGSS, departamento de estadística, 2015

Según estimación realizada por el grupo de asesores financieros de EMPAGUA consideran que aproximadamente el 4% de la población total del departamento de Guatemala (2,541,581) al año 2002, visito las zonas 9, 10, 13, 14 y 15 regularmente, lo que se convierte en un aproximado de 100,000 habitantes.

Por otro lado, según la cámara de comercio de Guatemala al año 2005 estimo en una encuesta, que el porcentaje de habitantes que visitó la ciudad capital de Guatemala procedentes del área Metropolitana (AMG) fueron:

Tabla 34. % de visitantes del AMG

Zona	% de visitantes del AMG
11	1.2
12	2
13	3.5
14	4
21	0.2

Fuente: Cámara de comercio 2005

El resto de las zonas de la capital no se incorpora por estar fuera del área de estudio pero se hace mención que la zona más visitada (10 %) es la zona 4, por estar ubicada en esa área la terminal de verduras y frutas de toda la capital y de ahí se distribuyen a todos los mercados cantonales del área metropolitana, para el área de la zona 12 se contempla la ubicación de la Universidad estatal USAC, y para la zona 11 los centros de mayor afluencia lo representan el Hospital Roosevelt, el mercado de El Guarda, y el CUM.

Como puede observarse ambas fuentes coinciden en cuanto a los valores de porcentaje de las zonas 13 y 14, razón por la cual se procedió a tomar como referencia estos datos para determinar la Población de consumidores – No Habitantes o sea aquellos clientes de los comercios, vendedores ambulatorios y estudiantes de las zonas del área de estudio.

Según el Ministerio de economía reporta a enero del 2006 que población económicamente activa (PEA) alcanzó un valor de 6.13 millones habitantes compuestos de la siguiente forma:

Tabla 35. *Población Económicamente Activa (PEA)*

Sector	Población	%
Informal	4,035,118	65.80
Formal	2,096,877	34.20
PEA	6,131,995	100

Fuente: Ministerio de economía, 2006

Y según el IGSS a esa fecha reporta que el número de afiliados de todo el país alcanzó la cifra de 1,026,405 cifra que contrasta enormemente contra el dato del ministerio de económica, lo cual indica que  $(1,026,405 / 2,096,877 = 48.95 \%)$  menos del 50 % de los trabajadores del sector formal no están afiliados al IGSS y por lo tanto la cobertura del IGSS solo alcanza al  $(1,026,405 / 6,131,995 = 16.74 \%)$  de la PEA.

Según el ministerio de turismo reporta que los visitantes de la ciudad de Guatemala están conformados de la siguiente forma:

Tabla 36. *Turismo promedio de la ciudad de Guatemala*

Origen del turista que visita la ciudad de Guatemala	%
Otros departamentos de Guatemala	33.6
Del departamento de Guatemala	56.55
Extranjeros fuera del país	9.85
Total	100

Fuente: Instituto de turismo, 2012

Tabla 37. Total de consumidores no habitantes del área de estudio y la ciudad

No.	año	Población base			Total de consumidores no habitantes					
		Pais	Depto. Guate	Ciudad	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21	Ciudad total
1	1977	6,551,000	1,197,651	724,000	14,372	23,953	41,918	47,906	2,395	677,272
2	1978	6,724,000	1,221,124	737,000	14,653	24,422	42,739	48,845	2,442	690,545
3	1979	6,903,000	1,245,057	742,000	14,941	24,901	43,577	49,802	2,490	704,079
4	1980	6,916,831	1,269,458	748,000	15,234	25,389	44,431	50,778	2,539	717,879
5	1981	7,277,000	1,294,338	754,243	15,532	25,887	45,302	51,774	2,589	731,948
6	1982	7,473,000	1,319,706	773,000	15,836	26,394	46,190	52,788	2,639	746,294
7	1983	7,673,000	1,345,571	778,000	16,147	26,911	47,095	53,823	2,691	760,920
8	1984	7,876,000	1,398,000	781,000	16,776	27,960	48,930	55,920	2,796	790,569
9	1985	7,963,356	1,460,000	791,000	17,520	29,200	51,100	58,400	2,920	825,630
10	1986	8,281,000	1,500,000	800,000	18,000	30,000	52,500	60,000	3,000	848,250
11	1987	8,483,000	1,568,000	806,000	18,816	31,360	54,880	62,720	3,136	886,704
12	1988	8,688,000	1,610,000	814,000	19,320	32,200	56,350	64,400	3,220	910,455
13	1989	8,899,000	1,734,000	816,000	20,808	34,680	60,690	69,360	3,468	980,577
14	1990	9,197,345	1,820,000	817,300	21,840	36,400	63,700	72,800	3,640	1,029,210
15	1991	9,385,000	1,935,000	818,000	23,220	38,700	67,725	77,400	3,870	1,094,243
16	1992	9,619,000	2,052,000	820,000	24,624	41,040	71,820	82,080	4,104	1,160,406
17	1993	9,860,000	2,110,000	821,500	25,320	42,200	73,850	84,400	4,220	1,193,205
18	1994	10,106,000	2,180,000	823,301	26,160	43,600	76,300	87,200	4,360	1,232,790
19	1995	10,612,000	2,240,000	832,000	26,880	44,800	78,400	89,600	4,480	1,266,720
20	1996	10,621,228	2,305,000	842,000	27,660	46,100	80,675	92,200	4,610	1,303,478
21	1997	10,871,000	2,350,000	850,000	28,200	47,000	82,250	94,000	4,700	1,328,925
22	1998	11,136,000	2,398,000	866,000	28,776	47,960	83,930	95,920	4,796	1,356,069
23	1999	11,408,000	2,436,000	880,000	29,232	48,720	85,260	97,440	4,872	1,377,558
24	2000	12,221,706	2,600,000	901,000	31,200	52,000	91,000	104,000	5,200	1,470,300
25	2001	12,258,600	2,687,000	912,000	32,244	53,740	94,045	107,480	5,374	1,519,499
26	2002	12,288,600	2,710,000	923,184	32,520	54,200	94,850	108,400	5,420	1,532,505
27	2003	12,300,000	2,734,000	933,408	32,808	54,680	95,690	109,360	5,468	1,546,077
28	2004	12,400,000	2,750,000	943,632	33,000	55,000	96,250	110,000	5,500	1,555,125
29	2005	12,700,000	2,820,000	953,856	33,840	56,400	98,700	112,800	5,640	1,594,710
30	2006	12,987,829	2,975,417	964,080	35,705	59,508	104,140	119,017	5,951	1,682,598
31	2007	13,320,000	2,985,000	974,304	35,820	59,700	104,475	119,400	5,970	1,688,018
32	2008	13,677,815	2,994,047	980,160	35,929	59,881	104,792	119,762	5,988	1,693,134
33	2009	14,017,067	3,049,601	984,655	36,595	60,992	106,736	121,984	6,099	1,724,549
34	2010	14,361,666	3,103,685	988,150	37,244	62,074	108,629	124,147	6,207	1,755,134
35	2011	14,713,763	3,156,284	990,750	37,875	63,126	110,470	126,251	6,313	1,784,879
36	2012	15,072,375	3,207,587	992,541	38,491	64,152	112,266	128,303	6,415	1,813,890
37	2013	15,438,384	3,257,616	993,552	39,091	65,152	114,017	130,305	6,515	1,842,182
38	2014	15,806,675	3,306,397	993,815	39,676.8	66,128	115,724	132,256	6,613	1,869,768

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, cámara de comercio, 2016

La demanda del agua, es ejercida directamente por la población y para este análisis, la población se dividió en la población base y la población flotante, y esta última se subdividió todavía en dos grandes grupos así:

- Población consumidora actual y potencial
- Población consumidora temporal
- Población de consumidores – No Habitantes

Entonces uno de los retos más importantes de esta ecuación es definir a la población flotante, que para caso particular ya fue definida en la sección 2.3.2 y a continuación solo se procede a indicar como se realizó.

#### Población consumidora actual y potencial

Este sector está compuesto por los habitantes directos de cada área de estudio, o sea las familias que actualmente viven en las zonas de la capital estudiadas, y por lo tanto es la población que demanda el agua directamente para todas sus actividades tales como, de higiene personal (lavado de manos, de dientes, bañarse, lavado de desechos) preparación de alimentos, bebida, limpieza del hogar, lavado de ropa, atención del jardín y plantas ornamentales, lavado del vehículo y otras más. En esta investigación se le denominó habitantes directos (hab.d) y corresponde a las zonas 11, 12, 13, 14 y 21.

#### Población consumidora temporal

Está conformado por todas las personas que trabajan durante la jornada regular de los comercios, instituciones, empresas, industrias localizados en cada área de estudio, también llamados en esta investigación habitantes empleados (hab.e) como se estableció anteriormente en este sector debe considerar el doble de lo calculado para considerar a la población económicamente activa PEA.

### Población de consumidores – No Habitantes

Este segmento de mercado enfatiza a compradores de paso, personas que trabajan en el sector informal que son de otras ciudades o de otras zonas, pero que por razones de compras, tramites, estudios, visitan el área mencionada periódicamente, también aquí ubicamos las personas que visitan hospitales como el hospital Roosevelt, mercados cantonales como el guarda, centros de estudio como la USAC en la zona 12, el CUM en la zona 11, museos, zoológicos, aeropuerto, en la zona 13, y todos los consumidores y clientes de comercios. En esta investigación se les denominó habitantes ambulatorios (hab.a) para el cálculo de este segmento se consideró datos de la cámara de comercio, el ministerio de turismo y a los referenciado por los asesores financieros de EMPAGUA.

### Los requerimientos mínimos de agua

Según la OMS (2012) lo define como un indicador que mide la cantidad de agua consumida por habitante al día en la ciudad.

Este indicador es de gran relevancia puesto que muestra el uso racional del recurso y da una idea de la escasez de agua que se vive en un determinado lugar, frente a los desafíos relacionados con el cambio climático en las ciudades, es de mucha utilidad.

Según el Pacific Institute World's Water (2001), reporta que el valor mínimo de agua que necesita una persona al día, para el sostenimiento de la vida en condiciones climáticas moderadas y asociadas a una actividad vital media debe ser no menor a 55 litros de agua por persona al día, excluyendo de este valor el cultivo de alimentos, distribuidos de la siguiente manera reportados en la siguiente tabla.

Tabla 38. *Requerimientos mínimos de agua*

Litros / habitante / día	
Bebida	5
Servicios de saneamiento	25
Higiene	15
Preparación de alimentos	10
<b>Total</b>	<b>55</b>

Fuente: Pacific Institute World's Water, 2001

Debido a que estas cantidades de agua parecen ser bastante pequeñas para ser manejadas en un hogar, la OMS ha generado guías más detalladas sobre las jerarquías que deben prevalecer en cuanto al consumo del agua así:

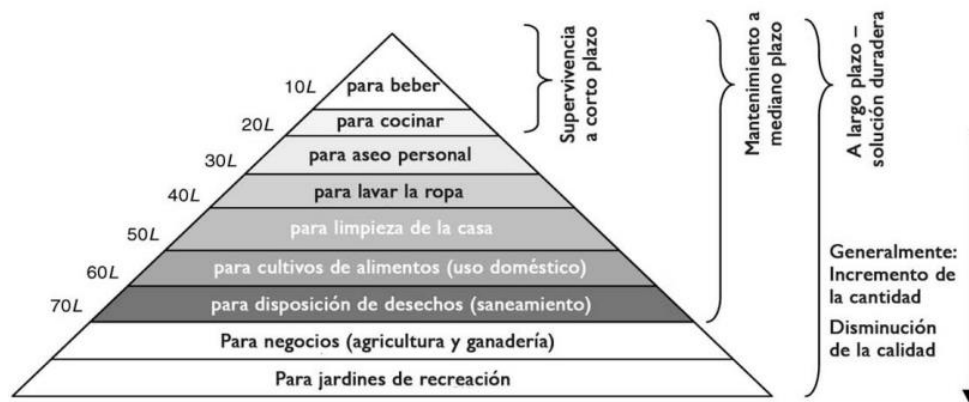


Figura 39. Jerarquías de las necesidades del agua. Fuente OMS, 2009

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que **la cantidad media** óptima de agua para consumo doméstico humano (beber, limpieza del hogar, higiene personal y cocinar) es de 100 litros por habitante al día. Sin embargo, el consumo de agua en algunos países desarrollados es de 300 litros diarios por persona, frente a los 100 sugeridos por la Organización Mundial de la Salud como el mínimo necesario para cubrir las necesidades vitales e higiénicas,



otras localidades como en costa rica, reporta a febrero de 2016 una demanda en el área rural 200 L/p/d, en el área urbana 300 L/p/d, y para el sector turístico 350.

A manera de resumen se presenta la siguiente tabla que recoge mucha de la información anterior:

Tabla 39. *Requerimientos mínimos de agua según la condición*

Necesidades de agua	Niveles de requerimientos de agua en L/hab./dia					
	minimo vital	minimo deseable domestico	Mediano optimo	largo plazo	empleados (8 hr/dia)	clientes restaurante
bebida	5	4	5	10	2	
cocinar	10	4	10	20		
aseo personal	15	30	30	30		
lavar ropa		20	30	40		
limpieza de la casa			20	50		
saneamiento (lavado manos+inodoro)	25	40	50	70	15	15
jardin				40		
derrames excesos		2	2	10		
total	55	100	147	270	17	15

Fuente: Elaboración propia con datos de la OMS, 2012

Por lo tanto, la demanda de agua es función de una serie de factores inherentes a la propiedad localidad que se abastece y varía de una ciudad a otra, así como podrá variar de un sector de distribución a otro, en una misma ciudad.

Los principales factores que influyen el consumo de agua en una localidad pueden ser así resumidos: Clima, nivel de vida de la población, costumbres de la población, sistema de provisión y cobranza (servicio médico o no), calidad del agua suministrada, costo del agua (tarifa), presión en la red de distribución, consumo comercial, consumo industrial, consumo público, perdidas en el sistema, existencia de red de alcantarillados y otros factores.

Para el caso de la ciudad de Guatemala, las zonas, 13 y 14 son mejores atendidas que las 11, 12 y no digamos la 21 por su clasificación según el POT. En algunas publicaciones se lee que Guatemala aún no está por debajo de los 1,000 m<sup>3</sup>/hab./años equivalentes a 2.7 m<sup>3</sup>/hab./día, pero este parámetro representa un umbral, de estrés hídrico, mas no una demanda como la descrita anteriormente.

En cuanto a los requerimientos de agua debe de considerarse que el 70 % del cuerpo humano es agua, y se requiere ingerir aproximadamente 1.5 litros de agua diaria para realizar adecuadamente todas las funciones vitales.

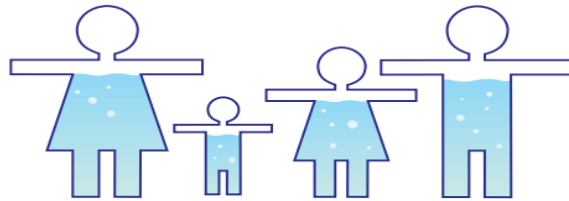


Figura.37. Proporción de agua en el cuerpo, Fuente: EMPAGUA, 2015

También es importante hacer énfasis en cuanto al consumo del agua dentro del hogar, para considerarlo dentro de los requerimientos, para tal efecto se presenta la presente figura que da una idea sobre los gastos mayoritarios dentro del hogar.

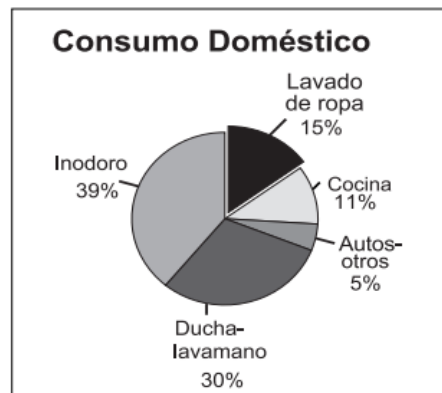


Figura 38. Consumo del agua en el hogar, Fuente: FLACSO, 2014

Como puede observarse la descarga de los inodoros, lavado de manos y ducha (agua destinada para el saneamiento ambiental) requiere un volumen considerable de agua (hasta 70 %).

#### 4.4 Índice de demanda de agua

Tabla 40. *Valores medios de demanda de agua en ciudad Guatemala*

Demanda media L/hab./día			
Año	Rmm.hab.d	Rmm.hab.e	Rmm.hab.a
1977	170	10	6
1978	180	10	6
1979	188	10	6
1980	192	11	6
1981	190	11	7
1982	195	11	7
1983	198	11	7
1984	205	11	7
1985	200	12	7
1986	190	12	8
1987	210	12	8
1988	217	12	8
1989	221	12	8
1990	225	12	8
1991	212	12	8
1992	197	12	8
1993	175	13	8
1994	162	13	8
1995	156	13	9
1996	147	13	9
1997	152	13	9
1998	159	14	9
1999	165	14	9
2000	168	15	9
2001	164	15	10
2002	163	15	10
2003	166	16	10
2004	171	16	11
2005	168	16	11
2006	160	17	11
2007	218	17	12
2008	222	17	12
2009	240	18	12
2010	256	18	13
2011	280	20	13
2012	275	20	13
2013	260	22	14
2014	250	22	14
2015	230	22	14
promedio	197	14	9

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE y cámara de comercio, 2015

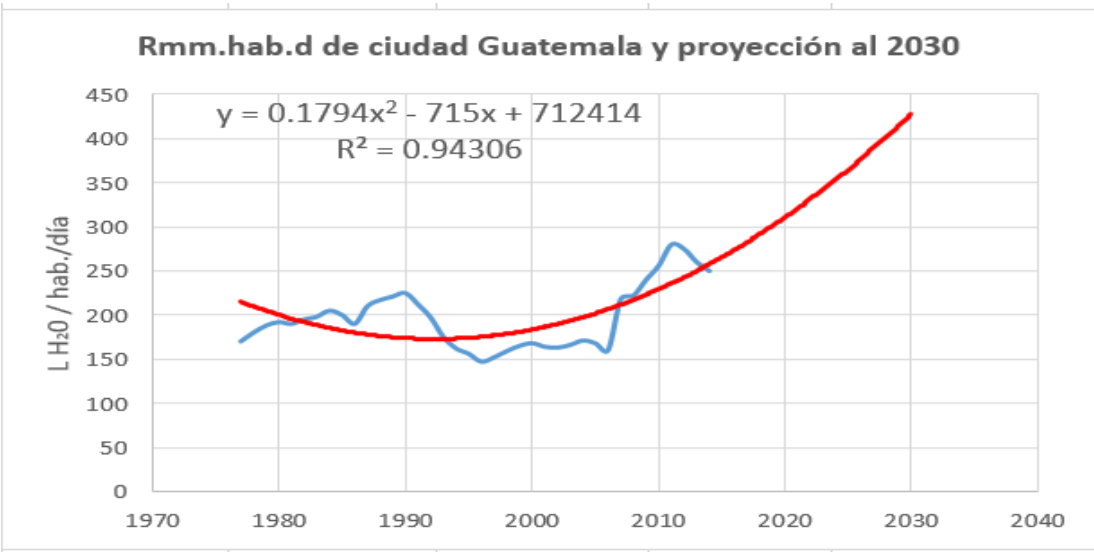


Figura 39. Requerimientos mínimos medios de agua en ciudad Guatemala  
Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE y cámara de comercio, 2015

Hasta este punto de la investigación es importante conocer que opinan los personeros de EMPAGUA, respecto a que datos utilizan para calcular la demanda de agua de la población, y lo que indicaron fue que desde el año de 1980 se contrató los servicios de la empresa Tahal Consulting Engineers Ltd. La cual generó el PLAMABAG (Plan Maestro de Abastecimiento de Agua a la Ciudad de Guatemala).

Después de una serie de consideraciones que justificaron los valores usados, recomendaron tres medidas de dotación de agua para igualar de alguna manera el déficit en el abastecimiento de agua que el estudio evidenció.

El primero se llamó emergencia I que consistió en aumentar la explotación de agua subterránea del valle de la Ciudad, mediante la perforación de pozos para extraer un caudal adicional de 1 m<sup>3</sup>/s.

El segundo llamado emergencia II recomendó la ampliación de la capacidad del acueducto de Xaya - Pixcaya de 1 m<sup>3</sup>/s a 3 m<sup>3</sup>/s, también la ampliación de la planta de tratamiento de agua Lo de Coy de 1 m<sup>3</sup>/s a 3 m<sup>3</sup>/s.

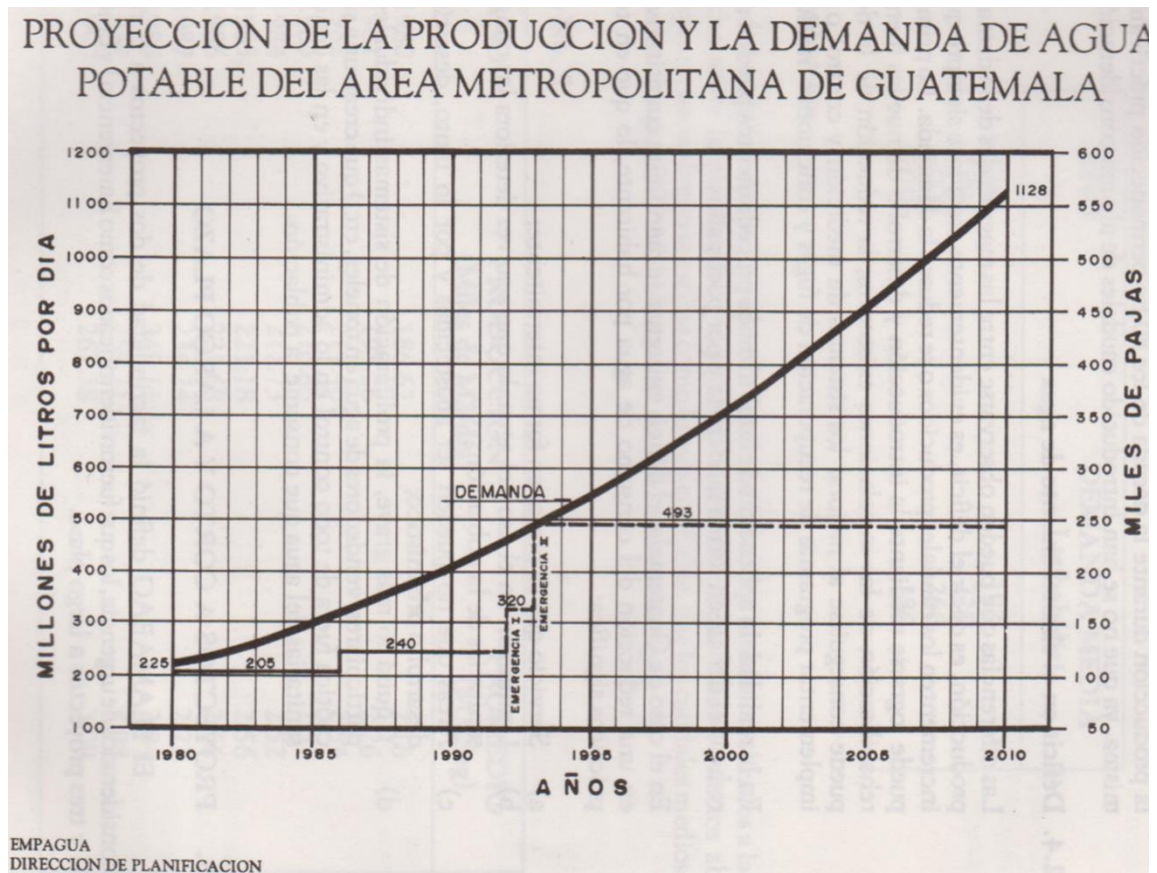


Figura 40. Proyección de la demanda de agua operada por EMPAGUA Fuente EMPAGUA, 20015

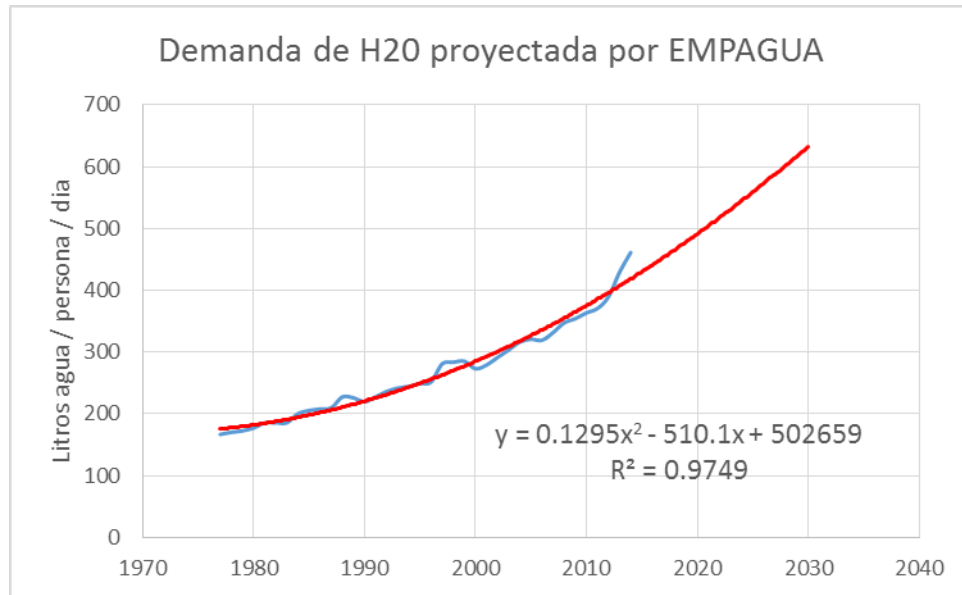
La tercera medida consistió en recomendar la captación de agua subterránea de la cuenca del río Guacalote y la captación de los caudales superficiales en verano de la cuenca alta del río Motagua, con una estimación del proyecto de unos 140 millones de dólares, los cuales nunca se ejecutaron.

Con los datos de la población de la ciudad por año y la curva de demanda de la gráfica anterior se genera la siguiente tabla de demanda usada por EMPAGUA.

Tabla 41. *Valores medios de demanda de agua usados por EMPAGUA*

<b>Año</b>	<b>Lt/person/dia</b>
1977	167
1978	170
1979	173
1980	177
1981	185
1982	186
1983	186
1984	200
1985	205
1986	208
1987	210
1988	227
1989	226
1990	220
1991	227
1992	236
1993	242
1994	244
1995	249
1996	252
1997	281
1998	284
1999	285
2000	273
2001	279
2002	292
2003	304
2004	316
2005	321
2006	319
2007	332
2008	347
2009	354
2010	363
2011	371
2012	390
2013	430
2014	461

Fuente EMPAGUA, 20015



*Figura 41.* Requerimientos mínimos medios de agua utilizados por EMPAGUA para la ciudad de Guatemala como referencia Fuente elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2015

Debido a que la cantidad de agua distribuida por EMPAGUA a cada zona de la capital no es la misma en cada sector, puesto que según el POT la municipalidad de la ciudad de Guatemala, ha declarado algunas zonas de atención preferencial por estar clasificadas como zonas turísticas y de pujanza comercial, tal es el caso de las zonas 9, 10, 13, 14 y 15 y por lo tanto la dotación de agua para estas zonas cuenta con mayores demandas de agua y mayor constancia en el suministro.

Situación que quedó evidenciado con los suministros para las zonas 12 y 21 en los cuales el abastecimiento es menor y su racionamiento es evidente.

Con la ayuda de las alcaldías auxiliares de las diferentes zonas de la capital involucradas en la de estudio (11, 12, 13, 14 y 21) se localizaron 3 viviendas al menos por cada sector, con propietarios permanentes con más de 40 años de residir en la misma propiedad, que colaboraron con esta investigación

con respecto a proporcionar información sobre el abastecimiento de agua que han tenido desde 1977 hasta el 2015, algunos de ellos mostrando recibos de consumo que han guardado a lo largo de estos años y otros con registros de sus mediciones de sus cisternas, el resumen de la información capturada se presenta en los cuadros siguientes.

Para calcular el requerimiento de agua en el hogar, se mide la cantidad de litros o metros cúbicos utilizados durante todo un día, por medio de leer el contador al inicio y al final de la prueba, una vez conocido este dato, el indicador puede ser calculado fácilmente dividiendo dicha cifra de consumo de agua por el número de habitantes en el hogar.

Tabla 42. *Requerimientos de agua en algunas zonas de ciudad de Guatemala*

Zona	Requerimientos mínimos de agua en Litros H <sub>2</sub> O / persona / día					
	Rm.hab.d	Rm.hab.e	Rm.hab.a	clientes restaurante	hotel 3 estrellas	estudiantes
11	160	17	12	20	250	20
12	140	12	10	15	230	20
13	240	20	15	20	350	25
14	280	25	20	20	350	30
21	120	10	5	10	125	10
promedio	188	16.8	12.4	17	261	21

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, 2015

Obsérvese que el valor promedio de la demanda de agua en la ciudad de Guatemala desde 1977 hasta el 2014 da un valor promedio de 197 L/hab./día mientras que el promedio de la demanda de las zonas de estudio da 188 L/hab./día.



Tabla 43. Valores de demanda de agua en la zona 11 en L H<sub>2</sub>O / persona / día

año	Rm.hab.d.z11	Rm.hab.e.z11	Rm.hab.a.z11
1977	160	17	12
1978	160	17	12
1979	160	17	12
1980	165	19	13
1981	165	19	13
1982	165	19	13
1983	170	20	14
1984	170	20	14
1985	170	20	14
1986	170	20	14
1987	175	22	15
1988	175	22	15
1989	175	22	15
1990	180	23	16
1991	180	23	16
1992	180	23	16
1993	180	23	16
1994	185	24	17
1995	185	24	17
1996	185	24	17
1997	185	24	17
1998	175	20	15
1999	175	20	15
2000	175	20	15
2001	170	18	13
2002	170	18	13
2003	170	18	13
2004	170	18	13
2005	165	17	12
2006	165	17	12
2007	165	17	12
2008	170	20	15
2009	170	20	15
2010	170	20	15
2011	170	20	15
2012	170	20	15
2013	175	21	15
2014	175	21	15
promedio	172	20	14

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, cámara de comercio, y entrevistas. 2015

Tabla 44. Valores de demanda de agua en la zona 12 en L H<sub>2</sub>O / persona / día

año	Rm.hab.d.z12	Rm.hab.e.z12	Rm.hab.a.z12
1977	140	12	10
1978	140	12	10
1979	140	12	10
1980	145	13	11
1981	145	13	11
1982	145	13	11
1983	145	13	11
1984	143	14	12
1985	143	14	12
1986	143	14	12
1987	145	12	12
1988	145	12	12
1989	145	12	12
1990	145	12	12
1991	145	12	12
1992	150	13	11
1993	150	13	11
1994	150	13	11
1995	150	13	11
1996	150	13	11
1997	150	13	11
1998	150	13	11
1999	150	13	11
2000	155	14	12
2001	155	14	12
2002	155	14	12
2003	155	14	12
2004	155	14	12
2005	155	14	12
2006	155	14	12
2007	160	15	13
2008	160	15	13
2009	160	15	13
2010	160	15	13
2011	160	16	13
2012	160	16	13
2013	160	16	13
2014	160	16	13
promedio	151	14	12

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, cámara de comercio, y entrevistas. 2015

Tabla 45. Valores de demanda de agua en la zona 13 en L H<sub>2</sub>O / persona / día

año	Rm.hab.d.z13	Rm.hab.e.z13	Rm.hab.a.z13
1977	240	20	15
1978	240	20	15
1979	240	20	15
1980	245	21	16
1981	245	21	16
1982	245	21	16
1983	245	21	16
1984	243	22	17
1985	243	22	17
1986	243	22	17
1987	245	22	17
1988	245	22	17
1989	245	22	17
1990	245	22	17
1991	245	22	17
1992	250	23	18
1993	250	23	18
1994	250	23	18
1995	250	23	18
1996	250	23	18
1997	250	23	18
1998	250	23	18
1999	250	23	18
2000	255	24	19
2001	255	24	19
2002	255	24	19
2003	255	24	19
2004	255	24	19
2005	255	24	19
2006	255	24	19
2007	260	24	20
2008	260	24	20
2009	260	24	20
2010	260	24	20
2011	260	24	20
2012	260	24	20
2013	260	24	20
2014	260	24	20
promedio	251	23	18

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, cámara de comercio, y entrevistas. 2015

Tabla 46. Valores de demanda de agua en la zona 14 en L H<sub>2</sub>O / persona / día

año	Rm.hab.d.z14	Rm.hab.e.z14	Rm.hab.a.z14
1977	280	25	20
1978	280	25	20
1979	280	25	20
1980	285	26	21
1981	285	26	21
1982	285	26	21
1983	285	26	21
1984	283	27	22
1985	283	27	22
1986	283	27	22
1987	285	27	22
1988	285	27	22
1989	285	27	22
1990	285	27	22
1991	285	27	22
1992	290	28	23
1993	290	28	23
1994	290	28	23
1995	290	28	23
1996	290	28	23
1997	290	28	23
1998	290	28	23
1999	290	28	23
2000	295	29	23
2001	295	29	23
2002	295	29	23
2003	295	29	23
2004	295	29	23
2005	295	29	23
2006	295	29	23
2007	300	30	23
2008	300	30	23
2009	300	30	23
2010	300	30	23
2011	300	30	23
2012	300	30	23
2013	300	30	23
2014	300	30	23
promedio	291	28	22

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, cámara de comercio, y entrevistas. 2015

Tabla 47. Valores de demanda de agua en la zona 21 en L H<sub>2</sub>O / persona / día

1977	120	10	5
1978	120	10	5
1979	120	10	5
1980	125	11	6
1981	125	11	6
1982	125	11	6
1983	125	11	6
1984	123	12	7
1985	123	12	7
1986	123	12	7
1987	125	13	8
1988	125	13	8
1989	125	13	8
1990	125	13	8
1991	125	13	8
1992	130	14	9
1993	130	14	9
1994	130	14	9
1995	130	14	9
1996	130	14	9
1997	130	14	9
1998	130	14	9
1999	130	14	9
2000	135	15	10
2001	135	15	10
2002	135	15	10
2003	135	15	10
2004	135	15	10
2005	135	15	10
2006	135	15	10
2007	140	15	10
2008	140	15	10
2009	140	15	10
2010	140	15	10
2011	140	15	10
2012	140	15	10
2013	140	15	10
2014	140	15	10
promedio	131	13	8

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, cámara de comercio, y entrevistas. 2015

Tabla 48. *Valores promedio de demanda de agua en la zona de estudio*

año	Rmm.hab.d.ze	Rmm.hab.e.ze	Rmm.hab.a.ze
1977	188	16.8	12.4
1978	188	16.8	12.4
1979	188	16.8	12.4
1980	193	18	13.4
1981	193	18	13.4
1982	193	18	13.4
1983	194	18.2	13.6
1984	192.4	19	14.4
1985	192.4	19	14.4
1986	192.4	19	14.4
1987	195	19.2	14.8
1988	195	19.2	14.8
1989	195	19.2	14.8
1990	196	19.4	15
1991	196	19.4	15
1992	200	20.2	15.4
1993	200	20.2	15.4
1994	201	20.4	15.6
1995	201	20.4	15.6
1996	201	20.4	15.6
1997	201	20.4	15.6
1998	199	19.6	15.2
1999	199	19.6	15.2
2000	203	20.4	15.8
2001	202	20	15.4
2002	202	20	15.4
2003	202	20	15.4
2004	202	20	15.4
2005	201	19.8	15.2
2006	201	19.8	15.2
2007	205	20.2	15.6
2008	206	20.8	16.2
2009	206	20.8	16.2
2010	206	20.8	16.2
2011	206	21	16.2
2012	206	21	16.2
2013	207	21.2	16.2
2014	207	21.2	16.2
promedio	199	20	15

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, cámara de comercio, y entrevistas. 2015

## Demanda de agua del sector privado (Dsp)

Debido a que existe mucho hermetismo en cuanto a revelar información acerca del consumo de agua, que cada industria utiliza para la producción, probable mente porque el sector privado reconoce que el recurso agua es un bien común que le pertenece a toda la sociedad y que ellos están haciendo uso para beneficiarse y lucrar con el mismo, además por no existir una ley de aguas que les obligue a reportar dichos consumos, se hace necesario buscar esta información por fuentes secundarias que permitan estimar dicho consumo, para tal efecto se procedio como punto de partida el balance hídrico realizado por el INSIVUMEH en el año 2006.

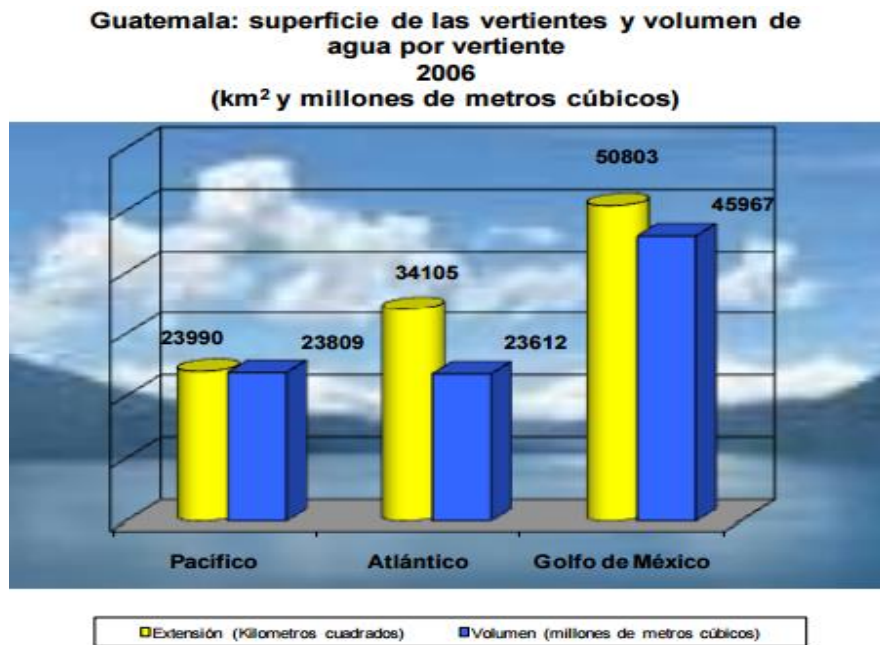


Figura 42. Volúmenes de agua por vertiente al 2006. Fuente: INSIVUMEH, INE compendio estadístico ambiental, 2010

De la gráfica anterior se extraen valores por cada vertiente para realizar el análisis del balance hídrico nacional a continuación:

Tabla 49. *Volumen de agua disponible al 2006*

Vertiente	Millones de m <sup>3</sup>
Pacífico	23, 809
Atlántico	23, 612
Golfo de México	45, 967
Total	93, 389

Fuente: INE, CEA, 2010

Con la información anterior se genera el siguiente cuadro muy conocido por muchos, y utilizado para el análisis siguiente:

Descripción	Volumen anual	
	Millones de m <sup>3</sup>	%
<b>Caudal bruto disponible</b>	<b>93,389</b>	<b>100.0</b>
Superficial	53,365	57.1
Subterránea	40,024	42.9
<b>Caudal no disponible</b>	<b>60,702</b>	<b>65.0</b>
Caudal ecológico <sup>a</sup>	23,347	25.0
Reducción por contaminación	37,355	40.0
<b>Caudal neto disponible</b>	<b>32,687</b>	<b>35.0</b>
<b>Uso y disponibilidad</b>	<b>32,687</b>	<b>100.0</b>
<b>Uso del agua</b>	<b>3,141</b>	<b>9.6</b>
Doméstico	326	1.0
Riego	1,886	5.8
Industrial	929	2.8
Hidroeléctrico <sup>b</sup>	4,511	13.8
<b>Excedente</b>	<b>29,546</b>	<b>90.4</b>

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -IINSIVUMEH-; Universidad Rafael Landívar -URL, Perfil Ambiental de Guatemala 2006

a. Uso por los propios procesos ecológicos.

b. Dato sólo de referencia, no es un uso consultivo.

Figura 43. Estimaciones del balance hídrico 2006. Fuente: Compendio estadístico ambiental, 2010

Ahora de acuerdo con el criterio desarrollado por Colin Clark el cual indica que para analizar el consumo de cualquier actividad económica llámese, industria, comercio negocio, primero debe ser ubicado de acuerdo a los sectores



primario, secundario y terciario de una economía en un periodo dado, para lo cual los agrupa de la siguiente manera:

- Sector Primario: Agricultura, silvicultura, caza y pesca, la explotación de minas y canteras.
- Sector Secundario: Industria manufacturera, construcción y electricidad, gas, agua y servicios sanitarios.
- Sector Terciario: Vivienda, comercio, mayorista, bancos, compañías de seguros, bienes inmuebles, servicios privados, administración pública y defensa, transportes, almacenajes y comunicaciones.

Con datos de la cámara de industria por medio de la unidad de producción más limpia y atendiendo los criterios de clasificación de la económica se generó la tabla que distribuye el consumo del agua a nivel nacional según el sector al que corresponda.

El objetivo de la presente investigación se centra en determinar el consumo del agua del sector privado en la cuenca urbana del sur de la ciudad Capital de Guatemala, y en ella se determinó según DINEL (Directorio nacional de empresas y locales) que los sectores con mayor influencia en cuanto al consumo de agua son el de manufactura, construcción, comercio, hotelería, finanzas, enseñanza, servicios, alquileres y otros que se detallan en la tabla.

También se hizo uso de fuentes secundarias, para establecer algunos parámetros sobre ubicación de la industria en el país, principalmente durante 1970, tal es el caso que según AVANCSO (2003) indica que, “en 1968 el 90 % de la industria está ubicada en el municipio de Guatemala, Mixco y Villanueva, y el 50 % de esta se ubica en el municipio Guatemala.

Tabla 50. Total de agua utilizada del balance hídrico nacional

Descripción	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Utilización nacional de agua (millones de m <sup>3</sup> )	28,103	26,843	29,490	29,226	30,829	32,022
Utilización nacional de agua, sin beneficiado de café (millones de m <sup>3</sup> )	19,337	20,435	21,898	22,762	24,227	25,760
Producción nacional de café (quintales)	6,351,858	4,642,562	5,500,858	4,683,778	4,783,751	4,537,222

Fuente: IARNA (SCAEI) 2011

Para el año específico 2003 se tiene un desglose, del sector de manufactura, el cual es importante, pues se tomó como punto de referencia, para descontar algunos rubros que no se dan en el sector de la cuenca en estudio, tal es el caso, del beneficiado de café, la industria del azúcar, que juntas alcanzan un valor del 89.36 %

Tabla 51. % de utilización del agua del sector manufactura al 2003

Industrias manufactureras	Utilización de agua	
	Volumen (metros cúbicos)	Porcentaje
Beneficiado de café	7,591,184,950.80	86.86
Elaboración de otros productos alimenticios no considerados previamente	687,756,805.01	7.87
Elaboración de azúcar	218,758,014.48	2.5
Producción de aguas minerales	76,060,252.40	0.87
Fabricación de prendas de vestir, excepto prendas de piel	19,337,213.44	0.22
Elaboración de otros productos de molinería no considerados previamente	10,506,187.93	0.12
Matanza de ganado vacuno	10,417,872.57	0.12
<i>Subtotal</i>	<i>8,624,380,482.43</i>	<i>98.56</i>
Otras industrias manufactureras	115,569,084.74	1.44
<b>Total</b>	<b>8,739,949,567.17</b>	<b>100</b>

Fuente: IARNA (SCAEI) 2011

Con todos los datos recopilados anteriormente se genera la siguiente tabla

Tabla 52. *Distribución del agua por sector a nivel nacional, en millones de m<sup>3</sup>*

Actividad económica	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010	
Caudal neto Disponible para Utilización	29,747.00	%	28,103.48	%	26,842.55	%	29,489.65	%	29,225.62	%	30,829.30	%	31,732.30	%	34,228	%	35,650	%	34,617	%	35,139	%
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	5,468.69	33.64	5,256.75	27.71	5,589.51	32.53	5,987.06	30.98	6,541.39	34.28	6,896.16	33.98	5,042.00	27.50	5,490.10	27.40	6,003.62	28.59	6,252.08	31.04	6,496.56	31.89
Pesca	342.09	2.10	328.08	1.73	387.84	2.26	483.27	2.50	389.10	2.04	382.68	1.89	427.06	2.33	535.24	2.67	527.52	2.51	511.9	2.54	514.62	2.53
Explotación de minas y canteras	4.76	0.03	4.57	0.02	5.17	0.03	5.89	0.03	6.49	0.03	7.99	0.04	6.13	0.03	6.93	0.03	6.22	0.03	6.34	0.03	6.19	0.03
Industrias de manufactura con agroindustria	<b>7,139.28</b>	<b>43.91</b>	<b>9,774.24</b>	<b>51.53</b>	<b>7,448.03</b>	<b>43.35</b>	<b>8,739.95</b>	<b>45.22</b>	<b>7,658.34</b>	<b>40.14</b>	<b>7,882.77</b>	<b>38.85</b>	<b>7,473.39</b>	<b>40.76</b>	<b>8,185.24</b>	<b>40.85</b>	<b>8,296.74</b>	<b>39.51</b>	<b>7,604.04</b>	<b>37.75</b>	<b>7,643.17</b>	<b>37.51</b>
Hidroelec., sumini. de elec. gas y agua	2,882.48	17.73	3,090.03	16.29	3,208.24	18.67	3,546.69	18.35	3,905.46	20.47	4,511.25	22.23	4,765.13	25.99	5,184.56	25.88	5,516.04	26.26	5,110.16	25.37	5,057.33	24.82
Construcción	65.44	0.40	68.45	0.36	81.82	0.48	88.15	0.46	87.78	0.46	109.05	0.54	93.17	0.51	104.36	0.52	102.94	0.49	87.29	0.43	76.26	0.37
Comercio al por mayor y al por menor	32.72	0.20	35.38	0.19	40.98	0.24	42.39	0.22	42.85	0.22	47.15	0.23	51.33	0.28	44.36	0.22	44.94	0.21	47.27	0.23	48.22	0.24
Servicios y finanzas, alquiler e inmobiliarias,	39.68	0.24	37.49	0.20	37.29	0.22	40.81	0.21	47.17	0.25	42.83	0.21	52.33	0.29	51.71	0.26	59.3	0.28	68.16	0.34	69.85	0.34
Consumo final de los hogares	282.60	1.74	373.35	1.97	382.92	2.23	392.74	2.03	402.56	2.11	412.62	2.03	422.93	2.31	433.51	2.16	444.35	2.12	455.45	2.26	461.68	2.27
total utilizado	16,257.75	54.65	18,968.34	67.49	17,181.79	64.01	19,326.95	65.54	19,081.13	65.29	20,292.49	65.82	18,333.48	57.78	20,036	58.54	21,001.66	58.91	20,142.69	58.19	20,373.88	57.98
Exedente	13,489.25	45.35	9,135.14	32.51	9,660.76	35.99	10,162.71	34.46	10,144.48	34.71	10,536.81	34.18	13,398.82	42.22	14,192	41.46	14,648.74	41.09	14,473.81	41.81	14,765.52	42.02
<b>Total</b>	<b>29,747.00</b>	<b>100</b>	<b>28,103.48</b>	<b>100</b>	<b>26,842.55</b>	<b>100</b>	<b>29,489.65</b>	<b>100</b>	<b>29,225.62</b>	<b>100</b>	<b>30,829.30</b>	<b>100</b>	<b>31,732.30</b>	<b>100.00</b>	<b>34,228.00</b>	<b>100.00</b>	<b>35,650.40</b>	<b>100.00</b>	<b>34,616.50</b>	<b>100.00</b>	<b>35,139.40</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia con datos del IRNA, Producción más Limpia, y el sistema de contabilidad ambiental, 2015

Como puede observarse de la anterior tabla, la cantidad de agua como excedente, tiende a ir disminuyendo de un 45 % a un 42 % en aproximadamente 14 años. Y la cantidad de agua utilizada para generar energía se incrementa en ese mismo periodo de tiempo de 2, 883 millones de m<sup>3</sup> hasta 5, 058 en el año 2014, y según proyecciones de la comisión nacional de energía eléctrica estima que para el año 2025 la demanda de energía necesitara aproximadamente 15,000 millones de m<sup>3</sup> de agua, para lo cual el excedente de agua para esa fecha, apenas llegara a unos 3,960 millones m<sup>3</sup> de agua.

Según el cuadro anterior de utilización del agua del sector manufactura al 2003, indica que el mayor consumidor de agua es la actividad económica del beneficiado de café, el cual consume aproximadamente un 86.86 %, el cual en su mayoría se encuentra fuera del área metropolitana, en fincas cafetaleras.

Del cuadro anterior sobre los quintales de café exportado se puede establecer el consumo de agua por quintal de producido:

Tabla 53. *Consumo de agua a nivel nacional por el sector manufactura por quintal de café exportado*

Actividad	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Utilización nacional del agua en beneficiado de café (millones de m3)	8,766	6,408	7,594	6,464	6,602	6,262
Producción nacional del café (quintales)	6,351,858	4,642,562	5,500,858	4,683,778	4,783,751	4,537,222
Consumo de agua por quintal beneficiado (m3 / qq.)	1,380	1,380	1,380	1,380	1,380	1,380

Fuente: IARNA, 2006

Otro rubro bien focalizado es el del sector del azúcar, ubicado en la costa sur de Guatemala, con una contribución de agua del 2.5 %; entonces en total se puede desestimar un total del 89.36 %.

Para estimar la cantidad de agua del sector manufactura para la ciudad de Guatemala, se hace uso de la investigación realizada por el IARNA, 2005, en la cual establecieron el uso del agua por departamento para el sector de manufactura por sector, el cual se presenta a continuación.

Tabla 54. Consumo anual de agua para uso industrial por departamento y sus empleados al año 2005 en m<sup>3</sup>

Departamento	Agroindustrial		Embotelladoras y de alimentos		Textiles		Otras empresas		Consumo anual (m <sup>3</sup> )
	Consumo (m <sup>3</sup> )	Empleados (No.)	Consumo (m <sup>3</sup> )	Empleados (No.)	Consumo (m <sup>3</sup> )	Empleados (No.)	Consumo (m <sup>3</sup> )	Empleados (No.)	
Guatemala	12,024,393	5,878	296,468,272	144,924	6,175,974	114,642	90,747,354	104,750	405,415,993
El Progreso	328,535	161	3,244,432	1,586	80,062	1,485	993,103	1,146	4,646,132
Sacatepéquez	1,741,237	851	21,784,045	10,649			6,667,980	7,697	30,193,262
Chimaltenango	1,281,288	626	21,651,619	10,584			6,627,445	7,650	29,560,352
Escuintla	3,942,424	1,927	45,488,264	22,236	133,436	2,477	13,923,715	16,072	63,487,839
Santa Rosa	952,752	466	21,568,853	10,544			6,602,111	7,621	29,123,716
Sololá	98,561	48	6,157,800	3,010			1,884,870	2,176	8,141,231
Totonicapán	32,854	16	5,843,289	2,856			1,788,599	2,065	7,664,742
Quetzaltenango	1,741,237	851	56,860,330	27,795	507,059	9,412	17,404,643	20,090	76,513,269
Suchitepéquez	1,314,141	642	37,112,332	18,142			11,359,886	13,113	49,786,359
Retalhuleu	229,975	112	26,534,821	12,971			8,122,167	9,375	34,886,963
San Marcos	295,682	145	22,280,642	10,892			6,819,985	7,872	29,396,309
Huehuetenango	131,414	64	13,772,284	6,732			4,215,622	4,866	18,119,320
Quiché	65,707	32	6,720,610	3,285			2,057,143	2,375	8,843,460
Baja Verapaz	657,071	321	5,909,502	2,889			1,808,867	2,088	8,375,440
Alta Verapaz	1,346,995	658	19,003,103	9,289			5,816,748	6,714	26,166,846
Petén	262,828	128	12,001,089	5,867			3,673,469	4,240	15,937,386
Izabal	361,389	177	10,130,574	4,952			3,100,915	3,579	13,592,878
Zacapa	657,071	321	6,902,695	3,374	213,498	3,963	2,112,878	2,439	9,886,142
Chiquimula	525,657	257	11,454,832	5,600			3,506,263	4,047	15,486,752
Jalapa	226,689	111	18,225,101	8,909			5,578,606	6,439	24,030,396
Jutiapa	427,096	209	14,500,626	7,088			4,438,564	5,123	19,366,286
<b>Total</b>	<b>28,644,996</b>	<b>14,001</b>	<b>683,615,115</b>	<b>334,174</b>	<b>7,110,029</b>	<b>131,979</b>	<b>209,250,933</b>	<b>241,537</b>	<b>928,621,073</b>

Fuente; IARNA, 2006

Del cuadro anterior se puede extraer la siguiente información muy importante para proyectar el consumo de agua en la industria del departamento de Guatemala

Tabla 55. *Consumo de agua en el departamento de Guatemala por tipo de industria y generación de empleo al 2005*

tipo de industria	Consumo de agua m3			Total de empleados en este tipo de industria		
	Depto. Guatemala	De todo el país	% consumo	Depto. Guatemala	De todo el país	% empleo
Embotelladoras y de alimentos	296,468,272	683,615,115	43.37	144,924	334,174	43.37
Agroindustria	12,024,393	28,644,996	41.98	5,878	14,001	41.98
Textiles	6,175,974	7,110,029	86.86	114,642	131,979	86.86
Otras empresas	90,747,354	209,250,933	43.37	104,750	241,537	43.37
suma total	405,415,993	928,621,073	43.66	370,194	721,691	51.30
Total de manufactura al 2005		928,621,073				

Fuente: Elaboración propia con datos del IARNA, 2006

En general se puede decir que el 43.66 % del consumo del agua del sector industrial se utiliza en las empresas ubicadas en el departamento de Guatemala, y la generación de empleo que esta actividad ocasiono represento el 51.3 % de todo el país.

Ahora en cuanto al pronóstico del consumo del agua, a través del tiempo, por la industria, no es tan variante, debido a dos causas fundamentales, las cuales son:

El crecimiento del mercado, dentro del sector al que pertenece, el cual es lento y paulatino por tanto predecible, este crecimiento conlleva un incremento de su producción, y por ende mayor consumo de agua.

El segundo corresponde al crecimiento económico del país, el cual varía, lentamente por décadas. Para acotar lo anteriormente dicho se comparan los pronósticos realizados por IARNA, 2005 publicado en su compendio estadístico ambiental de esa misma fecha donde publica la siguiente tabla.

Tabla 56. *Uso Actual y Potencial de Agua en Guatemala (Millones de m<sup>3</sup>)*

Uso del Agua	Uso actual	Uso potencial (Año 2025)
Oferta Hídrica Bruta o Disponibilidad Bruta (Incluye Agua Superficial y Subterránea)	84,991	84,991
Caudal Ecológico	21,248	21,248
Agua Contaminada por Descargas	33,996	33,996
Oferta Hídrica Neta o Disponibilidad Neta	29,747	29,747
Agua Potable	284	1,211
Riego	2,200	10,200
Industria	850	3,625
Energía *	2,883	15,000
<b>Uso total</b>	<b>6,217</b>	<b>30,036</b>
Excedente Hídrico	23,530	( 289)

\* El volumen solo es para fines comparativos, pues al pasar por la turbina queda disponible para usarla nuevamente.

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: IARNA, 20

Tabla 57. Agua usada en la ciudad por el sector de manufactura (millones m<sup>3</sup>)

Año	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1977	33,389.38	33.00	11,018.49	46.40	5,112.58	88.10	4,504.18	608.40	33.02	200.89	87.00	174.78	49.00	85.64
1978	32,640.53	34.00	11,097.78	46.30	5,138.27	88.50	4,547.37	590.90	34.00	200.91	86.00	172.78	49.00	84.66
1979	32,232.30	35.00	11,281.30	46.10	5,200.68	89.00	4,628.61	572.07	34.70	198.51	86.00	170.72	48.00	81.94
1980	32,111.53	36.00	11,560.15	46.00	5,317.67	89.10	4,738.04	579.63	35.10	203.45	85.00	172.93	48.00	83.01
1981	31,950.74	37.00	11,821.77	45.90	5,426.19	89.20	4,840.16	586.03	35.50	208.04	83.00	172.67	47.00	81.16
1982	31,846.63	38.00	12,101.72	45.80	5,542.59	89.30	4,949.53	593.06	35.90	212.91	83.00	176.71	46.00	81.29
1983	31,732.60	39.00	12,375.72	45.70	5,655.70	89.40	5,056.20	599.50	36.20	217.02	82.00	177.96	45.50	80.97
1984	30,899.76	41.00	12,668.90	45.60	5,777.02	89.50	5,170.43	606.59	36.50	221.40	81.00	179.34	45.20	81.06
1985	30,800.60	42.00	12,936.25	45.20	5,847.19	89.80	5,250.77	596.41	36.80	219.48	80.00	175.58	45.00	79.01
1986	30,616.02	43.00	13,164.89	45.00	5,924.20	90.60	5,367.33	556.87	36.90	205.49	79.00	162.33	44.00	71.43
1987	30,241.43	44.00	13,306.23	45.20	6,014.42	90.50	5,443.05	571.37	37.20	212.55	78.00	165.79	44.00	72.95
1988	29,826.89	45.00	13,422.10	45.40	6,093.63	90.40	5,508.64	584.99	37.25	217.91	78.00	169.97	43.00	73.09
1989	29,636.41	46.20	13,692.02	45.00	6,161.41	90.30	5,563.75	597.66	37.30	222.93	77.00	171.65	42.50	72.95
1990	29,554.54	47.10	13,920.19	44.80	6,236.24	90.20	5,625.09	611.15	37.39	228.51	77.00	175.95	42.00	73.90
1991	29,577.68	47.80	14,138.13	44.60	6,305.61	90.00	5,675.05	630.56	37.50	236.47	75.00	177.35	41.00	72.71
1992	29,827.85	48.00	14,317.37	44.50	6,371.23	89.90	5,727.74	643.49	37.80	243.22	74.00	179.98	40.00	71.99
1993	30,044.20	48.50	14,571.44	44.30	6,455.15	89.80	5,796.72	658.42	37.90	249.55	73.00	182.17	40.00	72.87
1994	29,635.87	49.20	14,580.85	44.90	6,546.80	89.70	5,872.48	674.32	37.94	255.85	72.50	185.49	39.00	72.34
1995	29,234.28	50.80	14,851.01	44.80	6,653.25	89.60	5,961.32	691.94	38.69	267.73	72.00	192.77	39.00	75.18
1996	29,576.46	51.50	15,231.88	44.30	6,747.72	89.50	6,039.21	708.51	39.40	279.18	71.00	198.22	38.00	75.32
1997	28,873.54	53.80	15,533.97	44.10	6,850.48	88.70	6,076.37	774.10	39.50	305.74	71.00	217.08	38.00	82.49
1998	29,314.12	54.00	15,829.62	43.98	6,961.87	88.80	6,182.14	779.73	39.68	309.39	70.00	216.57	36.00	77.97
1999	29,637.23	54.20	16,063.38	44.00	7,067.89	88.90	6,283.35	784.54	39.52	310.02	70.00	217.01	35.50	77.04
2000	29,747.00	54.65	16,257.75	43.91	7,139.28	88.09	6,288.99	850.29	40.31	342.72	69.00	236.48	35.00	82.77
2001	29,103.26	65.18	18,968.34	51.53	9,774.24	89.10	8,708.85	1,065.39	41.50	442.15	69.00	305.09	34.50	105.25
2002	27,683.54	62.07	17,181.79	43.35	7,448.03	89.20	6,643.64	804.39	41.60	334.62	69.00	230.89	34.00	78.50
2003	29,694.48	65.09	19,326.95	45.22	8,739.95	89.30	7,804.78	935.17	41.91	391.97	68.00	266.54	33.80	90.09
2004	28,609.54	66.70	19,081.13	40.14	7,658.34	88.90	6,808.27	850.08	41.93	356.44	67.00	238.82	33.50	80.00
2005	29,550.74	68.67	20,292.49	38.85	7,882.77	88.22	6,954.15	928.62	43.66	405.41	67.00	271.63	33.00	89.64
2006	31,732.30	57.78	18,333.48	40.76	7,473.39	86.60	6,471.96	1,001.43	41.45	415.06	66.00	273.94	32.00	87.66
2007	34,228.00	58.54	20,036.00	40.85	8,185.24	88.20	7,219.38	965.86	42.45	409.97	66.00	270.58	31.80	86.04
2008	35,650.40	58.91	21,001.66	39.51	8,296.74	88.60	7,350.91	945.83	42.93	406.04	66.00	267.99	31.00	83.08
2009	34,616.50	58.19	20,142.69	37.75	7,604.04	87.10	6,623.02	981.02	42.30	414.97	65.00	269.73	30.50	82.27
2010	35,139.40	57.98	20,373.88	37.51	7,643.17	86.80	6,634.22	1,008.95	42.76	431.47	65.00	280.45	30.00	84.14
2011	35,915.87	62.00	22,267.84	36.90	7,949.31	87.10	6,889.34	1,059.97	42.91	454.85	64.00	291.10	29.00	84.42
2012	36,387.48	67.00	24,379.61	36.40	8,187.79	86.80	7,016.40	1,171.39	43.36	507.97	64.00	325.10	28.60	92.98
2013	36,319.97	70.00	25,423.98	36.65	8,351.54	86.30	7,074.99	1,276.55	43.48	555.10	63.00	349.71	28.50	99.67
2014	36,053.09	77.00	27,760.88	36.25	8,685.60	84.00	7,075.47	1,610.13	43.71	703.75	62.00	436.32	28.00	122.17

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014.



- A Caudal neto disponible del balance hídrico nación
- B Porcentaje total de agua utilizada
- C Caudal neto total de agua utilizada nivel nacional
- D % total de agua utilizada por el sector de manufactura
- E Caudal neto de agua utilizada por el sector de manufactura nivel nacional
- F % de agua usada para el beneficiado de café y azúcar en manufactura
- G Agua utilizada por la industria del azúcar y el beneficiado del café
- H Agua para manufactura a nivel nacional sin el sector café ni azúcar
- I % de u H<sub>2</sub>O tilizada en el depto. Guatemala por manufactura
- J Agua para la industria a nivel departamento de Guatemala
- K % de u H<sub>2</sub>O tilizada en el área metropolitana (ciudad, Mixco y Villa nueva)
- L Agua para la industria a nivel metropolitano
- M % de H<sub>2</sub>O utilizada en la ciudad
- N Agua para la industria a nivel ciudad

Como puede observarse la serie de datos de la columna M que representa el porcentaje de agua utilizada desde 1977 al 2014 esta se utilizaba en el 49 %, pero al 2014 solamente se usa un 28 %, pareciera que la industria se está contrayendo, pero es todo lo contrario, pues lo que indica este porcentaje es que debido al crecimiento de la industria de manufactura en todo el país, y principalmente fuera del perímetro de la capital, que es la que se está monitoreando y este descenso es lo que se refleja en esta tabla.

Con datos proporcionados por el directorio nacional de empresas y locales en cuanto a la distribución de las empresas dedicadas a las diferentes actividades económicas, se logo generar la tabla que incluye la distribución de las empresas dedicadas a la manufactura en cada una de las zonas del área de estudio como lo son 11, 12, 13, 14 y 21. De la misma forma se procedió con los otros sectores

tales como la construcción, el comercio y las empresas de servicios, pues en cada zona analizada la concentración de la actividad económica es muy variada.

Tabla 58. Agua usada por manufactura en las zonas de estudio (millones m<sup>3</sup>)

Año	N	Ñ	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1977	85.64	3.48	29.60	0.80	0.018	0.29	2.980	25.350	0.685	0.015	0.248	29.279
1978	84.66	3.50	29.50	0.85	0.018	0.29	2.963	24.975	0.720	0.015	0.246	28.919
1979	81.94	3.55	29.00	0.85	0.02	0.3	2.909	23.764	0.697	0.016	0.246	27.632
1980	83.01	3.60	28.50	0.88	0.02	0.3	2.988	23.657	0.730	0.017	0.249	27.641
1981	81.16	3.70	28.00	0.90	0.02	0.31	3.003	22.724	0.730	0.016	0.252	26.725
1982	81.29	3.75	27.80	0.90	0.022	0.31	3.048	22.598	0.732	0.018	0.252	26.648
1983	80.97	4.00	27.80	0.91	0.025	0.31	3.239	22.510	0.737	0.020	0.251	26.757
1984	81.06	4.00	27.50	0.91	0.025	0.33	3.242	22.292	0.738	0.020	0.267	26.559
1985	79.01	4.05	27.50	0.92	0.03	0.33	3.200	21.729	0.727	0.024	0.261	25.940
1986	71.43	4.10	27.00	0.92	0.03	0.35	2.929	19.285	0.657	0.021	0.250	23.142
1987	72.95	4.10	27.00	0.93	0.031	0.35	2.991	19.696	0.678	0.023	0.255	23.643
1988	73.09	4.20	26.80	0.93	0.031	0.40	3.070	19.587	0.680	0.023	0.292	23.652
1989	72.95	4.35	26.80	0.95	0.033	0.40	3.173	19.551	0.693	0.024	0.292	23.734
1990	73.90	4.40	26.50	0.96	0.033	0.40	3.252	19.583	0.709	0.024	0.296	23.865
1991	72.71	4.45	26.00	0.96	0.032	0.44	3.236	18.906	0.698	0.023	0.320	23.183
1992	71.99	4.44	26.00	0.97	0.035	0.45	3.196	18.718	0.698	0.025	0.324	22.962
1993	72.87	4.44	26.00	0.99	0.035	0.45	3.235	18.946	0.721	0.026	0.328	23.256
1994	72.34	4.45	25.80	0.99	0.04	0.47	3.219	18.664	0.716	0.029	0.340	22.969
1995	75.18	4.45	25.80	0.98	0.04	0.47	3.345	19.396	0.737	0.030	0.353	23.862
1996	75.32	4.55	25.60	0.98	0.045	0.48	3.427	19.282	0.738	0.034	0.362	23.843
1997	82.49	4.55	25.50	0.99	0.049	0.48	3.753	21.035	0.817	0.040	0.396	26.041
1998	77.97	4.55	25.50	0.99	0.049	0.49	3.547	19.881	0.772	0.038	0.382	24.621
1999	77.04	4.60	25.00	1.00	0.05	0.49	3.544	19.260	0.770	0.039	0.377	23.990
2000	82.77	4.60	25.00	1.00	0.05	0.49	3.807	20.692	0.828	0.041	0.406	25.774
2001	105.25	5.00	25.00	1.00	0.05	0.50	5.263	26.314	1.053	0.053	0.526	33.208
2002	78.50	5.10	24.80	1.01	0.05	0.50	4.004	19.469	0.793	0.039	0.393	24.697
2003	90.09	5.20	24.80	1.01	0.05	0.50	4.685	22.343	0.910	0.045	0.450	28.433
2004	80.00	5.30	24.70	1.03	0.06	0.51	4.240	19.761	0.824	0.044	0.408	25.277
2005	89.64	5.40	24.80	1.03	0.55	0.52	4.840	22.230	0.923	0.493	0.466	28.953
2006	87.66	5.50	24.70	1.02	0.56	0.52	4.821	21.652	0.894	0.491	0.456	28.314
2007	86.04	5.60	24.50	1.02	0.06	0.52	4.818	21.081	0.878	0.048	0.447	27.273
2008	83.08	5.65	24.30	1.04	0.60	0.53	4.694	20.188	0.864	0.498	0.440	26.684
2009	82.27	5.66	24.00	1.04	0.06	0.53	4.656	19.744	0.856	0.051	0.436	25.743
2010	84.14	5.67	24.00	1.05	0.07	0.53	4.771	20.193	0.883	0.058	0.446	26.351
2011	84.42	5.68	23.80	1.09	0.07	0.54	4.795	20.092	0.920	0.059	0.456	26.322
2012	92.98	5.69	23.50	1.09	0.08	0.54	5.291	21.850	1.013	0.074	0.502	28.731
2013	99.67	6.00	23.00	1.10	0.08	0.54	5.980	22.924	1.096	0.080	0.538	30.618
2014	122.17	6.20	23.00	1.20	0.09	0.54	7.575	28.099	1.466	0.110	0.660	37.910

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014.

- N Agua para la industria a nivel ciudad
- Ñ % de industrias de manufactura ubicada en la zona 11
- O % de industrias de manufactura ubicada en la zona 12
- P % de industrias de manufactura ubicada en la zona 13
- Q % de industrias de manufactura ubicada en la zona 14
- R % de industrias de manufactura ubicada en la zona 21
- S Agua usada por las industrias de manufactura ubicada en la zona 11
- T Agua usada por las industrias de manufactura ubicada en la zona 12
- U Agua usada por las industrias de manufactura ubicada en la zona 13
- V Agua usada por las industrias de manufactura ubicada en la zona 14
- W Agua usada por las industrias de manufactura ubicada en la zona 21
- X Total de agua usada por el sector de manufactura en el área de estudio.

Tabla 59. Agua usada en la ciudad por el sector construcción (millones m<sup>3</sup>)

Año	A	B	C	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1977	33,389.38	33.00	11,018.49	0.111	12.19	33.02	4.02	87.00	3.50	49.00	1.72
1978	32,640.53	34.00	11,097.78	0.121	13.39	34.00	4.55	86.00	3.92	49.00	1.92
1979	32,232.30	35.00	11,281.30	0.130	14.64	34.70	5.08	86.00	4.37	48.00	2.10
1980	32,111.53	36.00	11,560.15	0.138	15.93	35.50	5.65	85.00	4.81	48.00	2.31
1981	31,950.74	37.00	11,821.77	0.146	17.31	36.05	6.24	83.00	5.18	47.00	2.43
1982	31,846.63	38.00	12,101.72	0.153	18.51	37.10	6.87	83.00	5.70	46.00	2.62
1983	31,732.60	39.00	12,375.72	0.161	19.91	38.20	7.61	82.00	6.24	45.50	2.84
1984	30,899.76	41.00	12,668.90	0.169	21.45	39.50	8.47	81.00	6.86	45.20	3.10
1985	30,800.60	42.00	12,936.25	0.179	23.14	41.20	9.53	80.00	7.63	45.00	3.43
1986	30,616.02	43.00	13,164.89	0.190	25.02	42.60	10.66	79.00	8.42	44.00	3.70
1987	30,241.43	44.00	13,306.23	0.201	26.73	44.20	11.81	78.00	9.22	44.00	4.05
1988	29,826.89	45.00	13,422.10	0.214	28.74	45.50	13.08	78.00	10.20	43.00	4.39
1989	29,636.41	46.20	13,692.02	0.225	30.74	46.10	14.17	77.00	10.91	42.50	4.64
1990	29,554.54	47.10	13,920.19	0.235	32.70	47.19	15.43	77.00	11.88	42.00	4.99
1991	29,577.68	47.80	14,138.13	0.249	35.16	52.01	18.29	75.00	13.72	41.00	5.62
1992	29,827.85	48.00	14,317.37	0.263	37.61	52.96	19.92	74.00	14.74	40.00	5.90
1993	30,044.20	48.50	14,571.44	0.275	40.01	54.90	21.96	73.00	16.03	40.00	6.41
1994	29,635.87	49.20	14,580.85	0.293	42.79	54.94	23.51	72.50	17.04	39.00	6.65
1995	29,234.28	50.80	14,851.01	0.310	46.01	54.69	25.16	72.00	18.12	39.00	7.07
1996	29,576.46	51.50	15,231.88	0.325	49.47	54.40	26.92	71.00	19.11	38.00	7.26
1997	28,873.54	53.80	15,533.97	0.346	53.78	54.96	29.55	71.00	20.98	38.00	7.97
1998	29,314.12	54.00	15,829.62	0.361	57.21	56.68	32.42	70.00	22.70	36.00	8.17
1999	29,637.23	54.20	16,063.38	0.379	60.86	58.52	35.61	70.00	24.93	35.50	8.85
2000	29,747.00	54.65	16,257.75	0.403	65.44	60.31	39.46	69.00	27.23	35.00	9.53
2001	29,103.26	65.18	18,968.34	0.361	68.45	61.50	42.10	69.00	29.05	34.50	10.02
2002	27,683.54	62.07	17,181.79	0.476	81.82	61.60	50.40	69.00	34.78	34.00	11.82
2003	29,694.48	65.09	19,326.95	0.456	88.15	61.91	54.59	68.00	37.12	33.80	12.55
2004	28,609.54	66.70	19,081.13	0.460	87.78	61.93	54.37	67.00	36.43	33.50	12.20
2005	29,550.74	68.67	20,292.49	0.537	109.05	61.52	67.09	67.00	44.95	33.00	14.83
2006	31,732.30	57.78	18,333.48	0.508	93.17	61.45	57.25	66.00	37.78	32.00	12.09
2007	34,228.00	58.54	20,036.00	0.521	104.36	61.45	64.13	66.00	42.32	31.80	13.46
2008	35,650.40	58.91	21,001.66	0.490	102.94	60.93	62.72	66.00	41.40	31.00	12.83
2009	34,616.50	58.19	20,142.69	0.433	87.29	61.30	53.51	65.00	34.78	30.50	10.61
2010	35,139.40	57.98	20,373.88	0.374	76.26	61.76	47.10	65.00	30.62	30.00	9.18
2011	35,915.87	62.00	22,267.84	0.325	72.45	63.11	45.72	64.00	29.26	29.00	8.49
2012	36,387.48	67.00	24,379.61	0.279	68.10	66.36	45.19	64.00	28.92	28.60	8.27
2013	36,319.97	70.00	25,423.98	0.295	74.91	66.48	49.80	63.00	31.38	28.50	8.94
2014	36,053.09	77.00	27,760.88	0.259	71.91	64.71	46.53	62.00	28.85	28.00	8.08

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014.

Tabla 60. Agua usada por la construcción en las zonas de estudio (millones m<sup>3</sup>)

Año	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AÑ	AO	AP
1977	1.72	9.70	6.70	5.50	19.60	4.59	0.166	0.115	0.094	0.336	0.079	0.791
1978	1.92	9.50	6.50	5.20	19.40	4.39	0.182	0.125	0.100	0.372	0.084	0.863
1979	2.10	9.30	6.30	4.90	19.20	4.19	0.195	0.132	0.103	0.403	0.088	0.920
1980	2.31	9.10	6.10	4.50	19.00	3.99	0.210	0.141	0.104	0.438	0.092	0.985
1981	2.43	8.90	5.90	4.30	18.80	3.79	0.217	0.144	0.105	0.458	0.092	1.015
1982	2.62	8.70	5.70	4.00	18.60	3.59	0.228	0.149	0.105	0.488	0.094	1.065
1983	2.84	8.50	5.50	3.80	18.45	3.39	0.241	0.156	0.108	0.524	0.096	1.125
1984	3.10	8.30	5.30	3.60	18.60	3.19	0.258	0.164	0.112	0.577	0.099	1.210
1985	3.43	8.10	5.10	3.20	18.75	2.99	0.278	0.175	0.110	0.644	0.103	1.309
1986	3.70	7.90	4.90	3.00	18.90	2.79	0.293	0.182	0.111	0.700	0.103	1.389
1987	4.05	8.05	5.05	3.05	19.05	2.81	0.326	0.205	0.124	0.772	0.114	1.541
1988	4.39	8.20	5.20	3.20	19.20	2.82	0.360	0.228	0.140	0.842	0.124	1.694
1989	4.64	8.35	5.35	3.35	19.35	2.84	0.387	0.248	0.155	0.897	0.131	1.820
1990	4.99	8.50	5.50	3.50	19.50	2.85	0.424	0.274	0.175	0.973	0.142	1.989
1991	5.62	8.65	5.65	3.65	19.65	2.87	0.486	0.318	0.205	1.105	0.161	2.276
1992	5.90	8.80	5.80	3.80	19.80	2.88	0.519	0.342	0.224	1.167	0.170	2.422
1993	6.41	8.95	5.95	3.95	19.95	2.90	0.574	0.382	0.253	1.280	0.186	2.674
1994	6.65	9.10	6.10	4.10	20.10	2.91	0.605	0.405	0.273	1.336	0.193	2.812
1995	7.07	9.25	6.25	4.25	20.25	2.93	0.654	0.442	0.300	1.431	0.207	3.033
1996	7.26	9.40	6.40	4.40	20.40	2.94	0.683	0.465	0.320	1.481	0.213	3.162
1997	7.97	9.55	6.55	4.55	20.55	2.96	0.762	0.522	0.363	1.639	0.236	3.521
1998	8.17	9.70	6.70	4.70	20.70	2.97	0.793	0.547	0.384	1.691	0.243	3.658
1999	8.85	9.85	6.85	4.85	20.85	2.99	0.872	0.606	0.429	1.845	0.264	4.016
2000	9.53	10.00	7.00	5.00	21.00	3.00	0.953	0.667	0.477	2.001	0.286	4.384
2001	10.02	10.50	7.50	5.10	21.10	3.10	1.052	0.752	0.511	2.115	0.311	4.740
2002	11.82	10.60	7.70	5.30	21.30	3.30	1.253	0.910	0.627	2.519	0.390	5.699
2003	12.55	10.80	7.90	5.50	21.50	3.50	1.355	0.991	0.690	2.698	0.439	6.173
2004	12.20	11.00	8.10	5.70	21.70	3.70	1.342	0.988	0.696	2.648	0.451	6.126
2005	14.83	11.20	8.30	5.90	21.90	3.90	1.661	1.231	0.875	3.249	0.579	7.595
2006	12.09	11.40	8.50	6.10	22.10	4.10	1.378	1.028	0.738	2.672	0.496	6.312
2007	13.46	11.60	8.70	6.30	22.30	4.22	1.561	1.171	0.848	3.001	0.568	7.149
2008	12.83	11.80	8.90	6.50	22.50	4.24	1.514	1.142	0.834	2.887	0.543	6.921
2009	10.61	12.00	9.10	6.70	22.70	4.25	1.273	0.965	0.711	2.408	0.451	5.808
2010	9.18	12.20	9.30	6.90	22.90	4.27	1.121	0.854	0.634	2.103	0.392	5.104
2011	8.49	12.40	9.50	7.10	23.10	4.28	1.052	0.806	0.603	1.960	0.363	4.785
2012	8.27	12.60	9.70	7.30	23.30	4.30	1.042	0.802	0.604	1.927	0.355	4.731
2013	8.94	12.80	9.90	7.50	23.50	4.31	1.145	0.885	0.671	2.101	0.386	5.188
2014	8.08	13.00	10.10	7.70	23.70	4.33	1.050	0.816	0.622	1.915	0.349	4.752

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de la construcción, Colegio de ingenieros.

A	Caudal neto disponible del balance hídrico nacional
B	Porcentaje total de agua utilizada
C	Caudal neto total de agua utilizada nivel nacional
Y	% de agua utilizada por el sector construcción a nivel nacional
Z	Agua utilizada por la construcción a nivel nacional
AA	% de agua utilizada en el departamento de Guatemala
AB	Agua utilizada por la construcción a nivel depto. Guatemala
AC	% utilizado en la región metropolitana (Ciudad, Mixco, Villanueva)
AD	Agua utilizada en la región metropolitana (Ciudad, Mixco, Villanueva)
AE	% de utilizada en la ciudad
AF	Agua para la construcción a nivel ciudad
AG	% de construcción ubicada en la zona 11
AH	% de construcción ubicada en la zona 12
AI	% de construcción ubicada en la zona 13
AJ	% de construcción ubicada en la zona 14
AK	% de construcción ubicada en la zona 21
AL	Total de agua usada por la construcción en la zona 11
AM	Total de agua usada por la construcción en la zona 12
AN	Total de agua usada por la construcción en la zona 13
AÑ	Total de agua usada por la construcción en la zona 14
AO	Total de agua usada por la construcción en la zona 21
AP	Total de agua usada por la construcción en el área de estudio.

Tabla 61. Agua usada en ciudad Guatemala por el sector comercio (millones m<sup>3</sup>)

Año	A	B	C	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX
1977	33,389.38	33.00	11,018.49	0.107	11.74	33.02	3.88	87.00	3.37	49.00	1.65
1978	32,640.53	34.00	11,097.78	0.109	12.11	34.00	4.12	86.00	3.54	49.00	1.73
1979	32,232.30	35.00	11,281.30	0.111	12.48	34.70	4.33	86.00	3.72	48.00	1.79
1980	32,111.53	36.00	11,560.15	0.114	13.14	35.50	4.66	85.00	3.96	48.00	1.90
1981	31,950.74	37.00	11,821.77	0.116	13.69	36.05	4.93	83.00	4.10	47.00	1.92
1982	31,846.63	38.00	12,101.72	0.118	14.26	37.10	5.29	83.00	4.39	46.00	2.02
1983	31,732.60	39.00	12,375.72	0.119	14.70	38.20	5.61	82.00	4.60	45.50	2.09
1984	30,899.76	41.00	12,668.90	0.120	15.15	39.50	5.99	81.00	4.85	45.20	2.19
1985	30,800.60	42.00	12,936.25	0.123	15.95	41.20	6.57	80.00	5.26	45.00	2.37
1986	30,616.02	43.00	13,164.89	0.130	17.15	42.60	7.31	79.00	5.77	44.00	2.54
1987	30,241.43	44.00	13,306.23	0.137	18.25	44.20	8.06	78.00	6.29	44.00	2.77
1988	29,826.89	45.00	13,422.10	0.142	19.01	45.50	8.65	78.00	6.75	43.00	2.90
1989	29,636.41	46.20	13,692.02	0.143	19.59	46.10	9.03	77.00	6.96	42.50	2.96
1990	29,554.54	47.10	13,920.19	0.147	20.41	47.19	9.63	77.00	7.42	42.00	3.11
1991	29,577.68	47.80	14,138.13	0.152	21.48	52.01	11.17	75.00	8.38	41.00	3.44
1992	29,827.85	48.00	14,317.37	0.160	22.86	52.96	12.10	74.00	8.96	40.00	3.58
1993	30,044.20	48.50	14,571.44	0.169	24.58	54.90	13.49	73.00	9.85	40.00	3.94
1994	29,635.87	49.20	14,580.85	0.177	25.87	54.94	14.21	72.50	10.30	39.00	4.02
1995	29,234.28	50.80	14,851.01	0.180	26.67	54.69	14.59	72.00	10.50	39.00	4.10
1996	29,576.46	51.50	15,231.88	0.186	28.37	54.40	15.44	71.00	10.96	38.00	4.16
1997	28,873.54	53.80	15,533.97	0.190	29.55	54.96	16.24	71.00	11.53	38.00	4.38
1998	29,314.12	54.00	15,829.62	0.191	30.16	56.68	17.09	70.00	11.96	36.00	4.31
1999	29,637.23	54.20	16,063.38	0.198	31.74	58.52	18.58	70.00	13.00	35.50	4.62
2000	29,747.00	54.65	16,257.75	0.201	32.72	60.31	19.74	69.00	13.62	35.00	4.77
2001	29,103.26	65.18	18,968.34	0.187	35.38	61.50	21.76	69.00	15.01	34.50	5.18
2002	27,683.54	62.07	17,181.79	0.239	40.98	61.60	25.24	69.00	17.42	34.00	5.92
2003	29,694.48	65.09	19,326.95	0.219	42.39	61.91	26.24	68.00	17.85	33.80	6.03
2004	28,609.54	66.70	19,081.13	0.225	42.85	61.93	26.54	67.00	17.78	33.50	5.96
2005	29,550.74	68.67	20,292.49	0.232	47.15	61.52	29.01	67.00	19.44	33.00	6.41
2006	31,732.30	57.78	18,333.48	0.280	51.33	61.45	31.54	66.00	20.82	32.00	6.66
2007	34,228.00	58.54	20,036.00	0.221	44.36	61.45	27.26	66.00	17.99	31.80	5.72
2008	35,650.40	58.91	21,001.66	0.214	44.94	60.93	27.38	66.00	18.07	31.00	5.60
2009	34,616.50	58.19	20,142.69	0.235	47.27	61.30	28.98	65.00	18.83	30.50	5.74
2010	35,139.40	57.98	20,373.88	0.237	48.22	61.76	29.79	65.00	19.36	30.00	5.81
2011	35,915.87	62.00	22,267.84	0.227	50.64	63.11	31.96	64.00	20.45	29.00	5.93
2012	36,387.48	67.00	24,379.61	0.214	52.16	66.36	34.61	64.00	22.15	28.60	6.34
2013	36,319.97	70.00	25,423.98	0.208	52.83	66.48	35.13	63.00	22.13	28.50	6.31
2014	36,053.09	77.00	27,760.88	0.198	54.95	64.71	35.56	62.00	22.04	28.00	6.17

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014.

Tabla 62. Agua usada por el comercio en las zonas de estudio (millones m<sup>3</sup>)

Año	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI
1977	1.65	19.60	6.70	5.50	9.70	4.59	0.324	0.111	0.091	0.160	0.076	0.762
1978	1.73	19.40	6.50	5.20	9.50	4.39	0.337	0.113	0.090	0.165	0.076	0.780
1979	1.79	19.20	6.30	4.90	9.30	4.19	0.343	0.113	0.088	0.166	0.075	0.785
1980	1.90	19.00	6.10	4.50	9.10	3.99	0.362	0.116	0.086	0.173	0.076	0.812
1981	1.92	18.80	5.90	4.30	8.90	3.79	0.362	0.114	0.083	0.171	0.073	0.802
1982	2.02	18.60	5.70	4.00	8.70	3.59	0.376	0.115	0.081	0.176	0.072	0.820
1983	2.09	18.45	5.50	3.80	8.50	3.39	0.386	0.115	0.080	0.178	0.071	0.830
1984	2.19	18.60	5.30	3.60	8.30	3.19	0.408	0.116	0.079	0.182	0.070	0.854
1985	2.37	18.75	5.10	3.20	8.10	2.99	0.444	0.121	0.076	0.192	0.071	0.902
1986	2.54	18.90	4.90	3.00	7.90	2.79	0.480	0.124	0.076	0.201	0.071	0.952
1987	2.77	19.05	5.05	3.05	8.05	2.81	0.527	0.140	0.084	0.223	0.078	1.052
1988	2.90	19.20	5.20	3.20	8.20	2.82	0.557	0.151	0.093	0.238	0.082	1.120
1989	2.96	19.35	5.35	3.35	8.35	2.84	0.572	0.158	0.099	0.247	0.084	1.160
1990	3.11	19.50	5.50	3.50	8.50	2.85	0.607	0.171	0.109	0.265	0.089	1.241
1991	3.44	19.65	5.65	3.65	8.65	2.87	0.675	0.194	0.125	0.297	0.098	1.390
1992	3.58	19.80	5.80	3.80	8.80	2.88	0.709	0.208	0.136	0.315	0.103	1.472
1993	3.94	19.95	5.95	3.95	8.95	2.90	0.786	0.234	0.156	0.353	0.114	1.643
1994	4.02	20.10	6.10	4.10	9.10	2.91	0.808	0.245	0.165	0.366	0.117	1.700
1995	4.10	20.25	6.25	4.25	9.25	2.93	0.829	0.256	0.174	0.379	0.120	1.758
1996	4.16	20.40	6.40	4.40	9.40	2.94	0.850	0.267	0.183	0.391	0.122	1.813
1997	4.38	20.55	6.55	4.55	9.55	2.96	0.901	0.287	0.199	0.419	0.129	1.935
1998	4.31	20.70	6.70	4.70	9.70	2.97	0.892	0.289	0.202	0.418	0.128	1.928
1999	4.62	20.85	6.85	4.85	9.85	2.99	0.962	0.316	0.224	0.455	0.138	2.095
2000	4.77	21.00	7.00	5.00	10.00	3.00	1.001	0.334	0.238	0.477	0.143	2.192
2001	5.18	21.10	7.50	5.10	10.50	3.10	1.093	0.388	0.264	0.544	0.161	2.450
2002	5.92	21.30	7.70	5.30	10.60	3.30	1.261	0.456	0.314	0.628	0.195	2.855
2003	6.03	21.50	7.90	5.50	10.80	3.50	1.297	0.477	0.332	0.651	0.211	2.968
2004	5.96	21.70	8.10	5.70	11.00	3.70	1.293	0.482	0.340	0.655	0.220	2.990
2005	6.41	21.90	8.30	5.90	11.20	3.90	1.405	0.532	0.378	0.718	0.250	3.284
2006	6.66	22.10	8.50	6.10	11.40	4.10	1.472	0.566	0.406	0.759	0.273	3.477
2007	5.72	22.30	8.70	6.30	11.60	4.22	1.276	0.498	0.360	0.664	0.241	3.039
2008	5.60	22.50	8.90	6.50	11.80	4.24	1.261	0.499	0.364	0.661	0.237	3.022
2009	5.74	22.70	9.10	6.70	12.00	4.25	1.304	0.523	0.385	0.689	0.244	3.145
2010	5.81	22.90	9.30	6.90	12.20	4.27	1.330	0.540	0.401	0.709	0.248	3.227
2011	5.93	23.10	9.50	7.10	12.40	4.28	1.370	0.564	0.421	0.736	0.254	3.344
2012	6.34	23.30	9.70	7.30	12.60	4.30	1.476	0.615	0.463	0.798	0.272	3.624
2013	6.31	23.50	9.90	7.50	12.80	4.31	1.482	0.624	0.473	0.807	0.272	3.659
2014	6.17	23.70	10.10	7.70	13.00	4.33	1.463	0.623	0.475	0.802	0.267	3.631

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía.



A	Caudal neto disponible del balance hídrico nacional
B	Porcentaje total de agua utilizada
C	Caudal neto total de agua utilizada nivel nacional
AQ	% de agua utilizada por el sector comercio a nivel nacional
AR	Agua utilizada por el comercio a nivel nacional
AS	% de agua utilizada en el departamento de Guatemala
AT	Agua utilizada por el comercio a nivel depto. Guatemala
AU	% utilizado en la región metropolitana (Ciudad, Mixco, Villanueva)
AV	Agua utilizada en la región metropolitana (Ciudad, Mixco, Villanueva)
AW	% de H2O utilizada por el comercio en la ciudad
AX	Agua para el comercio a nivel ciudad
AY	% de comercio ubicada en la zona 11
AZ	% de comercio ubicada en la zona 12
BA	% de comercio ubicada en la zona 13
BB	% de comercio ubicada en la zona 14
BC	% de comercio ubicada en la zona 21
BD	Total de agua usada por el comercio en la zona 11
BE	Total de agua usada por el comercio en la zona 12
BF	Total de agua usada por el comercio en la zona 13
BG	Total de agua usada por el comercio en la zona 14
BH	Total de agua usada por el comercio en la zona 21
BI	Total de agua usada por el comercio en el área de estudio.

Tabla 63. Agua usada en ciudad Guatemala por el sector servicios (millones m<sup>3</sup>)

Año	A	B	C	BJ	BK	BL	BM	BN	BÑ	BO	BP
1977	33,389.38	33.00	11,018.49	0.14	14.91	33.02	4.92	87.00	4.28	49.00	2.10
1978	32,640.53	34.00	11,097.78	0.14	15.37	34.00	5.22	86.00	4.49	49.00	2.20
1979	32,232.30	35.00	11,281.30	0.14	15.84	34.70	5.50	86.00	4.73	48.00	2.27
1980	32,111.53	36.00	11,560.15	0.14	16.68	35.50	5.92	85.00	5.03	48.00	2.42
1981	31,950.74	37.00	11,821.77	0.15	17.37	36.05	6.26	83.00	5.20	47.00	2.44
1982	31,846.63	38.00	12,101.72	0.15	18.10	37.10	6.71	83.00	5.57	46.00	2.56
1983	31,732.60	39.00	12,375.72	0.15	18.65	38.20	7.13	82.00	5.84	45.50	2.66
1984	30,899.76	41.00	12,668.90	0.15	19.23	39.50	7.60	81.00	6.15	45.20	2.78
1985	30,800.60	42.00	12,936.25	0.16	20.24	41.20	8.34	80.00	6.67	45.00	3.00
1986	30,616.02	43.00	13,164.89	0.17	21.77	42.60	9.27	79.00	7.33	44.00	3.22
1987	30,241.43	44.00	13,306.23	0.17	23.16	44.20	10.24	78.00	7.98	44.00	3.51
1988	29,826.89	45.00	13,422.10	0.18	24.12	45.50	10.98	78.00	8.56	43.00	3.68
1989	29,636.41	46.20	13,692.02	0.18	24.87	46.10	11.46	77.00	8.83	42.50	3.75
1990	29,554.54	47.10	13,920.19	0.19	25.90	47.19	12.22	77.00	9.41	42.00	3.95
1991	29,577.68	47.80	14,138.13	0.19	27.27	52.01	14.18	75.00	10.64	41.00	4.36
1992	29,827.85	48.00	14,317.37	0.20	29.01	52.96	15.36	74.00	11.37	40.00	4.55
1993	30,044.20	48.50	14,571.44	0.21	31.19	54.90	17.12	73.00	12.50	40.00	5.00
1994	29,635.87	49.20	14,580.85	0.23	32.83	54.94	18.04	72.50	13.08	39.00	5.10
1995	29,234.28	50.80	14,851.01	0.23	33.85	54.69	18.51	72.00	13.33	39.00	5.20
1996	29,576.46	51.50	15,231.88	0.24	36.01	54.40	19.59	71.00	13.91	38.00	5.29
1997	28,873.54	53.80	15,533.97	0.24	36.89	54.96	20.28	71.00	14.40	38.00	5.47
1998	29,314.12	54.00	15,829.62	0.24	37.80	56.68	21.43	70.00	15.00	36.00	5.40
1999	29,637.23	54.20	16,063.38	0.24	38.73	58.52	22.66	70.00	15.86	35.50	5.63
2000	29,747.00	54.65	16,257.75	0.24	39.68	60.31	23.93	69.00	16.51	35.00	5.78
2001	29,103.26	65.18	18,968.34	0.20	37.49	61.50	23.06	69.00	15.91	34.50	5.49
2002	27,683.54	62.07	17,181.79	0.22	37.29	61.60	22.97	69.00	15.85	34.00	5.39
2003	29,694.48	65.09	19,326.95	0.21	40.81	61.91	25.26	68.00	17.18	33.80	5.81
2004	28,609.54	66.70	19,081.13	0.25	47.17	61.93	29.22	67.00	19.57	33.50	6.56
2005	29,550.74	68.67	20,292.49	0.21	42.83	61.52	26.35	67.00	17.65	33.00	5.83
2006	31,732.30	57.78	18,333.48	0.29	52.33	61.45	32.15	66.00	21.22	32.00	6.79
2007	34,228.00	58.54	20,036.00	0.26	51.71	61.45	31.77	66.00	20.97	31.80	6.67
2008	35,650.40	58.91	21,001.66	0.28	59.30	60.93	36.13	66.00	23.85	31.00	7.39
2009	34,616.50	58.19	20,142.69	0.34	68.16	61.30	41.78	65.00	27.16	30.50	8.28
2010	35,139.40	57.98	20,373.88	0.34	69.85	61.76	43.14	65.00	28.04	30.00	8.41
2011	35,915.87	62.00	22,267.84	0.35	78.23	63.11	49.38	64.00	31.60	29.00	9.16
2012	36,387.48	67.00	24,379.61	0.34	82.14	66.36	54.51	64.00	34.89	28.60	9.98
2013	36,319.97	70.00	25,423.98	0.36	90.36	66.48	60.07	63.00	37.85	28.50	10.79
2014	36,053.09	77.00	27,760.88	0.38	105.72	64.71	68.41	62.00	42.41	28.00	11.88

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014.

Tabla 64. Agua usada por el sector servicios en el área de estudio (millones m<sup>3</sup>)

Año	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BW	BX	BY	BZ	CA	CB
1977	2.10	9.70	6.70	9.70	19.60	4.59	0.204	0.141	0.204	0.411	0.096	1.055
1978	2.20	9.50	6.50	9.50	19.40	4.39	0.209	0.143	0.209	0.427	0.097	1.085
1979	2.27	9.30	6.30	9.30	19.20	4.19	0.211	0.143	0.211	0.436	0.095	1.096
1980	2.42	9.10	6.10	9.10	19.00	3.99	0.220	0.147	0.220	0.459	0.096	1.142
1981	2.44	8.90	5.90	8.90	18.80	3.79	0.217	0.144	0.217	0.459	0.093	1.131
1982	2.56	8.70	5.70	8.70	18.60	3.59	0.223	0.146	0.223	0.477	0.092	1.161
1983	2.66	8.50	5.50	8.50	18.45	3.39	0.226	0.146	0.226	0.491	0.090	1.179
1984	2.78	8.30	5.30	8.30	18.60	3.19	0.231	0.147	0.231	0.517	0.089	1.215
1985	3.00	8.10	5.10	8.10	18.75	2.99	0.243	0.153	0.243	0.563	0.090	1.292
1986	3.22	7.90	4.90	7.90	18.90	2.79	0.255	0.158	0.255	0.609	0.090	1.366
1987	3.51	8.05	5.05	8.05	19.05	2.81	0.283	0.177	0.283	0.669	0.099	1.511
1988	3.68	8.20	5.20	8.20	19.20	2.82	0.302	0.191	0.302	0.707	0.104	1.606
1989	3.75	8.35	5.35	8.35	19.35	2.84	0.313	0.201	0.313	0.726	0.106	1.660
1990	3.95	8.50	5.50	8.50	19.50	2.85	0.336	0.217	0.336	0.771	0.113	1.773
1991	4.36	8.65	5.65	8.65	19.65	2.87	0.377	0.246	0.377	0.857	0.125	1.983
1992	4.55	8.80	5.80	8.80	19.80	2.88	0.400	0.264	0.400	0.900	0.131	2.095
1993	5.00	8.95	5.95	8.95	19.95	2.90	0.448	0.298	0.448	0.998	0.145	2.335
1994	5.10	9.10	6.10	9.10	20.10	2.91	0.464	0.311	0.464	1.025	0.148	2.413
1995	5.20	9.25	6.25	9.25	20.25	2.93	0.481	0.325	0.481	1.053	0.152	2.491
1996	5.29	9.40	6.40	9.40	20.40	2.94	0.497	0.338	0.497	1.078	0.155	2.566
1997	5.47	9.55	6.55	9.55	20.55	2.96	0.522	0.358	0.522	1.124	0.162	2.689
1998	5.40	9.70	6.70	9.70	20.70	2.97	0.524	0.362	0.524	1.118	0.160	2.687
1999	5.63	9.85	6.85	9.85	20.85	2.99	0.555	0.386	0.555	1.174	0.168	2.838
2000	5.78	10.00	7.00	10.00	21.00	3.00	0.578	0.405	0.578	1.214	0.173	2.948
2001	5.49	10.50	7.50	10.50	21.10	3.10	0.576	0.412	0.576	1.158	0.170	2.893
2002	5.39	10.60	7.70	10.60	21.30	3.30	0.571	0.415	0.571	1.148	0.178	2.883
2003	5.81	10.80	7.90	10.80	21.50	3.50	0.627	0.459	0.627	1.248	0.203	3.165
2004	6.56	11.00	8.10	11.00	21.70	3.70	0.721	0.531	0.721	1.423	0.243	3.639
2005	5.83	11.20	8.30	11.20	21.90	3.90	0.652	0.484	0.652	1.276	0.227	3.292
2006	6.79	11.40	8.50	11.40	22.10	4.10	0.774	0.577	0.774	1.501	0.278	3.905
2007	6.67	11.60	8.70	11.60	22.30	4.22	0.774	0.580	0.774	1.487	0.281	3.896
2008	7.39	11.80	8.90	11.80	22.50	4.24	0.872	0.658	0.872	1.663	0.313	4.379
2009	8.28	12.00	9.10	12.00	22.70	4.25	0.994	0.754	0.994	1.880	0.352	4.974
2010	8.41	12.20	9.30	12.20	22.90	4.27	1.026	0.782	1.026	1.927	0.359	5.120
2011	9.16	12.40	9.50	12.40	23.10	4.28	1.136	0.871	1.136	2.117	0.392	5.653
2012	9.98	12.60	9.70	12.60	23.30	4.30	1.257	0.968	1.257	2.325	0.429	6.236
2013	10.79	12.80	9.90	12.80	23.50	4.31	1.381	1.068	1.381	2.535	0.465	6.829
2014	11.88	13.00	10.10	13.00	23.70	4.33	1.544	1.199	1.544	2.815	0.514	7.615

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía.

A	Caudal neto disponible del balance hídrico nacional
B	Porcentaje total de agua utilizada
C	Caudal neto total de agua utilizada nivel nacional
BJ	% de agua utilizada por el sector servicios a nivel nacional
BK	Agua utilizada por el sector servicios a nivel nacional
BL	% de agua utilizada en el departamento de Guatemala
BM	Agua utilizada por el sector servicios a nivel depto. Guatemala
BN	% utilizado en la región metropolitana (Ciudad, Mixco, Villanueva)
BÑ	Agua utilizada en la región metropolitana (Ciudad, Mixco, Villanueva)
BO	% de H <sub>2</sub> O utilizada por el sector servicios en la ciudad
BP	Agua para el sector servicios a nivel ciudad
BQ	% del sector servicios ubicados en la zona 11
BR	% del sector servicios ubicados en la zona 12
BS	% del sector servicios ubicados en la zona 13
BT	% del sector servicios ubicados en la zona 14
BU	% del sector servicios ubicados en la zona 21
BW	Total de agua usada por el sector servicios en la zona 11
BX	Total de agua usada por el sector servicios en la zona 12
BY	Total de agua usada por el sector servicios en la zona 13
BZ	Total de agua usada por el sector servicios en la zona 14
CA	Total de agua usada por el sector servicios en la zona 21
CB	Total de agua usada por el sector servicios en el área de estudio.

Con los datos de las anteriores tablas generadas se puede conocer aproximadamente la totalidad de agua utilizada por el sector privado para cada zona del área de estudio considerando a los sectores de manufactura, construcción, comercio y servicios, para lo cual se presentará un resumen por cada zona de la capital (11, 12, 13, 14 y 21).

Tabla 65. Agua usada por el sector privado en la zona 11 (millones m<sup>3</sup>)

Año	S	AL	BD	BW	CC
1977	2.980	0.166	0.324	0.204	3.674
1978	2.963	0.182	0.337	0.209	3.691
1979	2.909	0.195	0.343	0.211	3.658
1980	2.988	0.210	0.362	0.220	3.780
1981	3.003	0.217	0.362	0.217	3.799
1982	3.048	0.228	0.376	0.223	3.875
1983	3.239	0.241	0.386	0.226	4.092
1984	3.242	0.258	0.408	0.231	4.138
1985	3.200	0.278	0.444	0.243	4.165
1986	2.929	0.293	0.480	0.255	3.956
1987	2.991	0.326	0.527	0.283	4.127
1988	3.070	0.360	0.557	0.302	4.288
1989	3.173	0.387	0.572	0.313	4.446
1990	3.252	0.424	0.607	0.336	4.619
1991	3.236	0.486	0.675	0.377	4.775
1992	3.196	0.519	0.709	0.400	4.825
1993	3.235	0.574	0.786	0.448	5.043
1994	3.219	0.605	0.808	0.464	5.096
1995	3.345	0.654	0.829	0.481	5.309
1996	3.427	0.683	0.850	0.497	5.456
1997	3.753	0.762	0.901	0.522	5.938
1998	3.547	0.793	0.892	0.524	5.755
1999	3.544	0.872	0.962	0.555	5.933
2000	3.807	0.953	1.001	0.578	6.339
2001	5.263	1.052	1.093	0.576	7.984
2002	4.004	1.253	1.261	0.571	7.090
2003	4.685	1.355	1.297	0.627	7.964
2004	4.240	1.342	1.293	0.721	7.596
2005	4.840	1.661	1.405	0.652	8.559
2006	4.821	1.378	1.472	0.774	8.446
2007	4.818	1.561	1.276	0.774	8.429
2008	4.694	1.514	1.261	0.872	8.341
2009	4.656	1.273	1.304	0.994	8.227
2010	4.771	1.121	1.330	1.026	8.248
2011	4.795	1.052	1.370	1.136	8.354
2012	5.291	1.042	1.476	1.257	9.066
2013	5.980	1.145	1.482	1.381	9.988
2014	7.575	1.050	1.463	1.544	11.631

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros.

Tabla 66. Agua usada por el sector privado en la zona 12 (millones m<sup>3</sup>)

Año	T	AM	BE	BX	CD
1977	25.350	0.115	0.111	0.141	25.716
1978	24.975	0.125	0.113	0.143	25.356
1979	23.764	0.132	0.113	0.143	24.152
1980	23.657	0.141	0.116	0.147	24.061
1981	22.724	0.144	0.114	0.144	23.125
1982	22.598	0.149	0.115	0.146	23.009
1983	22.510	0.156	0.115	0.146	22.927
1984	22.292	0.164	0.116	0.147	22.720
1985	21.729	0.175	0.121	0.153	22.177
1986	19.285	0.182	0.124	0.158	19.749
1987	19.696	0.205	0.140	0.177	20.218
1988	19.587	0.228	0.151	0.191	20.157
1989	19.551	0.248	0.158	0.201	20.158
1990	19.583	0.274	0.171	0.217	20.247
1991	18.906	0.318	0.194	0.246	19.664
1992	18.718	0.342	0.208	0.264	19.531
1993	18.946	0.382	0.234	0.298	19.859
1994	18.664	0.405	0.245	0.311	19.626
1995	19.396	0.442	0.256	0.325	20.419
1996	19.282	0.465	0.267	0.338	20.352
1997	21.035	0.522	0.287	0.358	22.202
1998	19.881	0.547	0.289	0.362	21.079
1999	19.260	0.606	0.316	0.386	20.568
2000	20.692	0.667	0.334	0.405	22.097
2001	26.314	0.752	0.388	0.412	27.865
2002	19.469	0.910	0.456	0.415	21.250
2003	22.343	0.991	0.477	0.459	24.269
2004	19.761	0.988	0.482	0.531	21.763
2005	22.230	1.231	0.532	0.484	24.477
2006	21.652	1.028	0.566	0.577	23.823
2007	21.081	1.171	0.498	0.580	23.330
2008	20.188	1.142	0.499	0.658	22.486
2009	19.744	0.965	0.523	0.754	21.986
2010	20.193	0.854	0.540	0.782	22.369
2011	20.092	0.806	0.564	0.871	22.332
2012	21.850	0.802	0.615	0.968	24.235
2013	22.924	0.885	0.624	1.068	25.501
2014	28.099	0.816	0.623	1.199	30.738

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros.

Tabla 67. Agua usada por el sector privado en la zona 13 (millones m<sup>3</sup>)

Año	U	AN	BF	BY	CE
1977	0.685	0.094	0.091	0.204	1.074
1978	0.720	0.100	0.090	0.209	1.119
1979	0.697	0.103	0.088	0.211	1.098
1980	0.730	0.104	0.086	0.220	1.140
1981	0.730	0.105	0.083	0.217	1.135
1982	0.732	0.105	0.081	0.223	1.140
1983	0.737	0.108	0.080	0.226	1.150
1984	0.738	0.112	0.079	0.231	1.159
1985	0.727	0.110	0.076	0.243	1.156
1986	0.657	0.111	0.076	0.255	1.099
1987	0.678	0.124	0.084	0.283	1.169
1988	0.680	0.140	0.093	0.302	1.215
1989	0.693	0.155	0.099	0.313	1.261
1990	0.709	0.175	0.109	0.336	1.329
1991	0.698	0.205	0.125	0.377	1.406
1992	0.698	0.224	0.136	0.400	1.459
1993	0.721	0.253	0.156	0.448	1.578
1994	0.716	0.273	0.165	0.464	1.618
1995	0.737	0.300	0.174	0.481	1.692
1996	0.738	0.320	0.183	0.497	1.738
1997	0.817	0.363	0.199	0.522	1.901
1998	0.772	0.384	0.202	0.524	1.882
1999	0.770	0.429	0.224	0.555	1.978
2000	0.828	0.477	0.238	0.578	2.120
2001	1.053	0.511	0.264	0.576	2.404
2002	0.793	0.627	0.314	0.571	2.305
2003	0.910	0.690	0.332	0.627	2.559
2004	0.824	0.696	0.340	0.721	2.580
2005	0.923	0.875	0.378	0.652	2.829
2006	0.894	0.738	0.406	0.774	2.812
2007	0.878	0.848	0.360	0.774	2.860
2008	0.864	0.834	0.364	0.872	2.935
2009	0.856	0.711	0.385	0.994	2.945
2010	0.883	0.634	0.401	1.026	2.944
2011	0.920	0.603	0.421	1.136	3.080
2012	1.013	0.604	0.463	1.257	3.337
2013	1.096	0.671	0.473	1.381	3.621
2014	1.466	0.622	0.475	1.544	4.107

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros.

Tabla 68. Agua usada por el sector privado en la zona 14 (millones m<sup>3</sup>)

Año	V	AÑ	BG	BZ	CF
1977	0.015	0.336	0.160	0.411	0.923
1978	0.015	0.372	0.165	0.427	0.979
1979	0.016	0.403	0.166	0.436	1.021
1980	0.017	0.438	0.173	0.459	1.087
1981	0.016	0.458	0.171	0.459	1.104
1982	0.018	0.488	0.176	0.477	1.158
1983	0.020	0.524	0.178	0.491	1.212
1984	0.020	0.577	0.182	0.517	1.297
1985	0.024	0.644	0.192	0.563	1.422
1986	0.021	0.700	0.201	0.609	1.531
1987	0.023	0.772	0.223	0.669	1.687
1988	0.023	0.842	0.238	0.707	1.809
1989	0.024	0.897	0.247	0.726	1.894
1990	0.024	0.973	0.265	0.771	2.033
1991	0.023	1.105	0.297	0.857	2.283
1992	0.025	1.167	0.315	0.900	2.408
1993	0.026	1.280	0.353	0.998	2.655
1994	0.029	1.336	0.366	1.025	2.756
1995	0.030	1.431	0.379	1.053	2.893
1996	0.034	1.481	0.391	1.078	2.985
1997	0.040	1.639	0.419	1.124	3.222
1998	0.038	1.691	0.418	1.118	3.265
1999	0.039	1.845	0.455	1.174	3.513
2000	0.041	2.001	0.477	1.214	3.733
2001	0.053	2.115	0.544	1.158	3.869
2002	0.039	2.519	0.628	1.148	4.333
2003	0.045	2.698	0.651	1.248	4.643
2004	0.044	2.648	0.655	1.423	4.770
2005	0.493	3.249	0.718	1.276	5.736
2006	0.491	2.672	0.759	1.501	5.423
2007	0.048	3.001	0.664	1.487	5.200
2008	0.498	2.887	0.661	1.663	5.710
2009	0.051	2.408	0.689	1.880	5.029
2010	0.058	2.103	0.709	1.927	4.796
2011	0.059	1.960	0.736	2.117	4.872
2012	0.074	1.927	0.798	2.325	5.125
2013	0.080	2.101	0.807	2.535	5.523
2014	0.110	1.915	0.802	2.815	5.641

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros.



Tabla 69. Agua usada por el sector privado en la zona 21 (millones m<sup>3</sup>)

Año	W	AO	BH	CA	CG
1977	0.248	0.079	0.076	0.096	0.499
1978	0.246	0.084	0.076	0.097	0.503
1979	0.246	0.088	0.075	0.095	0.504
1980	0.249	0.092	0.076	0.096	0.513
1981	0.252	0.092	0.073	0.093	0.509
1982	0.252	0.094	0.072	0.092	0.511
1983	0.251	0.096	0.071	0.090	0.508
1984	0.267	0.099	0.070	0.089	0.525
1985	0.261	0.103	0.071	0.090	0.524
1986	0.250	0.103	0.071	0.090	0.514
1987	0.255	0.114	0.078	0.099	0.545
1988	0.292	0.124	0.082	0.104	0.602
1989	0.292	0.131	0.084	0.106	0.613
1990	0.296	0.142	0.089	0.113	0.639
1991	0.320	0.161	0.098	0.125	0.704
1992	0.324	0.170	0.103	0.131	0.728
1993	0.328	0.186	0.114	0.145	0.772
1994	0.340	0.193	0.117	0.148	0.799
1995	0.353	0.207	0.120	0.152	0.832
1996	0.362	0.213	0.122	0.155	0.853
1997	0.396	0.236	0.129	0.162	0.923
1998	0.382	0.243	0.128	0.160	0.913
1999	0.377	0.264	0.138	0.168	0.948
2000	0.406	0.286	0.143	0.173	1.008
2001	0.526	0.311	0.161	0.170	1.168
2002	0.393	0.390	0.195	0.178	1.156
2003	0.450	0.439	0.211	0.203	1.304
2004	0.408	0.451	0.220	0.243	1.323
2005	0.466	0.579	0.250	0.227	1.522
2006	0.456	0.496	0.273	0.278	1.503
2007	0.447	0.568	0.241	0.281	1.538
2008	0.440	0.543	0.237	0.313	1.534
2009	0.436	0.451	0.244	0.352	1.483
2010	0.446	0.392	0.248	0.359	1.444
2011	0.456	0.363	0.254	0.392	1.465
2012	0.502	0.355	0.272	0.429	1.558
2013	0.538	0.386	0.272	0.465	1.661
2014	0.660	0.349	0.267	0.514	1.790

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros.

Tabla 70. Agua usada por el sector privado en la zona de estudio (millones m<sup>3</sup>)

Año	X	AP	BI	CB	CH
1977	29.279	0.791	0.762	1.055	31.89
1978	28.919	0.863	0.780	1.085	31.65
1979	27.632	0.920	0.785	1.096	30.43
1980	27.641	0.985	0.812	1.142	30.58
1981	26.725	1.015	0.802	1.131	29.67
1982	26.648	1.065	0.820	1.161	29.69
1983	26.757	1.125	0.830	1.179	29.89
1984	26.559	1.210	0.854	1.215	29.84
1985	25.940	1.309	0.902	1.292	29.44
1986	23.142	1.389	0.952	1.366	26.85
1987	23.643	1.541	1.052	1.511	27.75
1988	23.652	1.694	1.120	1.606	28.07
1989	23.734	1.820	1.160	1.660	28.37
1990	23.865	1.989	1.241	1.773	28.87
1991	23.183	2.276	1.390	1.983	28.83
1992	22.962	2.422	1.472	2.095	28.95
1993	23.256	2.674	1.643	2.335	29.91
1994	22.969	2.812	1.700	2.413	29.89
1995	23.862	3.033	1.758	2.491	31.14
1996	23.843	3.162	1.813	2.566	31.38
1997	26.041	3.521	1.935	2.689	34.19
1998	24.621	3.658	1.928	2.687	32.89
1999	23.990	4.016	2.095	2.838	32.94
2000	25.774	4.384	2.192	2.948	35.30
2001	33.208	4.740	2.450	2.893	43.29
2002	24.697	5.699	2.855	2.883	36.13
2003	28.433	6.173	2.968	3.165	40.74
2004	25.277	6.126	2.990	3.639	38.03
2005	28.953	7.595	3.284	3.292	43.12
2006	28.314	6.312	3.477	3.905	42.01
2007	27.273	7.149	3.039	3.896	41.36
2008	26.684	6.921	3.022	4.379	41.01
2009	25.743	5.808	3.145	4.974	39.67
2010	26.351	5.104	3.227	5.120	39.80
2011	26.322	4.785	3.344	5.653	40.10
2012	28.731	4.731	3.624	6.236	43.32
2013	30.618	5.188	3.659	6.829	46.29
2014	37.910	4.752	3.631	7.615	53.91

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros.

Tabla 71. Agua usada por el sector privado en toda la ciudad (millones m<sup>3</sup>)

Año	N	AF	AX	BP	CI
1977	85.64	1.72	1.65	2.10	91.11
1978	84.66	1.92	1.73	2.20	90.52
1979	81.94	2.10	1.79	2.27	88.10
1980	83.01	2.31	1.90	2.42	89.63
1981	81.16	2.43	1.92	2.44	87.96
1982	81.29	2.62	2.02	2.56	88.49
1983	80.97	2.84	2.09	2.66	88.56
1984	81.06	3.10	2.19	2.78	89.14
1985	79.01	3.43	2.37	3.00	87.81
1986	71.43	3.70	2.54	3.22	80.89
1987	72.95	4.05	2.77	3.51	83.28
1988	73.09	4.39	2.90	3.68	84.05
1989	72.95	4.64	2.96	3.75	84.30
1990	73.90	4.99	3.11	3.95	85.96
1991	72.71	5.62	3.44	4.36	86.14
1992	71.99	5.90	3.58	4.55	86.02
1993	72.87	6.41	3.94	5.00	88.22
1994	72.34	6.65	4.02	5.10	88.11
1995	75.18	7.07	4.10	5.20	91.54
1996	75.32	7.26	4.16	5.29	92.03
1997	82.49	7.97	4.38	5.47	100.32
1998	77.97	8.17	4.31	5.40	95.84
1999	77.04	8.85	4.62	5.63	96.14
2000	82.77	9.53	4.77	5.78	102.84
2001	105.25	10.02	5.18	5.49	125.94
2002	78.50	11.82	5.92	5.39	101.64
2003	90.09	12.55	6.03	5.81	114.48
2004	80.00	12.20	5.96	6.56	104.72
2005	89.64	14.83	6.41	5.83	116.71
2006	87.66	12.09	6.66	6.79	113.20
2007	86.04	13.46	5.72	6.67	111.89
2008	83.08	12.83	5.60	7.39	108.90
2009	82.27	10.61	5.74	8.28	106.90
2010	84.14	9.18	5.81	8.41	107.54
2011	84.42	8.49	5.93	9.16	108.00
2012	92.98	8.27	6.34	9.98	117.57
2013	99.67	8.94	6.31	10.79	125.70
2014	122.17	8.08	6.17	11.88	148.30

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros.

Tabla 72. Resumen de H<sub>2</sub>O para el sector privado, promedio mensual m<sup>3</sup>

Año	zona 11	zona 12	zona 13	zona 14	zona 21	Área estudio	Ciudad
	CJ	CK	CL	CM	CN	CÑ	CO
1977	306,188	2,142,992	89,495	76,940	41,608	2,657,222	7,592,298
1978	307,597	2,112,990	93,232	81,619	41,881	2,637,319	7,543,110
1979	304,864	2,012,643	91,493	85,076	41,973	2,536,050	7,341,565
1980	314,964	2,005,097	94,976	90,583	42,781	2,548,400	7,469,365
1981	316,562	1,927,096	94,607	92,042	42,449	2,472,756	7,329,896
1982	322,924	1,917,398	95,022	96,510	42,555	2,474,409	7,374,437
1983	341,040	1,910,606	95,854	101,029	42,362	2,490,891	7,380,115
1984	344,863	1,893,302	96,589	108,043	43,758	2,486,555	7,427,964
1985	347,069	1,848,113	96,306	118,492	43,657	2,453,636	7,317,796
1986	329,652	1,645,772	91,592	127,621	42,845	2,237,482	6,741,238
1987	343,938	1,684,801	97,439	140,585	45,435	2,312,199	6,940,184
1988	357,335	1,679,791	101,227	150,784	50,136	2,339,274	7,004,513
1989	370,491	1,679,852	105,057	157,848	51,120	2,364,368	7,024,790
1990	384,935	1,687,226	110,763	169,434	53,273	2,405,631	7,163,222
1991	397,896	1,638,671	117,168	190,220	58,706	2,402,661	7,178,001
1992	402,071	1,627,618	121,557	200,685	60,659	2,412,590	7,168,160
1993	420,242	1,654,949	131,491	221,268	64,367	2,492,316	7,351,867
1994	424,672	1,635,512	134,804	229,664	66,568	2,491,221	7,342,434
1995	442,448	1,701,574	141,000	241,042	69,324	2,595,388	7,628,342
1996	454,677	1,696,002	144,811	248,746	71,072	2,615,309	7,669,476
1997	494,811	1,850,188	158,441	268,482	76,894	2,848,817	8,359,619
1998	479,612	1,756,579	156,838	272,087	76,083	2,741,198	7,986,900
1999	494,387	1,713,992	164,851	292,717	78,963	2,744,911	8,011,369
2000	528,268	1,841,431	176,706	311,096	83,988	2,941,489	8,570,310
2001	665,353	2,322,118	200,345	322,434	97,306	3,607,555	10,495,396
2002	590,806	1,770,829	192,056	361,119	96,332	3,011,142	8,469,800
2003	663,657	2,022,430	213,245	386,893	108,665	3,394,889	9,539,805
2004	633,025	1,813,573	215,034	397,510	110,210	3,169,351	8,726,647
2005	713,239	2,039,759	235,779	477,980	126,831	3,593,588	9,725,866
2006	703,830	1,985,265	234,350	451,935	125,259	3,500,638	9,433,599
2007	702,414	1,944,134	238,293	433,347	128,185	3,446,373	9,324,351
2008	695,079	1,873,857	244,550	475,853	127,847	3,417,185	9,075,359
2009	685,610	1,832,173	245,434	419,058	123,595	3,305,871	8,908,623
2010	687,293	1,864,118	245,359	399,707	120,360	3,316,838	8,961,831
2011	696,163	1,861,023	256,685	405,993	122,115	3,341,979	9,000,191
2012	755,527	2,019,583	278,094	427,092	129,860	3,610,155	9,797,134
2013	832,294	2,125,111	301,725	460,271	138,388	3,857,790	10,475,362
2014	969,286	2,561,498	342,265	470,119	149,171	4,492,338	12,358,064

Fuente: Elaboración propia con datos IARNA 2012, sistema de contabilidad ambiental y económica integrada 2014, Unidad de producción más limpia, Directorio nacional de empresas y locales 2014. Cámara de comercio, Ministerio de economía, cámara de la construcción, colegio de ingenieros

- CC Total de agua usada por el sector privado en la zona 11 anual
- CD Total de agua usada por el sector privado en la zona 12 anual
- CE Total de agua usada por el sector privado en la zona 13 anual
- CF Total de agua usada por el sector privado en la zona 14 anual
- CG Total de agua usada por el sector privado en la zona 21 anual
- CH Total de agua usada por el sector privado en el área de estudio anual
- CI Total de agua usada por el sector privado en toda la ciudad anual
- CJ Total de agua usada por el sector privado en la zona 11 (m<sup>3</sup>/mes)
- CK Total de agua usada por el sector privado en la zona 12 (m<sup>3</sup>/mes)
- CL Total de agua usada por el sector privado en la zona 13 (m<sup>3</sup>/mes)
- CM Total de agua usada por el sector privado en la zona 14 (m<sup>3</sup>/mes)
- CN Total de agua usada por el sector privado en la zona 21 (m<sup>3</sup>/mes)
- CÑ Total de agua por el sector privado en el área de estudio (m<sup>3</sup>/mes)
- CO Total de agua usada por el sector privado en toda la ciudad (m<sup>3</sup>/mes)

Con los datos de valores promedio mensuales en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) se procede a estimar los indicadores de demanda de agua.

Con la utilización de la ecuación 19 de la sección 2.3.4 y los datos presentados anteriormente se calcula la Demanda de cada sector así:

Tabla 73. Demanda promedio mensual de agua de la ciudad en m<sup>3</sup>/mes

Año	D t	hab.d	hab.e	hab.a	Rmm.hab.d	Rmm.hab.e	Rmm.hab.a	Dpp
1977	11,464,050	724,000	191,476	677,272	170	10	6	7,592,298
1978	11,705,676	737,000	194,893	690,545	180	10	6	7,543,110
1979	11,712,851	742,000	198,906	704,079	188	10	6	7,341,565
1980	11,982,298	748,000	227,985	717,879	192	11	6	7,469,365
1981	11,841,148	754,243	176,842	731,948	190	11	7	7,329,896
1982	12,115,109	773,000	187,574	746,294	195	11	7	7,374,437
1983	12,221,550	778,000	182,791	760,920	198	11	7	7,380,115
1984	12,459,949	781,000	190,350	790,569	205	11	7	7,427,964
1985	12,312,128	791,000	208,193	825,630	200	12	7	7,317,796
1986	11,584,834	800,000	222,266	848,250	190	12	8	6,741,238
1987	12,315,065	806,000	234,090	886,704	210	12	8	6,940,184
1988	12,621,762	814,000	276,666	910,455	217	12	8	7,004,513
1989	12,770,953	816,000	279,847	980,577	221	12	8	7,024,790
1990	13,029,792	817,300	285,512	1,029,210	225	12	8	7,163,222
1991	12,753,611	818,000	306,978	1,094,243	212	12	8	7,178,001
1992	12,405,124	820,000	311,850	1,160,406	197	12	8	7,168,160
1993	12,079,786	821,500	329,936	1,193,205	175	13	8	7,351,867
1994	11,768,537	823,301	330,745	1,232,790	162	13	8	7,342,434
1995	11,995,517	832,000	336,927	1,266,720	156	13	9	7,628,342
1996	11,863,020	842,000	329,192	1,303,478	147	13	9	7,669,476
1997	12,723,982	850,000	332,186	1,328,925	152	13	9	8,359,619
1998	12,631,702	866,000	352,008	1,356,069	159	14	9	7,986,900
1999	12,892,960	880,000	365,834	1,377,558	165	14	9	8,011,369
2000	13,678,378	901,000	377,883	1,470,300	168	15	9	8,570,310
2001	13,626,208	923,184	405,082	1,532,505	164	15	10	10,495,396
2002	13,626,208	923,184	405,082	1,532,505	163	15	10	8,469,800
2003	14,845,585	933,408	403,303	1,546,077	166	16	10	9,539,805
2004	14,277,626	943,632	410,326	1,555,125	171	16	11	8,726,647
2005	15,257,876	953,856	413,170	1,594,710	168	16	11	9,725,866
2006	14,828,729	964,080	416,253	1,682,598	160	17	11	9,433,599
2007	16,526,006	974,304	435,334	1,688,018	218	17	12	9,324,351
2008	16,432,752	980,160	431,371	1,693,134	222	17	12	9,075,359
2009	16,853,163	984,655	433,679	1,724,549	240	18	12	8,908,623
2010	17,475,355	988,150	444,500	1,755,134	256	18	13	8,961,831
2011	18,298,369	990,750	466,291	1,784,879	280	20	13	9,000,191
2012	18,995,222	992,541	503,679	1,813,890	275	20	13	9,797,134
2013	19,336,837	993,552	512,201	1,842,182	260	22	14	10,475,362
2014	20,933,401	993,815	509,730	1,869,768	250	22	14	12,358,064

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, IARNA 2016

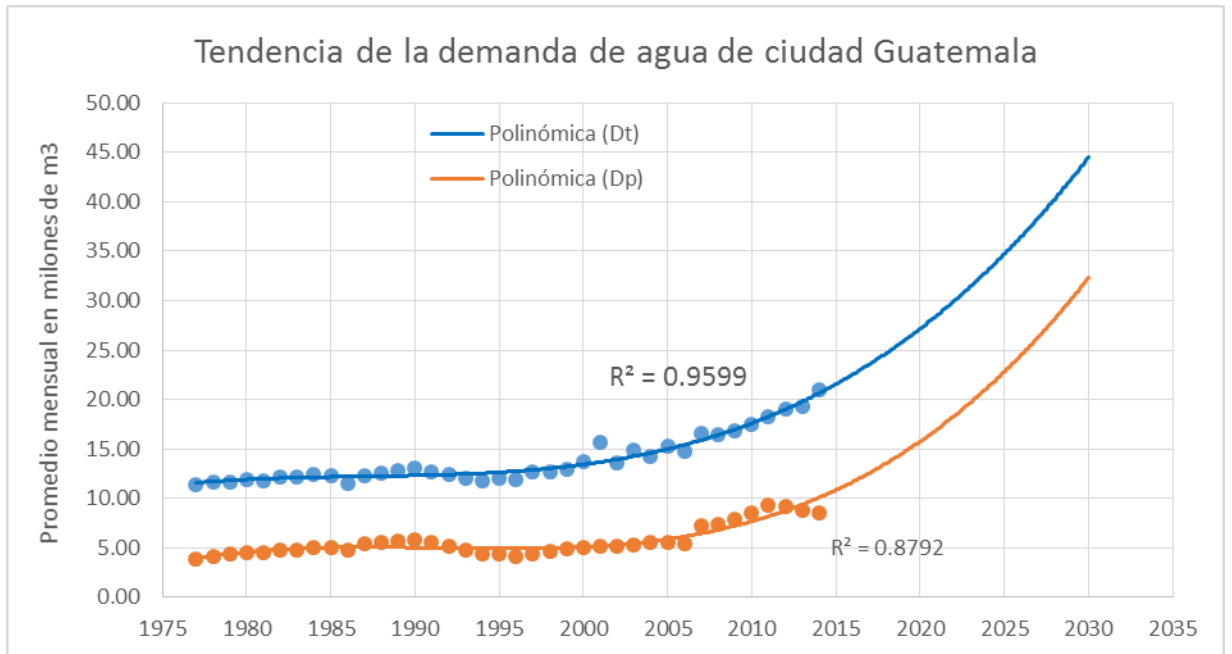


Figura 44. Tendencia de la demanda de agua de toda la ciudad. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$D_{tc} = 2.091 (\text{hab.d.c}) - 0.902 (\text{hab.e.c}) + 0.935 (\text{hab.a.c}) + 28,250.846 (\text{Rmm.hab.d.c}) + 53,767.335 (\text{Rmm.hab.e.c}) + 69,493.216 (\text{Rmm.hab.a.c}) + 1.011 (D_{pp}) - 4,089,998.69$$

Todas las pruebas estadísticas de demanda se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3

Tabla 74. *Demanda promedio mensual de agua de la zona de estudio en m<sup>3</sup>*

Año	Dze	hab.dze	hab.eze	hab.aze	Rm.hab.d.ze	Rm.hab.e.ze	Rm.hab.a.ze	Dppze
1977	3,664,985	160,954	102,023	130,544	188	17	12	2,657,222
1978	3,663,250	163,844	103,843	133,102	188	17	12	2,637,319
1979	3,570,298	164,956	105,979	135,711	188	17	12	2,536,050
1980	3,632,432	166,289	121,464	138,371	193	18	13	2,548,400
1981	3,551,207	167,677	94,230	141,083	193	18	13	2,472,756
1982	3,581,202	171,847	99,945	143,848	193	18	13	2,474,409
1983	3,610,531	172,959	97,398	146,667	194	18	14	2,490,891
1984	3,612,363	173,626	101,423	152,382	192	19	14	2,486,555
1985	3,600,612	175,849	110,925	159,140	192	19	14	2,453,636
1986	3,402,161	177,850	118,419	163,500	192	19	14	2,237,482
1987	3,508,144	179,184	124,715	170,912	195	19	15	2,312,199
1988	3,560,715	180,962	147,387	175,490	195	19	15	2,339,274
1989	3,595,386	181,407	149,080	189,006	195	19	15	2,364,368
1990	3,651,793	181,696	152,097	198,380	196	19	15	2,405,631
1991	3,662,031	181,851	163,528	210,915	196	19	15	2,402,661
1992	3,710,370	182,296	166,122	223,668	200	20	15	2,412,590
1993	3,800,854	182,629	175,753	229,990	200	20	15	2,492,316
1994	3,813,922	183,030	176,184	237,620	201	20	16	2,491,221
1995	3,934,825	184,964	179,476	244,160	201	20	16	2,595,388
1996	3,968,946	187,187	175,356	251,245	201	20	16	2,615,309
1997	4,216,449	188,965	176,951	256,150	201	20	16	2,848,817
1998	4,120,000	192,522	187,506	261,382	199	20	15	2,741,198
1999	4,148,511	195,635	194,869	265,524	199	20	15	2,744,911
2000	4,418,853	200,303	201,285	283,400	203	20	16	2,941,489
2001	5,097,351	202,749	209,711	292,883	202	20	15	3,607,555
2002	4,520,797	205,235	215,768	295,390	202	20	15	3,011,142
2003	4,918,959	207,508	214,821	298,006	202	20	15	3,394,889
2004	4,710,244	209,781	218,561	299,750	202	20	15	3,169,351
2005	5,143,162	212,054	220,075	307,380	201	20	15	3,593,588
2006	5,072,618	214,327	221,717	324,320	201	20	15	3,500,638
2007	5,071,249	216,600	231,877	325,365	205	20	16	3,446,373
2008	5,065,798	217,901	229,767	326,351	206	21	16	3,417,185
2009	4,964,368	218,901	230,996	332,407	206	21	16	3,305,871
2010	4,986,598	219,678	236,758	338,302	206	21	16	3,316,838
2011	5,026,828	220,256	248,362	344,035	206	21	16	3,341,979
2012	5,312,726	220,654	268,271	349,627	206	21	16	3,610,155
2013	5,575,521	220,879	272,809	355,080	207	21	16	3,857,790
2014	6,212,180	220,937	271,493	360,397	207	21	16	4,492,338

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, IARNA 2016



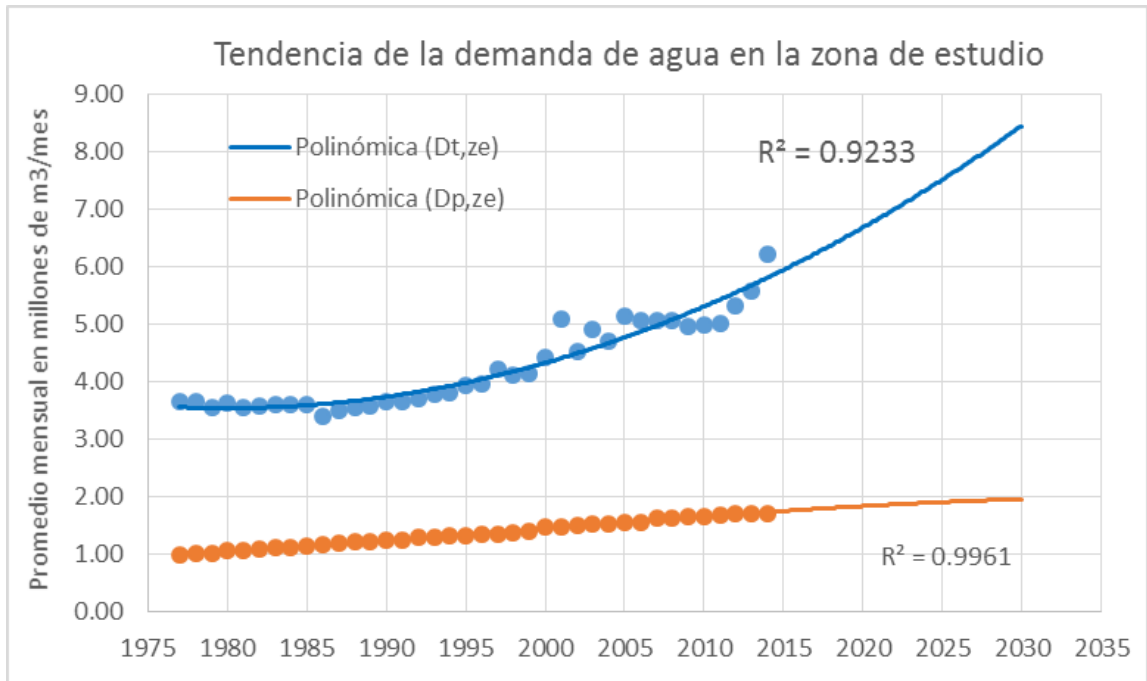


Figura 45. Tendencia de la demanda de agua de toda la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

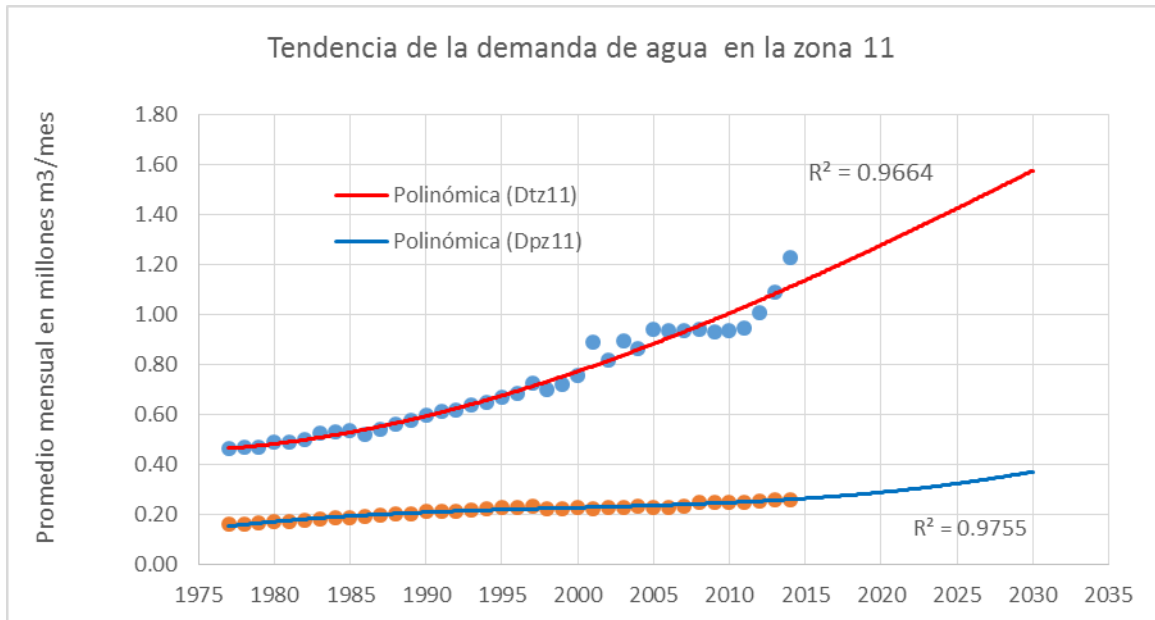
$$Dt,ze = 6.401 (\text{hab.d.ze}) + 0.733 (\text{hab.e.ze}) + 0.267(\text{hab.a.ze}) + 6496.808 \\ (\text{Rm.hab.d.ze}) + 15936.123 (\text{Rm.hab.e.ze}) - 13512.674 (\text{Rm.hab.a.ze}) + 1.003 \\ (\text{Dppze}) - 1469423.747$$

Todas las pruebas estadísticas de demanda se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3

Tabla 75. *Demanda promedio mensual de agua de la zona 11 en m<sup>3</sup>/mes*

Año	Dz11	hab.d11	hab.e11	hab.a11	Rm.hab.d.z11	Rm.hab.e.z11	Rm.hab.a.z11	Dppz11
1977	466,550	31,110	11,489	14,372	160	17	12	306,188
1978	470,846	31,669	11,694	14,653	160	17	12	307,597
1979	469,370	31,884	11,934	14,941	160	17	12	304,864
1980	487,802	32,141	13,679	15,234	165	19	13	314,964
1981	489,095	32,410	10,611	15,532	165	19	13	316,562
1982	499,932	33,216	11,254	15,836	165	19	13	322,924
1983	524,898	33,430	10,967	16,147	170	20	14	341,040
1984	529,914	33,559	11,421	16,776	170	20	14	344,863
1985	535,267	33,989	12,492	17,520	170	20	14	347,069
1986	520,530	34,376	13,336	18,000	170	20	14	329,652
1987	543,502	34,634	14,045	18,816	175	22	15	343,938
1988	560,617	34,977	16,600	19,320	175	22	15	357,335
1989	575,019	35,063	16,791	20,808	175	22	15	370,491
1990	596,882	35,119	17,131	21,840	180	23	16	384,935
1991	611,556	35,149	18,419	23,220	180	23	16	397,896
1992	617,071	35,235	18,711	24,624	180	23	16	402,071
1993	636,673	35,300	19,796	25,320	180	23	16	420,242
1994	648,645	35,377	19,845	26,160	185	24	17	424,672
1995	669,129	35,751	20,216	26,880	185	24	17	442,448
1996	683,806	36,181	19,751	27,660	185	24	17	454,677
1997	726,254	36,524	19,931	28,200	185	24	17	494,811
1998	700,595	37,212	21,120	28,776	175	20	15	479,612
1999	719,232	37,813	21,950	29,232	175	20	15	494,387
2000	759,169	38,716	22,673	31,200	175	20	15	528,268
2001	890,545	39,188	23,622	32,244	170	18	13	665,353
2002	818,925	39,669	24,305	32,520	170	18	13	590,806
2003	894,072	40,108	24,198	32,808	170	18	13	663,657
2004	865,983	40,548	24,620	33,000	170	18	13	633,025
2005	940,950	40,987	24,790	33,840	165	17	12	713,239
2006	934,481	41,426	24,975	35,705	165	17	12	703,830
2007	935,865	41,866	26,120	35,820	165	17	12	702,414
2008	941,574	42,117	25,882	35,929	170	20	15	695,079
2009	933,474	42,310	26,021	36,595	170	20	15	685,610
2010	936,604	42,461	26,670	37,244	170	20	15	687,293
2011	947,112	42,572	27,977	37,875	170	20	15	696,163
2012	1,008,491	42,649	30,221	38,491	170	20	15	755,527
2013	1,093,383	42,693	30,732	39,091	175	21	15	832,294
2014	1,230,604	42,704	30,584	39,677	175	21	15	969,286

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, IARNA 2016



*Figura 46.* Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 11. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Dtz11 = 4.261 (\text{hab.d11}) + 0.761 (\text{hab.e11}) + 0.355 (\text{hab.a11}) + 874.355 (\text{Rm.hab.d.z11}) - 240 (\text{Rm.hab.e.z11}) + 2773.081 (\text{Rm.hab.a.z11}) + 0.042 (\text{Dppz11}) - 158,884.313$$

Todas las pruebas estadísticas de demanda se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3

Tabla 76. *Demanda promedio mensual de agua de la zona 12 en m<sup>3</sup>/mes*

Año	Dz12	hab.d12	hab.e12	hab.a12	Rm.hab.d.z12	Rm.hab.e.z12	Rm.hab.a.z12	Dppz12
1977	2,308,618	36,247	17,233	23,953	140	12	10	2,142,992
1978	2,281,602	36,898	17,540	24,422	140	12	10	2,112,990
1979	2,182,580	37,148	17,902	24,901	140	12	10	2,012,643
1980	2,184,378	37,448	20,519	25,389	145	13	11	2,005,097
1981	2,106,106	37,761	15,916	25,887	145	13	11	1,927,096
1982	2,101,037	38,700	16,882	26,394	145	13	11	1,917,398
1983	2,095,337	38,950	16,451	26,911	145	13	11	1,910,606
1984	2,078,304	39,101	17,131	27,960	143	14	12	1,893,302
1985	2,036,384	39,601	18,737	29,200	143	14	12	1,848,113
1986	1,836,796	40,052	20,004	30,000	143	14	12	1,645,772
1987	1,879,207	40,352	21,068	31,360	145	12	12	1,684,801
1988	1,877,621	40,753	24,900	32,200	145	12	12	1,679,791
1989	1,879,114	40,853	25,186	34,680	145	12	12	1,679,852
1990	1,887,574	40,918	25,696	36,400	145	12	12	1,687,226
1991	1,840,695	40,953	27,628	38,700	145	12	12	1,638,671
1992	1,836,846	41,053	28,067	41,040	150	13	11	1,627,618
1993	1,865,533	41,128	29,694	42,200	150	13	11	1,654,949
1994	1,846,992	41,218	29,767	43,600	150	13	11	1,635,512
1995	1,915,627	41,654	30,323	44,800	150	13	11	1,701,574
1996	1,912,465	42,155	29,627	46,100	150	13	11	1,696,002
1997	2,068,855	42,555	29,897	47,000	150	13	11	1,850,188
1998	1,979,864	43,356	31,681	47,960	150	13	11	1,756,579
1999	1,941,167	44,057	32,925	48,720	150	13	11	1,713,992
2000	2,084,189	45,108	34,009	52,000	155	14	12	1,841,431
2001	2,568,661	46,219	36,457	54,200	155	14	12	2,322,118
2002	2,020,571	46,219	36,457	54,200	155	14	12	1,770,829
2003	2,274,658	46,731	36,297	54,680	155	14	12	2,022,430
2004	2,068,562	47,243	36,929	55,000	155	14	12	1,813,573
2005	2,297,740	47,755	37,185	56,400	155	14	12	2,039,759
2006	2,246,862	48,266	37,463	59,508	155	14	12	1,985,265
2007	2,219,184	48,778	39,180	59,700	160	15	13	1,944,134
2008	2,150,225	49,071	38,823	59,881	160	15	13	1,873,857
2009	2,110,147	49,297	39,031	60,992	160	15	13	1,832,173
2010	2,143,793	49,472	40,005	62,074	160	15	13	1,864,118
2011	2,143,874	49,602	41,966	63,126	160	16	13	1,861,023
2012	2,304,879	49,691	45,331	64,152	160	16	13	2,019,583
2013	2,411,409	49,742	46,098	65,152	160	16	13	2,125,111
2014	2,848,132	49,755	45,876	66,128	160	16	13	2,561,498

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, IARNA 2016

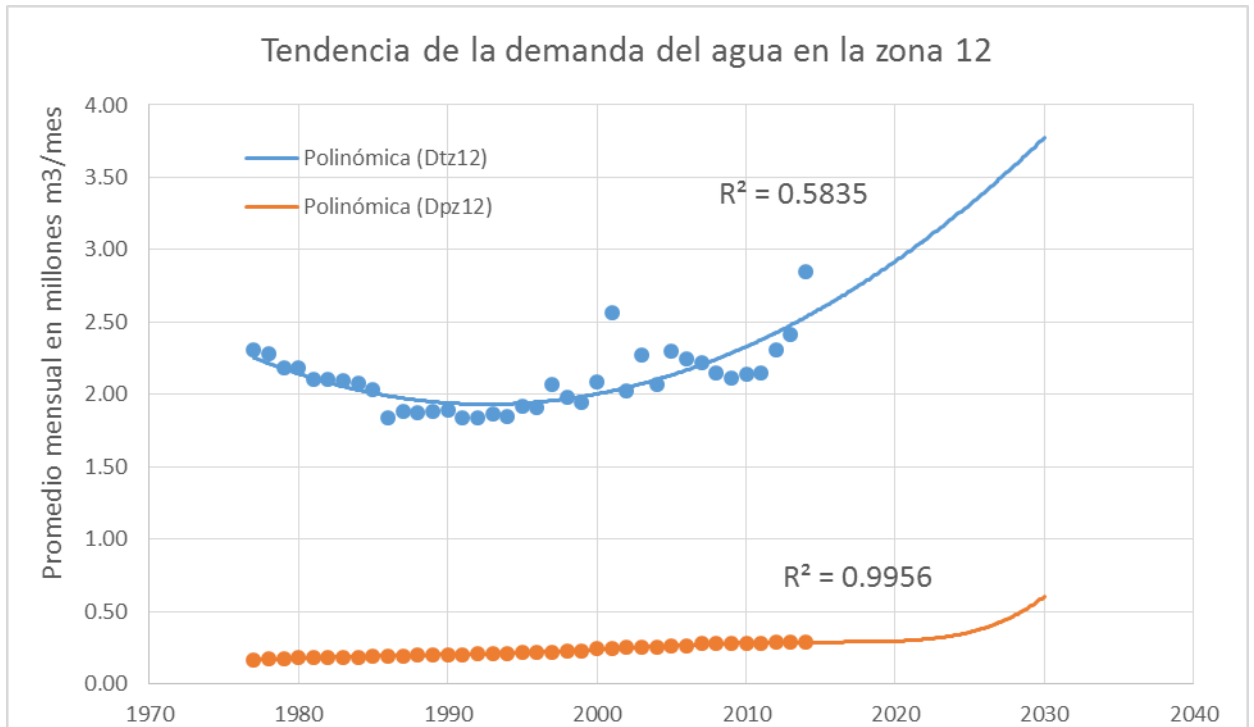


Figura 47. Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 12. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Dtz12 = 4.975 (\text{hab.d}12) + 0.654 (\text{hab.e}12) + 0.018 (\text{hab.a}12) + 1373.575 (\text{Rm.hab.d.z}12) + 1351.14 (\text{Rm.hab.e.z}12) + 848.772 (\text{Rm.hab.a.z}12) + 1.003 (\text{Dppz}12) - 251528.377$$

Todas las pruebas estadísticas de demanda se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3

Tabla 77. *Demanda promedio mensual de agua de la zona 13 en m<sup>3</sup>/mes*

Año	Dz13	hab.d13	hab.e13	hab.a13	Rm.hab.d.z13	Rm.hab.e.z13	Rm.hab.a.z13	Dppz13
1977	278,843	20,966	32,551	41,918	240	20	15	89,495
1978	286,009	21,342	33,132	42,739	240	20	15	93,232
1979	286,099	21,487	33,814	43,577	240	20	15	91,493
1980	299,928	21,661	38,757	44,431	245	21	16	94,976
1981	295,828	21,842	30,063	45,302	245	21	16	94,607
1982	301,811	22,385	31,888	46,190	245	21	16	95,022
1983	303,630	22,530	31,074	47,095	245	21	16	95,854
1984	307,775	22,617	32,359	48,930	243	22	17	96,589
1985	312,712	22,906	35,393	51,100	243	22	17	96,306
1986	312,191	23,167	37,785	52,500	243	22	17	91,592
1987	323,246	23,341	39,795	54,880	245	22	17	97,439
1988	334,263	23,572	47,033	56,350	245	22	17	101,227
1989	341,089	23,630	47,574	60,690	245	22	17	105,057
1990	349,243	23,668	48,537	63,700	245	22	17	110,763
1991	360,257	23,688	52,186	67,725	245	22	17	117,168
1992	375,014	23,746	53,015	71,820	250	23	18	121,557
1993	388,492	23,789	56,089	73,850	250	23	18	131,491
1994	393,614	23,842	56,227	76,300	250	23	18	134,804
1995	403,558	24,093	57,278	78,400	250	23	18	141,000
1996	409,863	24,383	55,963	80,675	250	23	18	144,811
1997	426,432	24,615	56,472	82,250	250	23	18	158,441
1998	431,536	25,078	59,841	83,930	250	23	18	156,838
1999	444,930	25,483	62,192	85,260	250	23	18	164,851
2000	474,429	26,092	64,240	91,000	255	24	19	176,706
2001	500,218	26,734	68,864	94,850	255	24	19	200,345
2002	500,218	26,734	68,864	94,850	255	24	19	192,056
2003	523,932	27,030	68,561	95,690	255	24	19	213,245
2004	529,165	27,326	69,755	96,250	255	24	19	215,034
2005	553,920	27,622	70,239	98,700	255	24	19	235,779
2006	558,234	27,918	70,763	104,140	255	24	19	234,350
2007	574,335	28,214	74,007	104,475	260	24	20	238,293
2008	581,619	28,384	73,333	104,792	260	24	20	244,550
2009	584,968	28,514	73,725	106,736	260	24	20	245,434
2010	588,142	28,615	75,565	108,629	260	24	20	245,359
2011	603,828	28,691	79,270	110,470	260	24	20	256,685
2012	631,295	28,742	85,625	112,266	260	24	20	278,094
2013	657,248	28,772	87,074	114,017	260	24	20	301,725
2014	698,569	28,779	86,654	115,724	260	24	20	342,265

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, IARNA 2016

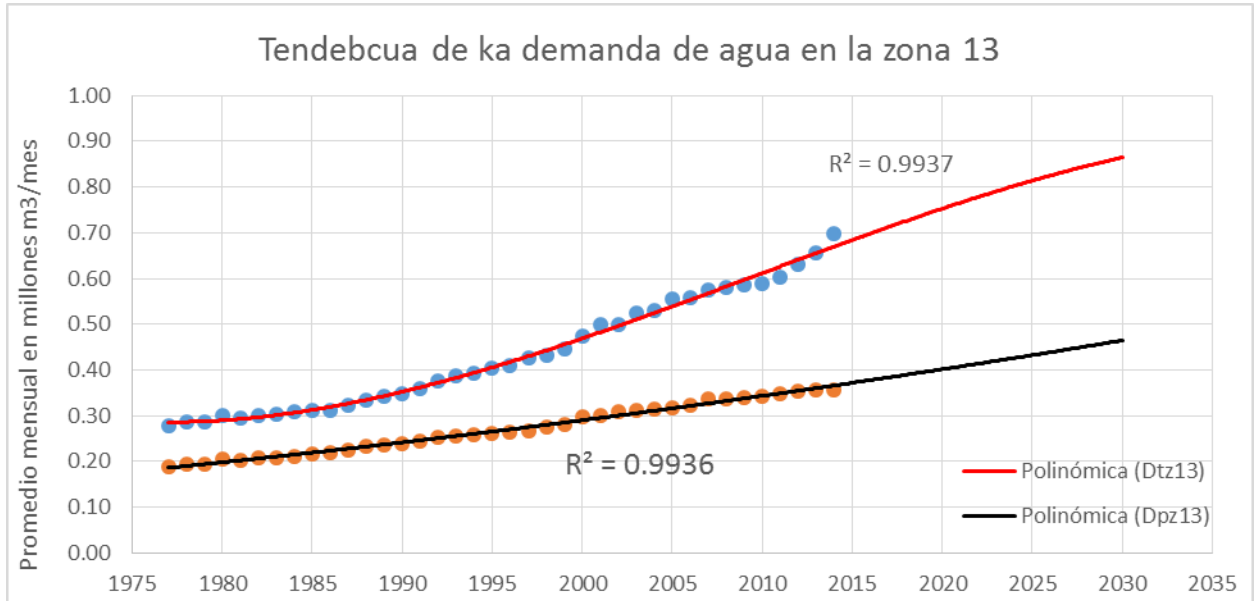


Figura 48. Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 13.

Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Diz13 = 7.969 (\text{hab.d13}) + 0.637 (\text{hab.e13}) + 0.498 (\text{hab.a13}) + 971.029$$

$$(\text{Rm.hab.d.z13}) - 1207.443 (\text{Rm.hab.e.z13}) + 2710.206 (\text{Rm.hab.a.z13}) + 1.03$$

$$(\text{Dppz13}) - 272945.634$$

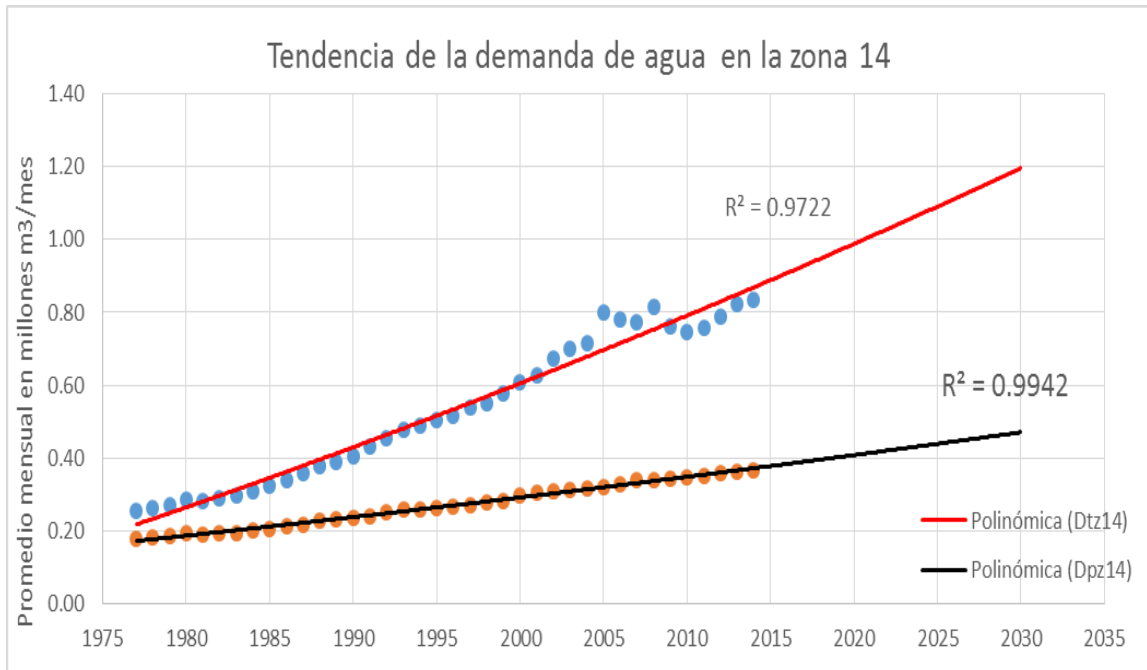
Todas las pruebas estadísticas de demanda se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3

Tabla 78. *Demanda promedio mensual de agua de la zona 14 en m<sup>3</sup>/mes*

Año	Dz13	hab.d14	hab.e14	hab.a14	Rm.hab.d.z14	Rm.hab.e.z14	Rm.hab.a.z14	Dppz14
1977	256,540	14,369	40,210	47,906	280	25	20	76,940
1978	264,488	14,627	40,928	48,845	280	25	20	81,619
1979	269,985	14,726	41,770	49,802	280	25	20	85,076
1980	286,844	14,845	47,877	50,778	285	26	21	90,583
1981	281,611	14,969	37,137	51,774	285	26	21	92,042
1982	291,660	15,341	39,390	52,788	285	26	21	96,510
1983	296,896	15,441	38,386	53,823	285	26	21	101,029
1984	308,925	15,500	39,973	55,920	283	27	22	108,043
1985	325,730	15,699	43,721	58,400	283	27	22	118,492
1986	339,826	15,877	46,676	60,000	283	27	22	127,621
1987	358,568	15,996	49,159	62,720	285	27	22	140,585
1988	378,475	16,155	58,100	64,400	285	27	22	150,784
1989	389,693	16,195	58,768	69,360	285	27	22	157,848
1990	404,734	16,221	59,958	72,800	285	27	22	169,434
1991	432,326	16,234	64,465	77,400	285	27	22	190,220
1992	453,916	16,274	65,489	82,080	290	28	23	200,685
1993	479,549	16,304	69,287	84,400	290	28	23	221,268
1994	490,331	16,340	69,456	87,200	290	28	23	229,664
1995	505,958	16,512	70,755	89,600	290	28	23	241,042
1996	515,818	16,711	69,130	92,200	290	28	23	248,746
1997	538,705	16,870	69,759	94,000	290	28	23	268,482
1998	549,894	17,187	73,922	95,920	290	28	23	272,087
1999	576,429	17,465	76,825	97,440	290	28	23	292,717
2000	610,148	17,882	79,355	104,000	295	29	23	311,096
2001	628,711	18,100	82,679	107,480	295	29	23	322,434
2002	672,073	18,322	85,067	108,400	295	29	23	361,119
2003	699,980	18,525	84,694	109,360	295	29	23	386,893
2004	714,118	18,728	86,168	110,000	295	29	23	397,510
2005	798,835	18,931	86,766	112,800	295	29	23	477,980
2006	779,439	19,134	87,413	119,017	295	29	23	451,935
2007	772,041	19,337	91,420	119,400	300	30	23	433,347
2008	815,092	19,453	90,588	119,762	300	30	23	475,853
2009	761,070	19,542	91,073	121,984	300	30	23	419,058
2010	745,882	19,611	93,345	124,147	300	30	23	399,707
2011	758,202	19,663	97,921	126,251	300	30	23	405,993
2012	788,103	19,698	105,773	128,303	300	30	23	427,092
2013	824,454	19,719	107,562	130,305	300	30	23	460,271
2014	835,229	19,724	107,043	132,256	300	30	23	470,119

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, IARNA 2016





*Figura 49.* Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 14. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

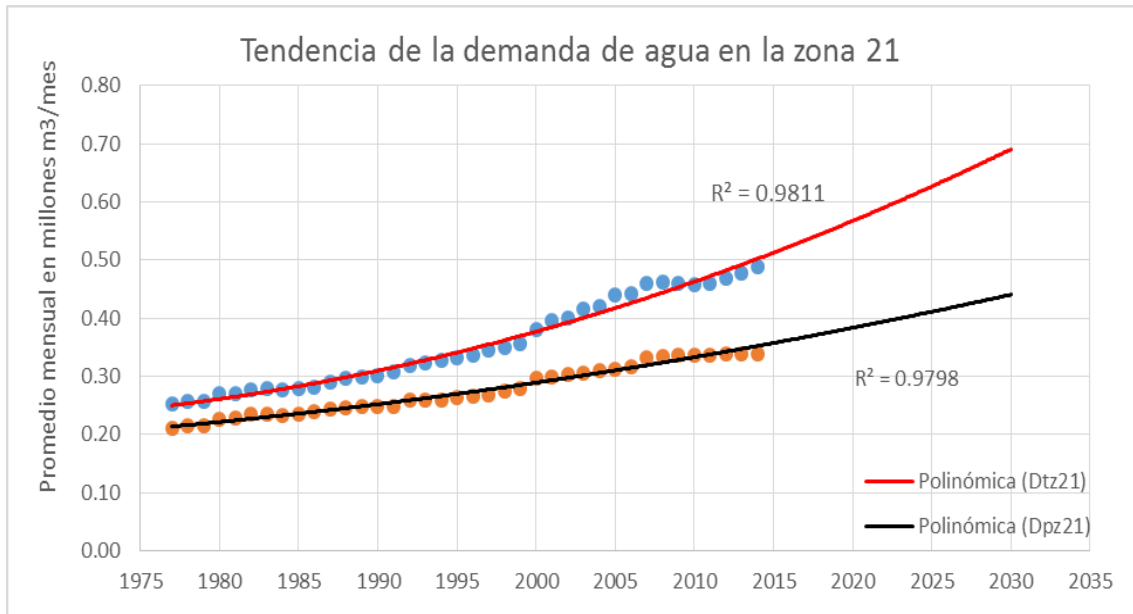
$$\begin{aligned}
 Dtz14 = & 8.014 (\text{hab.d}14) + 0.828 (\text{hab.e}14) + 0.747 (\text{hab.a}14) + 525.784 \\
 & (\text{Rm.hab.d.z}14) + 3520.643 (\text{Rm.hab.e.z}14) - 1281.074 (\text{Rm.hab.a.z}14) + 0.999 \\
 & (\text{Dppz}14) - 214389.868
 \end{aligned}$$

Todas las pruebas estadísticas de demanda se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3

Tabla 79. *Demanda promedio mensual de agua de la zona 21 en m<sup>3</sup>/mes*

Año	Dz21	hab.d21	hab.e21	hab.a21	Rm.hab.d.z21	Rm.hab.e.z21	Rm.hab.a.z21	Dppz21
1977	251,854	58,262	479	2,395	120	10	5	41,608
1978	255,903	59,308	487	2,442	120	10	5	41,881
1979	257,454	59,711	497	2,490	120	10	5	41,973
1980	269,152	60,193	570	2,539	125	11	6	42,781
1981	270,671	60,696	442	2,589	125	11	6	42,449
1982	276,455	62,205	469	2,639	125	11	6	42,555
1983	277,776	62,608	457	2,691	125	11	6	42,362
1984	276,429	62,849	476	2,796	123	12	7	43,758
1985	279,340	63,654	520	2,920	123	12	7	43,657
1986	281,230	64,378	556	3,000	123	12	7	42,845
1987	289,644	64,861	585	3,136	125	13	8	45,435
1988	296,821	65,505	692	3,220	125	13	8	50,136
1989	298,471	65,666	700	3,468	125	13	8	51,120
1990	301,063	65,770	714	3,640	125	13	8	53,273
1991	306,784	65,827	767	3,870	125	13	8	58,706
1992	319,446	65,988	780	4,104	130	14	9	60,659
1993	323,675	66,108	825	4,220	130	14	9	64,367
1994	326,480	66,253	827	4,360	130	14	9	66,568
1995	332,005	66,953	842	4,480	130	14	9	69,324
1996	336,918	67,758	823	4,610	130	14	9	71,072
1997	345,278	68,402	830	4,700	130	14	9	76,894
1998	349,535	69,689	880	4,796	130	14	9	76,083
1999	356,844	70,816	915	4,872	130	14	9	78,963
2000	379,621	72,506	945	5,200	135	15	10	83,988
2001	396,594	73,391	984	5,374	135	15	10	97,306
2002	399,292	74,291	1,013	5,420	135	15	10	96,332
2003	414,970	75,114	1,008	5,468	135	15	10	108,665
2004	419,865	75,937	1,026	5,500	135	15	10	110,210
2005	439,862	76,759	1,033	5,640	135	15	10	126,831
2006	441,719	77,582	1,041	5,951	135	15	10	125,259
2007	459,765	78,405	1,088	5,970	140	15	10	128,185
2008	461,408	78,876	1,078	5,988	140	15	10	127,847
2009	458,711	79,238	1,084	6,099	140	15	10	123,595
2010	456,702	79,519	1,111	6,207	140	15	10	120,360
2011	459,392	79,728	1,166	6,313	140	15	10	122,115
2012	467,815	79,872	1,259	6,415	140	15	10	129,860
2013	476,724	79,954	1,281	6,515	140	15	10	138,388
2014	487,622	79,975	1,274	6,613	140	15	10	149,171

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, EMPAGUA, IARNA 2016



*Figura 50.* Tendencia de la demanda de agua de toda la zona 21. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$\begin{aligned}
 Dtz21 = & 4.099 (\text{hab.d21}) + 3.193 (\text{hab.e21}) - 0.096 (\text{hab.a21}) + 2153.057 \\
 & (\text{Rm.hab.d.z21}) - 1276.841 (\text{Rm.hab.e.z21}) + 0.0001 (\text{Rm.hab.a.z21}) + 1.015 \\
 & (\text{Dppz21}) - 277065.654
 \end{aligned}$$

Todas las pruebas estadísticas de demanda se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

Con los datos obtenidos de la demanda por cada año y por cada sector se procedió a graficarlo para observar el tipo de tendencia que lleva y proyectarlo al año 2030, con el único objetivo de encontrar las condiciones del escenario tendencia.

A continuación, se presentan las ecuaciones de demanda de agua:

Tabla 80. *Resumen de los modelos matemáticos de la demanda de agua*

Variable	Coeficientes que definen la ecuación de la demanda de agua en algunas áreas de Guatemala						
	Ciudad	Zona de Estudio	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21
Intercepción	-4089998.694	-1469423.747	-158884.313	-251528.377	-272945.6342	-214389.8681	-277065.6538
hab.d	2.090966098	6.401206239	4.260807675	4.97468116	7.969150683	8.013519631	4.098898542
hab.e	-0.902222783	0.733459036	0.761424288	0.653643934	0.636893819	0.827961744	3.192930304
hab.a	0.952898211	0.266683389	0.355205795	0.018288607	0.498315808	0.746900562	-0.095625886
Rmm.hab.d	28250.84665	6496.808324	874.355117	1373.574811	971.0293322	525.7844188	2153.057191
Rmm.hab.e	53767.33534	15936.12313	-240.0000884	1351.139972	-1207.443019	3520.642842	-1276.840592
Rmm.hab.a	69493.21642	-13512.67411	2773.081239	848.7718485	2710.205709	-1281.074377	0
Dpp	1.010841359	1.003172731	1.011770755	1.002893275	1.030303776	0.999072654	1.014570716

Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa Excel ® 2016

$$Dt = 2.091(\text{hab.d}) - 0.902(\text{hab.e}) + 0.935(\text{hab.a}) + 28,250.84(\text{Rmm.hab.d}) + 53,767.33(\text{Rmm.hab.e}) + 69,493.216(\text{Rmm.hab.a}) + 1.011(\text{Dsp}) - 4,089,998.694$$

## 4.5 Índice de oferta de agua

Tabla 81. *Suministro de agua en ciudad Guatemala*

Año	A	a	p1	p2	Wo	Aa	Xrp	Xrv
1977	4,955,813	3,917,767	1,498,900	285,088	67.73	1.76	16	1.00
1978	5,019,273	3,843,565	1,641,518	289,454	72.83	1.84	16	1.05
1979	5,101,601	3,580,423	2,006,244	357,876	101.56	1.93	19	1.35
1980	5,169,944	3,701,761	1,992,073	433,226	74.59	2.03	19	1.90
1981	5,417,846	3,746,781	2,192,386	516,449	88.12	2.13	20	1.90
1982	6,117,462	4,294,193	2,397,807	664,439	90.82	2.23	21	2.20
1983	6,042,411	3,960,579	2,640,254	733,426	92.91	2.34	23	2.23
1984	6,094,592	4,175,577	2,443,257	813,549	91.07	2.45	23	2.50
1985	6,172,400	4,110,290	2,627,377	832,745	84.55	2.57	24	2.53
1986	6,191,134	3,506,578	3,236,089	909,124	79.87	2.69	24	2.80
1987	6,542,372	3,922,174	3,197,076	965,396	86.38	2.82	25	2.80
1988	6,542,372	3,922,174	3,197,076	965,396	86.38	2.82	25	2.80
1989	7,098,916	4,221,187	3,595,563	1,154,747	100.05	3.10	27	3.10
1990	7,331,064	4,456,349	3,643,122	1,299,720	83.19	3.25	28	3.10
1991	6,807,217	4,224,804	3,318,279	1,213,830	88.01	3.41	29	3.20
1992	6,977,211	4,363,162	3,290,019	1,334,857	86.38	3.58	30	3.20
1993	7,316,134	4,777,247	3,457,646	1,436,319	99.20	3.75	33	3.50
1994	7,032,680	4,556,222	3,577,789	1,418,723	82.06	3.93	34	3.50
1995	7,934,599	4,665,046	4,305,015	1,670,511	127.00	4.12	35	3.80
1996	7,812,334	5,118,399	3,859,814	1,690,017	102.48	4.32	36	3.80
1997	7,707,447	5,120,073	3,860,501	1,690,461	79.98	4.53	36	3.90
1998	7,768,771	5,034,369	3,795,698	1,662,130	128.13	4.75	37	3.90
1999	8,147,209	5,548,456	3,696,727	1,849,037	121.13	4.98	38	4.00
2000	8,067,312	5,539,893	3,836,887	1,875,356	88.29	5.22	38	4.23
2001	8,714,080	5,019,795	5,203,226	2,044,604	84.58	5.47	38	4.44
2002	8,812,621	4,744,266	5,566,405	2,187,780	84.37	5.74	39	4.90
2003	8,797,987	4,681,729	5,492,686	2,180,232	106.20	6.02	40	5.08
2004	8,905,023	4,595,038	5,830,914	2,234,132	102.29	6.31	41	5.20
2005	8,904,660	4,867,433	5,473,077	2,231,537	120.33	6.61	42	5.58
2006	9,192,740	5,373,667	5,353,027	2,455,508	116.27	6.93	43	6.00
2007	8,946,093	5,384,940	5,362,010	2,465,162	100.61	7.27	45	6.50
2008	9,190,976	5,514,033	5,298,467	2,505,335	138.52	7.62	46	6.93
2009	8,590,349	5,328,333	5,307,668	2,464,439	100.34	7.99	48	7.63
2010	9,136,708	5,227,377	5,469,123	2,611,625	152.74	8.38	49	8.03
2011	9,326,034	5,538,673	5,285,578	2,672,654	146.28	8.78	48	8.42
2012	9,050,323	5,708,005	5,259,328	2,707,984	100.16	9.21	48	8.60
2013	9,538,868	5,375,813	5,815,187	2,937,638	112.03	9.66	48	9.00
2014	9,309,278	5,252,830	5,697,837	2,874,550	111.56	10.12	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 82. Suministro de agua en la zona de estudio promedio mensual en m<sup>3</sup>

Año	Aze	aze	p1ze	p2ze	wo	Aaze	Xrp	Xrv
1977	942,719	720,028	275,476	63,799	67.73	0.63	16	1.00
1978	957,174	706,390	301,687	64,776	72.83	0.66	16	1.05
1979	985,714	658,029	368,718	80,088	101.56	0.69	19	1.35
1980	993,337	680,329	366,113	96,951	74.59	0.72	19	1.90
1981	1,048,408	688,603	402,928	115,575	88.12	0.76	20	1.90
1982	1,185,328	789,209	440,681	148,693	90.82	0.80	21	2.20
1983	1,176,771	727,896	485,240	164,132	92.91	0.83	23	2.23
1984	1,190,446	767,409	449,034	182,062	91.07	0.87	23	2.50
1985	1,204,460	755,410	482,873	186,358	84.55	0.92	24	2.53
1986	1,210,420	644,457	594,745	203,451	79.87	0.96	24	2.80
1987	1,282,147	720,838	587,575	216,044	86.38	1.01	25	2.80
1988	1,282,147	720,838	587,575	216,044	86.38	1.01	25	2.80
1989	1,403,194	775,792	660,811	258,419	100.05	1.11	27	3.10
1990	1,444,588	819,011	669,552	290,862	83.19	1.16	28	3.10
1991	1,350,051	776,456	609,851	271,640	88.01	1.22	29	3.20
1992	1,387,488	801,885	604,657	298,725	86.38	1.28	30	3.20
1993	1,464,454	877,987	635,464	321,431	99.20	1.34	33	3.50
1994	1,403,132	837,366	657,545	317,493	82.06	1.40	34	3.50
1995	1,613,196	857,366	791,198	373,840	127.00	1.47	35	3.80
1996	1,577,516	940,686	709,377	378,205	102.48	1.54	36	3.80
1997	1,544,252	940,994	709,503	378,305	79.98	1.62	36	3.90
1998	1,597,086	925,242	697,593	371,965	128.13	1.70	37	3.90
1999	1,672,820	1,019,724	679,404	413,792	121.13	1.78	38	4.00
2000	1,634,342	1,018,150	705,163	419,682	88.29	1.86	38	4.23
2001	1,759,868	922,564	956,276	457,558	84.58	1.95	38	4.44
2002	1,786,730	871,926	1,023,023	489,599	84.37	2.05	39	4.90
2003	1,810,422	860,433	1,009,474	487,910	106.20	2.15	40	5.08
2004	1,833,124	844,500	1,071,636	499,972	102.29	2.25	41	5.20
2005	1,858,707	894,562	1,005,871	499,391	120.33	2.36	42	5.58
2006	1,921,500	987,600	983,807	549,513	116.27	2.48	43	6.00
2007	1,863,085	989,672	985,458	551,674	100.61	2.60	45	6.50
2008	1,965,365	1,013,398	973,780	560,664	138.52	2.72	46	6.93
2009	1,808,774	979,269	975,471	551,512	100.34	2.85	48	7.63
2010	1,997,013	960,714	1,005,144	584,450	152.74	2.99	49	8.03
2011	2,034,562	1,017,926	971,411	598,108	146.28	3.14	48	8.42
2012	1,922,168	1,049,047	966,587	606,014	100.16	3.29	48	8.60
2013	2,047,499	987,995	1,068,745	657,408	112.03	3.45	48	9.00
2014	2,010,685	965,392	1,047,178	643,290	111.56	3.61	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

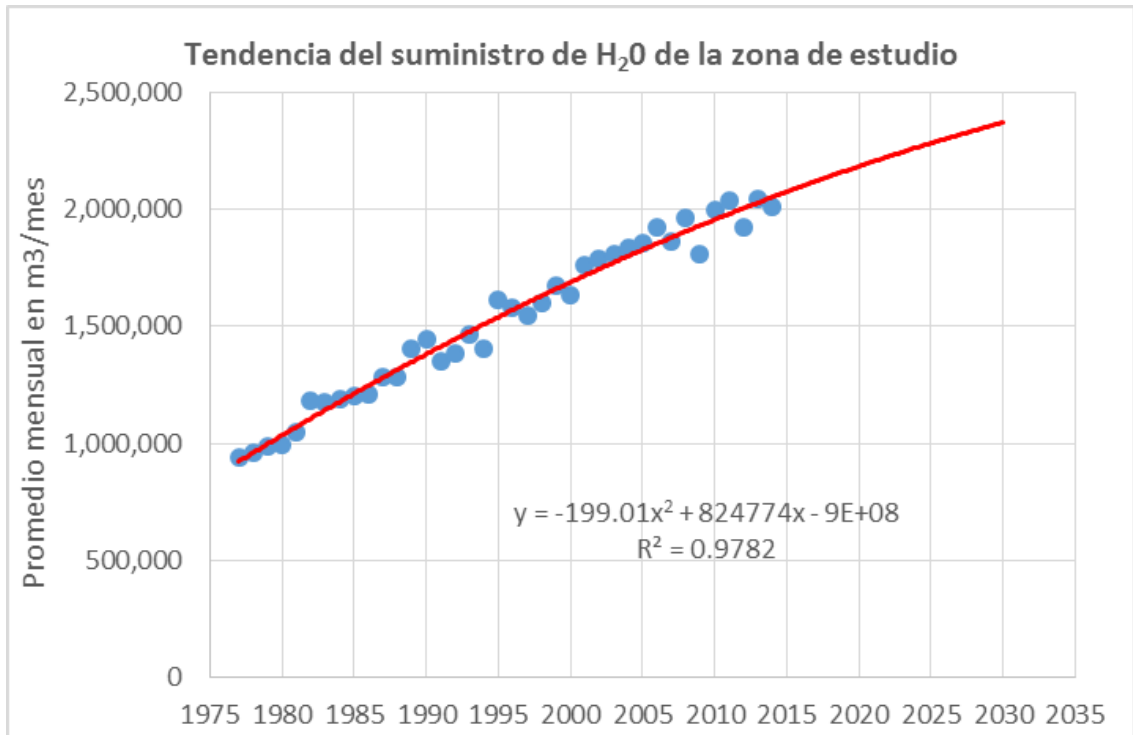


Figura 51. Tendencia del suministro de agua de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$\text{Azre} = 0.7701 (a) + 0.3740 (p1) + 1.8087 (p2) + 1814.7284 (Wo) - 84603.0216 (Aa) - 13961.64678 (Xrp) + 17826.8016 (Xrpv) + 313538.3984$$

Todas las pruebas estadísticas del suministro se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

Tabla 83. Suministro de agua en la zona 11

Año	Az11	az11	p1z11	p2z11	w <sub>o</sub>	Aaz11	Xrp	Xrpv
1977	203,574	162,533	62,183	12,817	67.73	0.0286	16	1.00
1978	205,839	159,454	68,100	13,013	72.83	0.0300	16	1.05
1979	207,921	148,538	83,231	16,089	101.56	0.0315	19	1.35
1980	212,144	153,572	82,643	19,476	74.59	0.0330	19	1.90
1981	221,803	155,439	90,953	23,218	88.12	0.0346	20	1.90
1982	250,944	178,149	99,476	29,871	90.82	0.0363	21	2.20
1983	247,693	164,309	109,534	32,972	92.91	0.0380	23	2.23
1984	249,971	173,228	101,361	36,574	91.07	0.0399	23	2.50
1985	253,413	170,520	109,000	37,438	84.55	0.0418	24	2.53
1986	254,492	145,474	134,253	40,871	79.87	0.0438	24	2.80
1987	268,528	162,716	132,634	43,401	86.38	0.0460	25	2.80
1988	268,528	162,716	132,634	43,401	86.38	0.0460	25	2.80
1989	290,564	175,120	149,166	51,914	100.05	0.0505	27	3.10
1990	301,686	184,876	151,139	58,431	83.19	0.0530	28	3.10
1991	278,916	175,271	137,662	54,570	88.01	0.0555	29	3.20
1992	286,156	181,010	136,490	60,011	86.38	0.0582	30	3.20
1993	298,953	198,189	143,444	64,572	99.20	0.0610	33	3.50
1994	288,379	189,020	148,428	63,781	82.06	0.0640	34	3.50
1995	321,560	193,534	178,598	75,101	127.00	0.0671	35	3.80
1996	318,585	212,342	160,129	75,978	102.48	0.0703	36	3.80
1997	316,258	212,412	160,157	75,998	79.98	0.0737	36	3.90
1998	312,500	208,856	157,469	74,724	128.13	0.0773	37	3.90
1999	328,953	230,184	153,363	83,127	121.13	0.0811	38	4.00
2000	329,295	229,828	159,177	84,310	88.29	0.0850	38	4.23
2001	356,625	208,252	215,861	91,919	84.58	0.0891	38	4.44
2002	360,618	196,821	230,928	98,355	84.37	0.0934	39	4.90
2003	356,070	194,227	227,870	98,016	106.20	0.0979	40	5.08
2004	360,520	190,630	241,902	100,439	102.29	0.1027	41	5.20
2005	356,671	201,931	227,056	100,323	120.33	0.1077	42	5.58
2006	369,060	222,932	222,076	110,392	116.27	0.1129	43	6.00
2007	360,701	223,400	222,449	110,826	100.61	0.1183	45	6.50
2008	362,777	228,756	219,813	112,632	138.52	0.1241	46	6.93
2009	344,068	221,052	220,194	110,793	100.34	0.1301	48	7.63
2010	355,125	216,863	226,892	117,410	152.74	0.1364	49	8.03
2011	363,006	229,778	219,278	120,154	146.28	0.1430	48	8.42
2012	360,802	236,803	218,189	121,742	100.16	0.1499	48	8.60
2013	377,741	223,021	241,249	132,067	112.03	0.1572	48	9.00
2014	366,767	217,919	236,381	129,230	111.56	0.1648	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016



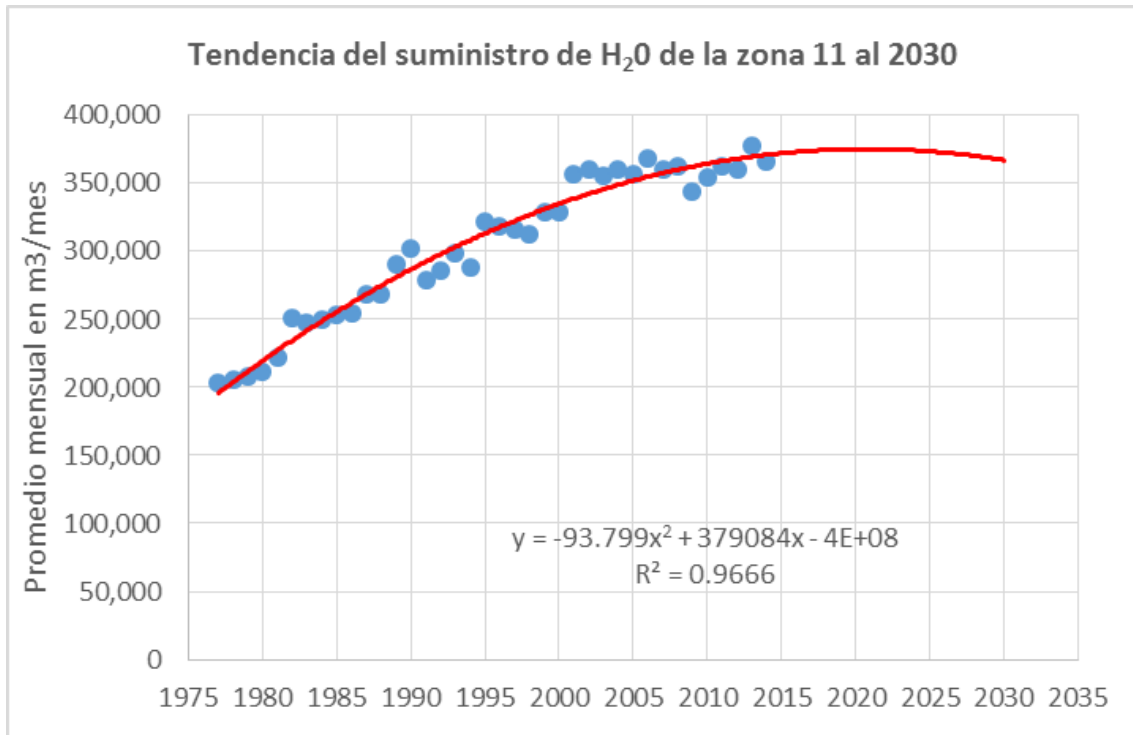


Figura 52. Tendencia del suministro de agua de la zona 11. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Az_{11} = 0.5645 (a) + 0.5007 (p1) + 1.7697 (p2) + 81.6253 (Wo) - 757023.394 (Aa) - 2493.2681 (Xrp) + 1414.86416 (Xrpv) + 115789.5774$$

Todas las pruebas estadísticas del suministro se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

Tabla 84. Suministro de agua en la zona 12

Año	Az12	az12	p1z12	p2z12	w <sub>o</sub>	Aaz12	Xrp	Xrpv
1977	223,943	162,306	62,097	13,939	67.73	0.3169	16	1.00
1978	228,707	159,231	68,005	14,153	72.83	0.3322	16	1.05
1979	241,225	148,330	83,115	17,498	101.56	0.3483	19	1.35
1980	238,331	153,357	82,528	21,182	74.59	0.3652	19	1.90
1981	254,215	155,222	90,826	25,251	88.12	0.3829	20	1.90
1982	286,362	177,900	99,336	32,487	90.82	0.4015	21	2.20
1983	285,794	164,079	109,381	35,860	92.91	0.4209	23	2.23
1984	289,358	172,986	101,219	39,778	91.07	0.4413	23	2.50
1985	291,898	170,281	108,847	40,716	84.55	0.4627	24	2.53
1986	292,922	145,271	134,065	44,451	79.87	0.4851	24	2.80
1987	311,878	162,488	132,449	47,202	86.38	0.5087	25	2.80
1988	311,878	162,488	132,449	47,202	86.38	0.5087	25	2.80
1989	345,531	174,876	148,957	56,460	100.05	0.5592	27	3.10
1990	350,675	184,618	150,928	63,549	83.19	0.5863	28	3.10
1991	332,443	175,025	137,470	59,349	88.01	0.6147	29	3.20
1992	341,569	180,757	136,299	65,267	86.38	0.6445	30	3.20
1993	365,063	197,912	143,244	70,228	99.20	0.6757	33	3.50
1994	346,343	188,755	148,221	69,367	82.06	0.7084	34	3.50
1995	413,364	193,264	178,348	81,678	127.00	0.7428	35	3.80
1996	397,251	212,045	159,905	82,632	102.48	0.7788	36	3.80
1997	381,727	212,115	159,933	82,654	79.98	0.8165	36	3.90
1998	418,250	208,564	157,248	81,269	128.13	0.8561	37	3.90
1999	434,511	229,862	153,148	90,407	121.13	0.8976	38	4.00
2000	411,618	229,507	158,955	91,694	88.29	0.9411	38	4.23
2001	439,868	207,960	215,560	99,969	84.58	0.9867	38	4.44
2002	447,847	196,546	230,605	106,970	84.37	1.0345	39	4.90
2003	468,658	193,955	227,551	106,601	106.20	1.0847	40	5.08
2004	474,331	190,364	241,563	109,236	102.29	1.1373	41	5.20
2005	495,147	201,648	226,739	109,109	120.33	1.1924	42	5.58
2006	510,025	222,621	221,766	120,060	116.27	1.2502	43	6.00
2007	489,401	223,088	222,138	120,532	100.61	1.3108	45	6.50
2008	544,797	228,436	219,505	122,496	138.52	1.3743	46	6.93
2009	484,241	220,743	219,886	120,497	100.34	1.4409	48	7.63
2010	574,186	216,560	226,575	127,693	152.74	1.5107	49	8.03
2011	583,109	229,457	218,971	130,677	146.28	1.5840	48	8.42
2012	521,540	236,472	217,884	132,405	100.16	1.6607	48	8.60
2013	565,397	222,710	240,912	143,633	112.03	1.7412	48	9.00
2014	561,966	217,615	236,050	140,549	111.56	1.8256	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

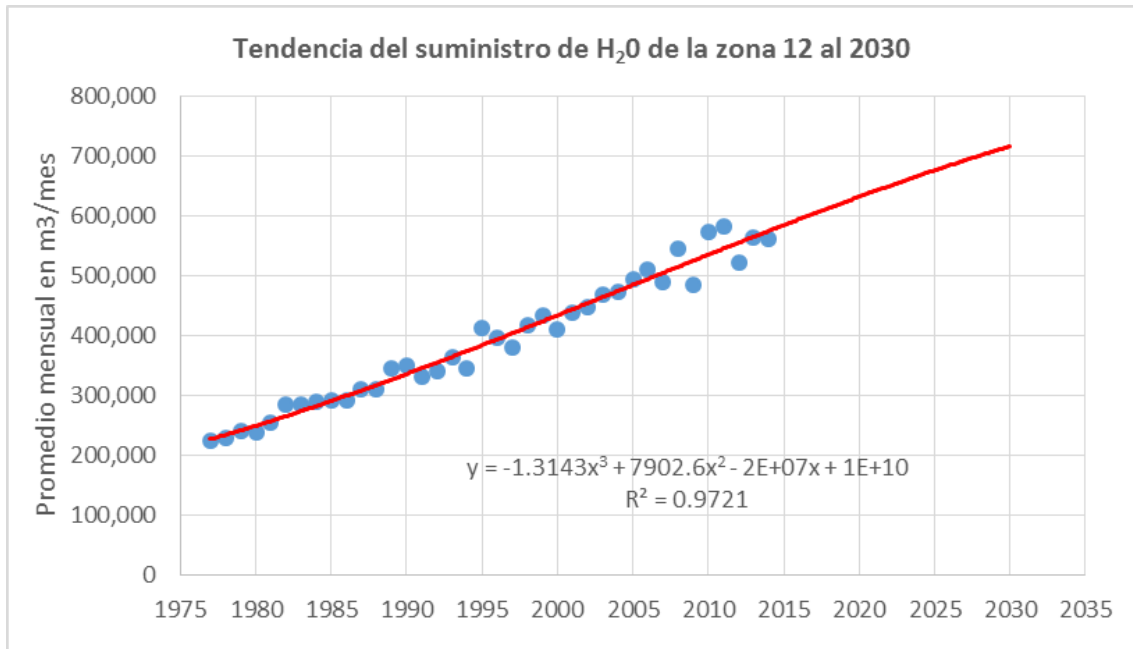


Figura 53. Tendencia del suministro de agua de la zona 12. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

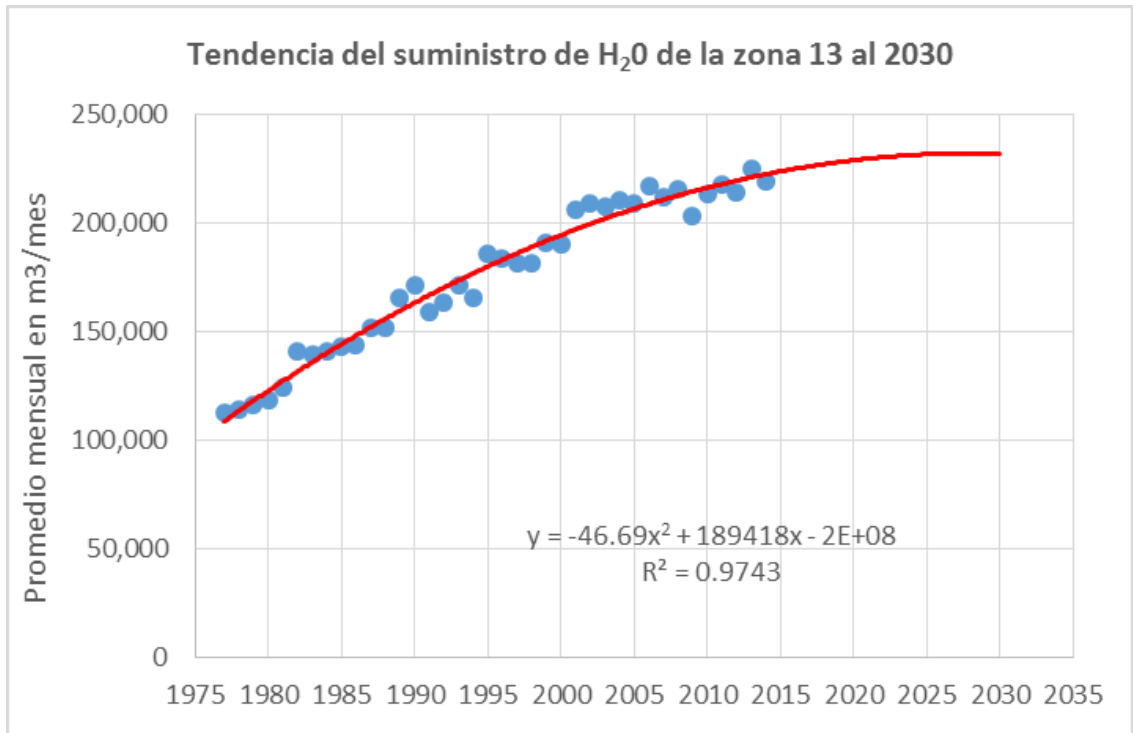
$$Az_{12} = 1.0911 (a) + 0.1777 (p_1) + 2.0313 (p_2) + 918.0758 (W_o) + 10976.0501 (A_a) - 4197.5853 (X_{rp}) + 8273.4027 (X_{rpv}) + 354.2604$$

Todas las pruebas estadísticas del suministro se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

Tabla 85. *Suministro de agua en la zona 13*

Año	Az12	az12	p1z12	p2z12	w <sub>o</sub>	Aaz12	Xrp	Xrv
1977	112,777	88,298	33,782	8,273	67.73	0.0286	16	1.00
1978	114,139	86,626	36,996	8,399	72.83	0.0300	16	1.05
1979	116,038	80,695	45,217	10,385	101.56	0.0315	19	1.35
1980	118,327	83,430	44,897	12,571	74.59	0.0330	19	1.90
1981	124,218	84,445	49,412	14,986	88.12	0.0346	20	1.90
1982	140,819	96,782	54,042	19,280	90.82	0.0363	21	2.20
1983	139,472	89,263	59,506	21,282	92.91	0.0380	23	2.23
1984	141,103	94,109	55,066	23,607	91.07	0.0399	23	2.50
1985	143,014	92,637	59,216	24,164	84.55	0.0418	24	2.53
1986	143,915	79,031	72,935	26,381	79.87	0.0438	24	2.80
1987	152,006	88,398	72,056	28,013	86.38	0.0460	25	2.80
1988	152,006	88,398	72,056	28,013	86.38	0.0460	25	2.80
1989	165,302	95,137	81,037	33,508	100.05	0.0505	27	3.10
1990	171,694	100,437	82,108	37,715	83.19	0.0530	28	3.10
1991	159,155	95,218	74,787	35,222	88.01	0.0555	29	3.20
1992	163,691	98,337	74,150	38,734	86.38	0.0582	30	3.20
1993	171,544	107,669	77,928	41,678	99.20	0.0610	33	3.50
1994	165,354	102,688	80,636	41,168	82.06	0.0640	34	3.50
1995	185,967	105,141	97,026	48,474	127.00	0.0671	35	3.80
1996	183,837	115,358	86,992	49,040	102.48	0.0703	36	3.80
1997	181,969	115,396	87,008	49,053	79.98	0.0737	36	3.90
1998	181,633	113,464	85,547	48,231	128.13	0.0773	37	3.90
1999	191,348	125,051	83,317	53,655	121.13	0.0811	38	4.00
2000	190,573	124,858	86,476	54,418	88.29	0.0850	38	4.23
2001	206,160	113,136	117,270	59,329	84.58	0.0891	38	4.44
2002	209,069	106,926	125,455	63,484	84.37	0.0934	39	4.90
2003	207,699	105,517	123,794	63,265	106.20	0.0979	40	5.08
2004	210,386	103,563	131,417	64,829	102.29	0.1027	41	5.20
2005	209,364	109,702	123,352	64,754	120.33	0.1077	42	5.58
2006	217,096	121,111	120,646	71,253	116.27	0.1129	43	6.00
2007	211,984	121,365	120,849	71,533	100.61	0.1183	45	6.50
2008	215,646	124,275	119,417	72,699	138.52	0.1241	46	6.93
2009	203,340	120,090	119,624	71,512	100.34	0.1301	48	7.63
2010	213,476	117,814	123,263	75,783	152.74	0.1364	49	8.03
2011	218,007	124,830	119,126	77,554	146.28	0.1430	48	8.42
2012	214,240	128,647	118,534	78,579	100.16	0.1499	48	8.60
2013	225,538	121,160	131,062	85,243	112.03	0.1572	48	9.00
2014	219,600	118,388	128,418	83,412	111.56	0.1648	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016



*Figura 54.* Tendencia del suministro de agua de la zona 13. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Az_{13} = 0.6072 (a) + 0.4733 (p_1) + 1.6739 (p_2) + 82.2677 (W_o) - 378107.4242 (A_a) - 1419.5166 (X_{rp}) + 990.4747 (X_{rpv}) + 57885.4776$$

Todas las pruebas estadísticas del suministro se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

Tabla 86. Suministro de agua en la zona 14

Año	Az14	az14	p1z14	p2z14	w <sub>o</sub>	Aaz14	Xrp	Xrpv
1977	89,566	67,173	25,700	5,995	67.73	0.0818	16	1.00
1978	91,115	65,901	28,145	6,087	72.83	0.0858	16	1.05
1979	94,608	61,389	34,399	7,526	101.56	0.0899	19	1.35
1980	94,734	63,469	34,156	9,111	74.59	0.0943	19	1.90
1981	100,360	64,241	37,590	10,861	88.12	0.0989	20	1.90
1982	113,355	73,627	41,112	13,973	90.82	0.1036	21	2.20
1983	112,761	67,907	45,269	15,424	92.91	0.1087	23	2.23
1984	114,127	71,593	41,891	17,109	91.07	0.1139	23	2.50
1985	115,359	70,474	45,048	17,513	84.55	0.1194	24	2.53
1986	115,898	60,123	55,485	19,119	79.87	0.1252	24	2.80
1987	122,979	67,249	54,816	20,302	86.38	0.1313	25	2.80
1988	122,979	67,249	54,816	20,302	86.38	0.1313	25	2.80
1989	135,179	72,375	61,649	24,284	100.05	0.1443	27	3.10
1990	138,536	76,407	62,464	27,333	83.19	0.1513	28	3.10
1991	130,093	72,437	56,894	25,527	88.01	0.1586	29	3.20
1992	133,719	74,810	56,410	28,072	86.38	0.1663	30	3.20
1993	141,746	81,909	59,284	30,206	99.20	0.1744	33	3.50
1994	135,370	78,120	61,344	29,836	82.06	0.1828	34	3.50
1995	157,656	79,986	73,813	35,131	127.00	0.1917	35	3.80
1996	153,265	87,759	66,179	35,541	102.48	0.2010	36	3.80
1997	149,099	87,787	66,191	35,550	79.98	0.2107	36	3.90
1998	157,275	86,318	65,080	34,955	128.13	0.2209	37	3.90
1999	164,296	95,132	63,383	38,885	121.13	0.2316	38	4.00
2000	158,832	94,985	65,786	39,439	88.29	0.2428	38	4.23
2001	170,592	86,068	89,213	42,998	84.58	0.2546	38	4.44
2002	173,398	81,344	95,440	46,009	84.37	0.2669	39	4.90
2003	177,650	80,272	94,176	45,850	106.20	0.2798	40	5.08
2004	179,858	78,785	99,975	46,984	102.29	0.2934	41	5.20
2005	184,231	83,456	93,840	46,929	120.33	0.3076	42	5.58
2006	190,256	92,135	91,782	51,639	116.27	0.3225	43	6.00
2007	183,818	92,329	91,936	51,842	100.61	0.3381	45	6.50
2008	197,646	94,542	90,846	52,687	138.52	0.3545	46	6.93
2009	179,676	91,358	91,004	51,827	100.34	0.3717	48	7.63
2010	203,564	89,627	93,772	54,922	152.74	0.3897	49	8.03
2011	207,143	94,965	90,625	56,206	146.28	0.4086	48	8.42
2012	191,875	97,868	90,175	56,949	100.16	0.4283	48	8.60
2013	205,701	92,172	99,706	61,778	112.03	0.4491	48	9.00
2014	202,883	90,064	97,694	60,452	111.56	0.4708	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

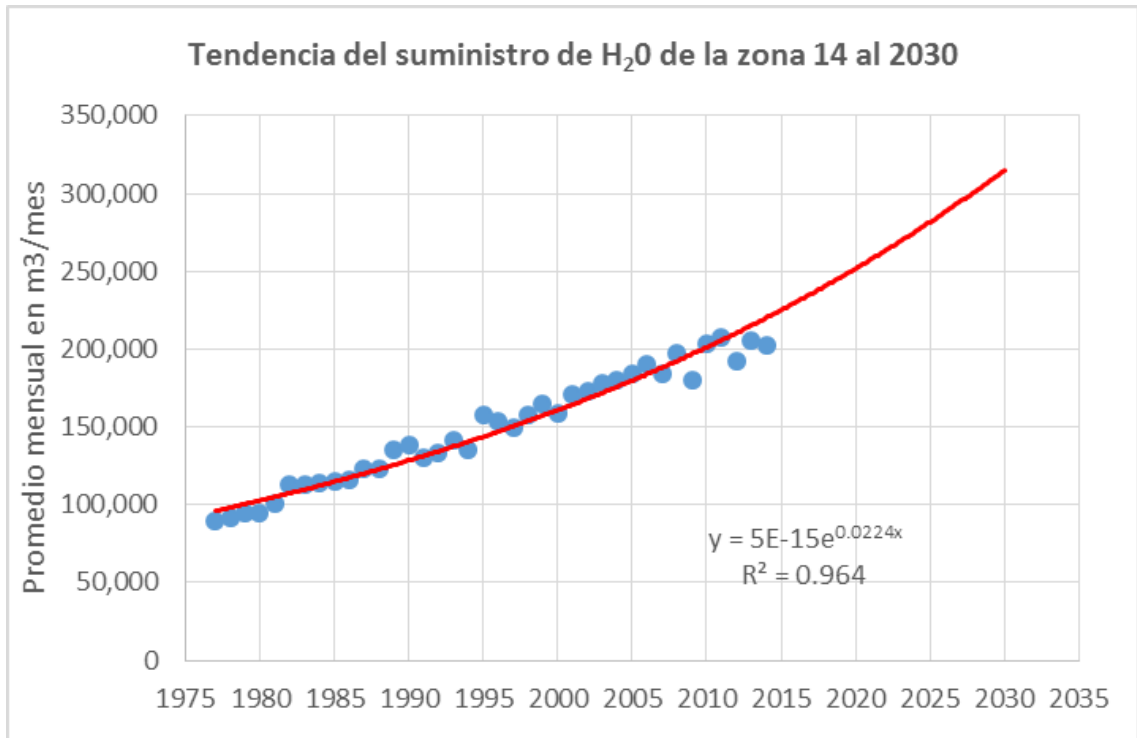


Figura 55. Tendencia del suministro de agua de la zona 14. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Az_{14} = 0.8724 (a) + 0.3113 (p_1) + 1.8635 (p_2) + 236.6488 (W_0) - 35839.3674 (Aa) - 1439.9501 (X_{rp}) + 2216.9088 (X_{rpv}) + 19975.6361$$

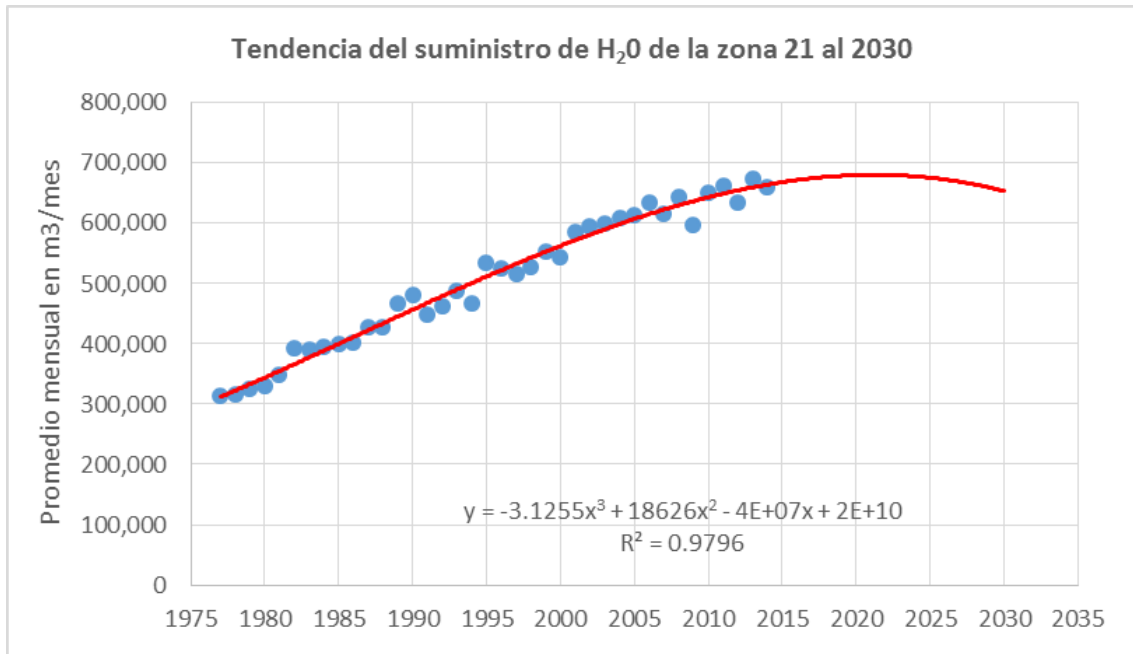
Todas las pruebas estadísticas del suministro se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

Tabla 87. Suministro de agua en la zona 21

Año	Az21	az21	p1z21	p2z21	Wo	Aaz21	Xrp	Xrpv
1977	312,859	239,718	91,714	22,776	67.73	0.1718	16	1.00
1978	317,373	235,178	100,440	23,124	72.83	0.1801	16	1.05
1979	325,921	219,077	122,757	28,591	101.56	0.1889	19	1.35
1980	329,801	226,501	121,890	34,610	74.59	0.1980	19	1.90
1981	347,812	229,256	134,146	41,259	88.12	0.2076	20	1.90
1982	393,848	262,751	146,716	53,082	90.82	0.2176	21	2.20
1983	391,050	242,338	161,550	58,593	92.91	0.2282	23	2.23
1984	395,886	255,493	149,497	64,994	91.07	0.2392	23	2.50
1985	400,776	251,498	160,762	66,528	84.55	0.2508	24	2.53
1986	403,192	214,558	198,008	72,629	79.87	0.2630	24	2.80
1987	426,756	239,988	195,621	77,125	86.38	0.2757	25	2.80
1988	426,756	239,988	195,621	77,125	86.38	0.2757	25	2.80
1989	466,618	258,283	220,003	92,252	100.05	0.3031	27	3.10
1990	481,997	272,672	222,913	103,834	83.19	0.3178	28	3.10
1991	449,443	258,505	203,037	96,972	88.01	0.3331	29	3.20
1992	462,353	266,971	201,308	106,641	86.38	0.3493	30	3.20
1993	487,147	292,307	211,564	114,747	99.20	0.3662	33	3.50
1994	467,685	278,783	218,916	113,341	82.06	0.3839	34	3.50
1995	534,649	285,442	263,413	133,456	127.00	0.4025	35	3.80
1996	524,577	313,181	236,172	135,015	102.48	0.4220	36	3.80
1997	515,200	313,284	236,214	135,050	79.98	0.4425	36	3.90
1998	527,427	308,040	232,249	132,787	128.13	0.4639	37	3.90
1999	553,711	339,496	226,193	147,719	121.13	0.4864	38	4.00
2000	544,024	338,972	234,769	149,821	88.29	0.5099	38	4.23
2001	586,622	307,148	318,372	163,342	84.58	0.5346	38	4.44
2002	595,798	290,289	340,594	174,781	84.37	0.5605	39	4.90
2003	600,345	286,463	336,083	174,178	106.20	0.5877	40	5.08
2004	608,029	281,158	356,778	178,484	102.29	0.6161	41	5.20
2005	613,295	297,826	334,883	178,276	120.33	0.6460	42	5.58
2006	635,063	328,801	327,538	196,169	116.27	0.6773	43	6.00
2007	617,181	329,490	328,087	196,941	100.61	0.7101	45	6.50
2008	644,500	337,389	324,199	200,150	138.52	0.7445	46	6.93
2009	597,449	326,027	324,762	196,883	100.34	0.7805	48	7.63
2010	650,662	319,850	334,641	208,642	152.74	0.8183	49	8.03
2011	663,297	338,897	323,411	213,517	146.28	0.8580	48	8.42
2012	633,711	349,258	321,805	216,340	100.16	0.8995	48	8.60
2013	673,123	328,932	355,816	234,686	112.03	0.9431	48	9.00
2014	659,469	321,407	348,636	229,646	111.56	0.9888	49	9.50

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016





*Figura 56.* Tendencia del suministro de agua de la zona 21. Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Az_{21} = 0.7234 (a) + 0.4021 (p_1) + 1.7292 (p_2) + 496.1112 (W_0) - 123387.4903 (A_a) - 4010.3528 (X_{rp}) + 4926.9277 (X_{rpv}) + 119574.0238$$

Todas las pruebas estadísticas del suministro se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

A continuación, se presentan las ecuaciones de oferta de agua:

Tabla 88. *Resumen de los modelos matemáticos del suministro de agua*

Variable	Coeficientes que definen la ecuación del suministro de agua en algunas áreas de Guatemala						
	Ciudad	Zona de Estudio	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21
Intercepción	2359662.207	313538.3984	115789.5774	354.2604047	57885.47762	19975.63314	119574.0238
a	0.64580141	0.770066908	0.564461764	1.091143786	0.607177825	0.872399094	0.723378723
p1	0.451355717	0.374024432	0.500662812	0.177666648	0.473329141	0.311324423	0.402089643
p2	1.892063063	1.808727035	1.769724642	2.031267665	1.67387741	1.863546219	1.729212847
w <sub>o</sub>	5066.54473	1814.728443	81.62530853	918.0757609	82.26774752	236.6487607	496.1111893
Aa	-241782.6848	-84603.0216	-757023.394	10976.05005	-378107.424	-35839.3674	-123387.4903
Xrp	-66690.52537	-13961.64678	-2493.268085	-4197.58534	-1419.51662	-1439.95002	-4410.352777
Xrpv	61467.5793	17826.80158	1414.86405	8273.402714	990.4746979	2216.908832	4926.927719

Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa Excel ® 2016

$$Ac = 0.6458(a) + 0.4514(p1) + 1.8921(p2) + 5066.5447(Wo) - 241782.6848(Aa) - 66690.5254(Xrp) + 61467.5793(Xrpv) + 2359662.207$$

#### 4.6 Índice de criterios de sostenibilidad hídrica (ISH)

$$ISH = F (C_A, C_E, C_S) \quad (\text{Ecuación 1})$$

##### 4.6.1 Índice de criterio ambiental 1 f(CA1)

Este criterio dice: “Que el suministro de agua cubra las demandas de la población”, bajo el criterio que se logren satisfacer las necesidades actuales del agua, a través de una explotación sostenible de los recursos hídricos permitiendo a las próximas generaciones satisfacer sus necesidades de agua = F (CA1). Lo anterior se puede expresar matemáticamente de la siguiente forma:

*Suministro = Demanda*

$$1 = \frac{\text{Suministro}}{\text{Demanda}}$$

$$F(\text{CA1}) = \frac{A}{D}$$

Para definir la **F (CA1) P** (de la población) o **F (CA1) T** (Total) debe calcularse tanto la demanda (D) como el suministro (A), para lo cual se procede a proponer los diferentes modelos así: DT = Demanda Total = Dp + Dpp (Dp = Demanda de la población y Dpp = Demanda para producir)

$$F(\text{CA1}) P_{\text{ciudad}} = A_c / D_{pc}$$

$$F(\text{CA1}) T_{\text{ciudad}} = A_c / DT_c$$

$$F(\text{CA1}) P_{ze} = A_{ze} / D_{pze}$$

$$F(\text{CA1}) T_{ze} = A_{ze} / DT_{ze}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z11} = A_{z11} / D_{pz11}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z11} = A_{z11} / DT_{z11}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z12} = A_{z12} / D_{pz12}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z12} = A_{z12} / DT_{z12}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z13} = A_{z13} / D_{pz13}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z13} = A_{z13} / DT_{z13}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z14} = A_{z14} / D_{pz14}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z14} = A_{z14} / DT_{z14}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z21} = A_{z21} / D_{pz21}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z21} = A_{z21} / DT_{z21}$$

En las ecuaciones presentadas con anterioridad se incorpora la demanda del sector privado para producir (Dpp), la cual fue calculada para establecer la condición ideal, en la cual el suministro de agua incorpore las necesidades del sector privado, y también sirvió en los escenarios del futuro. También se presentan sin ella para establecer la brecha del agua.

Por lo pronto la condición real de la demanda es únicamente solo para la población a la cual se le denominó (Dp) y esta no incorpora las necesidades del sector privado para producir, en la ecuación basta con poner Cero en esta variable.

Tabla 89. Índice de Sostenibilidad hídrica de ciudad Guatemala como F (CA1)

Año	F(CA1)Tc = A/DTc	F(CA1) P = A/Dpc	A	Dpc	Dppc	DTc
1977	0.432	1.280	4,955,813	3,871,752	7,592,298	11,464,050
1978	0.429	1.206	5,019,273	4,162,566	7,543,110	11,705,676
1979	0.436	1.167	5,101,601	4,371,286	7,341,565	11,712,851
1980	0.431	1.146	5,169,944	4,512,933	7,469,365	11,982,298
1981	0.458	1.201	5,417,846	4,511,252	7,329,896	11,841,148
1982	0.505	1.290	6,117,462	4,740,671	7,374,437	12,115,109
1983	0.494	1.248	6,042,411	4,841,434	7,380,115	12,221,550
1984	0.489	1.211	6,094,592	5,031,985	7,427,964	12,459,949
1985	0.501	1.236	6,172,400	4,994,332	7,317,796	12,312,128
1986	0.534	1.278	6,191,134	4,843,596	6,741,238	11,584,834
1987	0.531	1.217	6,542,372	5,374,881	6,940,184	12,315,065
1988	0.531	1.217	6,542,372	5,374,881	6,940,184	12,315,065
1989	0.556	1.235	7,098,916	5,746,163	7,024,790	12,770,953
1990	0.563	1.250	7,331,064	5,866,570	7,163,222	13,029,792
1991	0.534	1.221	6,807,217	5,575,610	7,178,001	12,753,611
1992	0.562	1.332	6,977,211	5,236,963	7,168,160	12,405,124
1993	0.606	1.547	7,316,134	4,727,919	7,351,867	12,079,786
1994	0.598	1.589	7,032,680	4,426,103	7,342,434	11,768,537
1995	0.661	1.817	7,934,599	4,367,176	7,628,342	11,995,517
1996	0.659	1.863	7,812,334	4,193,544	7,669,476	11,863,020
1997	0.606	1.766	7,707,447	4,364,362	8,359,619	12,723,982
1998	0.615	1.673	7,768,771	4,644,802	7,986,900	12,631,702
1999	0.632	1.669	8,147,209	4,881,591	8,011,369	12,892,960
2000	0.590	1.579	8,067,312	5,108,068	8,570,310	13,678,378
2001	0.558	1.702	8,714,080	5,120,058	10,495,396	15,615,454
2002	0.647	1.709	8,812,621	5,156,408	8,469,800	13,626,208
2003	0.593	1.658	8,797,987	5,305,780	9,539,805	14,845,585
2004	0.624	1.604	8,905,023	5,550,980	8,726,647	14,277,626
2005	0.584	1.610	8,904,660	5,532,010	9,725,866	15,257,876
2006	0.620	1.704	9,192,740	5,395,131	9,433,599	14,828,729
2007	0.541	1.242	8,946,093	7,201,655	9,324,351	16,526,006
2008	0.559	1.249	9,190,976	7,357,393	9,075,359	16,432,752
2009	0.510	1.081	8,590,349	7,944,540	8,908,623	16,853,163
2010	0.523	1.073	9,136,708	8,513,524	8,961,831	17,475,355
2011	0.510	1.003	9,326,034	9,298,177	9,000,191	18,298,369
2012	0.476	0.984	9,050,323	9,198,088	9,797,134	18,995,222
2013	0.493	1.076	9,538,868	8,861,474	10,475,362	19,336,837
2014	0.445	1.086	9,309,278	8,575,337	12,358,064	20,933,401

Fuente: elaboración propia. 2016

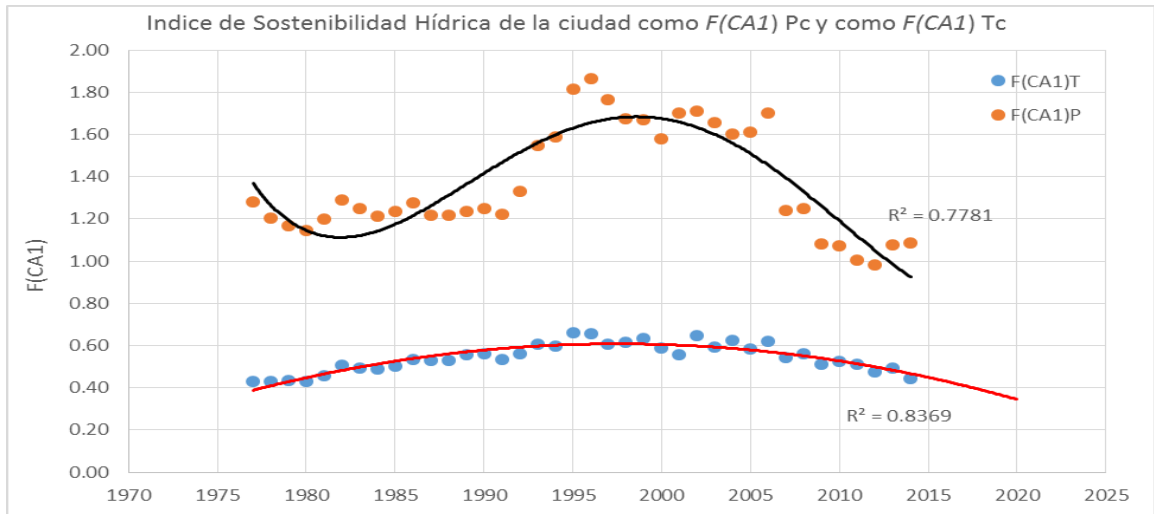


Figura 57. Tendencia de la sostenibilidad hídrica en ciudad Guatemala

Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de estos datos es\_

$$F(CA1)Pc = 3.16582 + 1.437E-07(a.c) + 1.410E-07(p1.c) + 1.430E-07(p2.c) + 0.00004093(wo.c) - 0.1333(Aa.c) - 0.00478(Xrp.c) + 0.0274(Xrpv.c) + 0.0173(Xall.c) - 2.6891E-06(hab.d.c) - 3.6108E-07(hab.e.c) + 3.7089E-07(hab.a.c) - 0.005465(Rmm.hab.d.c) + 0.01494(Rmm.hab.e.e) + 0.01133(Rmm.hab.a.ze)$$

$$F(CA1)Tc = 0.72658 + 4.227E-08(a.c) + 3.54147E-08(p1.c) + 1.228E-07(p2.c) + 0.0003430(wo.c) - 0.064055(Aa.c) - 0.00268(Xrp.c) + 0.00912134(Xrpv.c) + 0.01919(Xall.c) - 8.8489E-08(hab.d.c) + 7.475E-08(hab.e.c) + 1.0324E-08(hab.a.c) - 0.00111(Rmm.hab.d.c) + 0.00145(Rmm.hab.e.e) + 0.00444(Rmm.hab.a.ze) - 3.522E-08(Dpp.c).$$

El sub índice **c** indica ciudad.

Tabla 90. Estadísticas de regresión para el modelo  $F(CA1)c$

Variables estadísticas	$F(CA1)Tc$	$F(CA1)Pc$
Coeficiente de correlación múltiple	0.984481303	0.992949238
Coeficiente de determinación $R^2$	0.969203437	0.98594819
$R^2$ ajustado	0.968153554	0.985502101
Error típico	0.01441693	0.02958434
Observaciones	456	456

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 91. *Análisis de varianza para el modelo F (CA1)c*

Variables	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Promedio de los cuadrados		F		Valor crítico de F	
	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc
Regresión	15	14	2.878133621	27.0822152	0.191875575	1.934443944	923.153899	2210.20406	0	0
Residuos	440	441	0.091453064	0.38597784	0.000207848	0.000875233				
Total	455	455	2.969586685	27.468193						

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 92. *Análisis de errores para el modelo F (CA1)c*

Variables	Error típico		Estadístico t		Probabilidad		Inferior 95%		Superior 95%	
	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc	F(CA1)/Tc	F(CA1)/Pc
Intercepto	0.06200742	0.12723345	11.71767164	24.88204428	8.69654E-28	5.05644E-86	0.604715055	2.91576901	0.848450115	3.41588751
a.c	4.4846E-09	8.6842E-09	9.425749982	16.55308246	2.45449E-19	3.23448E-48	3.34568E-08	1.2668E-07	5.10845E-08	1.60818E-07
p1.c	4.6123E-09	8.807E-09	7.678313289	16.01544438	1.05313E-13	7.81641E-46	2.63499E-08	1.2374E-07	4.44797E-08	1.58358E-07
p2.c	1.9241E-08	3.7541E-08	6.38628311	3.811020546	4.3265E-10	0.000158059	8.50645E-08	6.9288E-08	1.60697E-07	2.16852E-07
wo.c	6.5909E-06	1.3525E-05	52.05512297	3.026341552	3.5626E-190	0.002620232	0.000330136	1.435E-05	0.000356043	6.75117E-05
Aa.c	0.00609504	0.01235964	-10.50944143	-10.78769897	3.364E-23	3.08506E-24	-0.07603443	-0.1576232	-0.052076426	-0.109041
Xp.c	0.00067715	0.00129887	-3.958577178	-3.686006116	8.78997E-05	0.000256169	-0.00401142	-0.0073404	-0.001349706	-0.002234899
Xpv.c	0.00468198	0.00955445	1.9481834	2.874037497	0.052028454	0.004248507	-8.0468E-05	0.00868193	0.018323161	0.046237755
Xall.c	0.00321607	0.00611203	5.968039044	2.844169625	4.94586E-09	0.004659854	0.012872869	0.00537132	0.02551441	0.02939598
hab.d.c	8.315E-08	1.6874E-07	-1.064219759	-15.93621208	0.287812833	1.74808E-45	-2.5191E-07	-3.021E-06	7.49302E-08	-2.3575E-06
hab.e.c	6.2721E-08	1.2629E-07	1.191930442	-2.859265354	0.23393099	0.004447633	-4.8511E-08	-6.093E-07	1.98029E-07	-1.12888E-07
hab.az.c	3.5291E-08	7.1196E-08	0.292542139	5.20941129	0.770010045	2.91379E-07	-5.9036E-08	2.3096E-07	7.96846E-08	5.10817E-07
Rmm.hab.d.c	5.8252E-05	0.00011221	-19.19791448	-48.7061396	4.0955E-60	1.4564E-179	-0.00123281	-0.0056858	-0.001003836	-0.005244728
Rmm.hab.e.c	0.00196693	0.00402262	0.742063342	3.715734442	0.458444886	0.000228657	-0.00240616	0.00704111	0.005325344	0.022852896
Rmm.hab.a.c	0.00282543	0.00577782	1.572538413	1.96153084	0.116544504	0.050445833	-0.00110992	-2.211E-05	0.009996108	0.022688842
Dpp.c	1.7582E-09		-20.03308854		6.41543E-64		-3.8677E-08		-3.17661E-08	

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 93. Índice de Sostenibilidad hídrica de la zona de estudio como F (CA1)

Año	$F(CA1)_{Tze} = Aze/DTze$	$F(CA1)_{Pze} = Aze/Dpze$	Aze	Dpze	Dppze	DTze
1977	0.26	0.935	942,719	1,007,763	2,657,222	3,664,985
1978	0.26	0.933	957,174	1,025,931	2,637,319	3,663,250
1979	0.28	0.953	985,714	1,034,248	2,536,050	3,570,298
1980	0.27	0.916	993,337	1,084,032	2,548,400	3,632,432
1981	0.30	0.972	1,048,408	1,078,452	2,472,756	3,551,207
1982	0.33	1.071	1,185,328	1,106,793	2,474,409	3,581,202
1983	0.33	1.051	1,176,771	1,119,640	2,490,891	3,610,531
1984	0.33	1.057	1,190,446	1,125,808	2,486,555	3,612,363
1985	0.33	1.050	1,204,460	1,146,975	2,453,636	3,600,612
1986	0.36	1.039	1,210,420	1,164,679	2,237,482	3,402,161
1987	0.37	1.072	1,282,147	1,195,945	2,312,199	3,508,144
1988	0.37	1.072	1,282,147	1,195,945	2,312,199	3,508,144
1989	0.39	1.140	1,403,194	1,231,018	2,364,368	3,595,386
1990	0.40	1.159	1,444,588	1,246,162	2,405,631	3,651,793
1991	0.37	1.072	1,350,051	1,259,371	2,402,661	3,662,031
1992	0.37	1.069	1,387,488	1,297,780	2,412,590	3,710,370
1993	0.39	1.119	1,464,454	1,308,538	2,492,316	3,800,854
1994	0.37	1.061	1,403,132	1,322,700	2,491,221	3,813,922
1995	0.41	1.204	1,613,196	1,339,437	2,595,388	3,934,825
1996	0.40	1.165	1,577,516	1,353,637	2,615,309	3,968,946
1997	0.37	1.129	1,544,252	1,367,633	2,848,817	4,216,449
1998	0.39	1.158	1,597,086	1,378,802	2,741,198	4,120,000
1999	0.40	1.192	1,672,820	1,403,601	2,744,911	4,148,511
2000	0.37	1.106	1,634,342	1,477,365	2,941,489	4,418,853
2001	0.35	1.181	1,759,868	1,489,796	3,607,555	5,097,351
2002	0.40	1.184	1,786,730	1,509,655	3,011,142	4,520,797
2003	0.37	1.188	1,810,422	1,524,069	3,394,889	4,918,959
2004	0.39	1.190	1,833,124	1,540,893	3,169,351	4,710,244
2005	0.36	1.199	1,858,707	1,549,574	3,593,588	5,143,162
2006	0.38	1.222	1,921,500	1,571,980	3,500,638	5,072,618
2007	0.37	1.147	1,863,085	1,624,876	3,446,373	5,071,249
2008	0.39	1.192	1,965,365	1,648,612	3,417,185	5,065,798
2009	0.36	1.091	1,808,774	1,658,498	3,305,871	4,964,368
2010	0.40	1.196	1,997,013	1,669,760	3,316,838	4,986,598
2011	0.40	1.208	2,034,562	1,684,850	3,341,979	5,026,828
2012	0.36	1.129	1,922,168	1,702,571	3,610,155	5,312,726
2013	0.37	1.192	2,047,499	1,717,732	3,857,790	5,575,521
2014	0.32	1.169	2,010,685	1,719,938	4,492,338	6,212,276

Fuente: elaboración propia. 2016

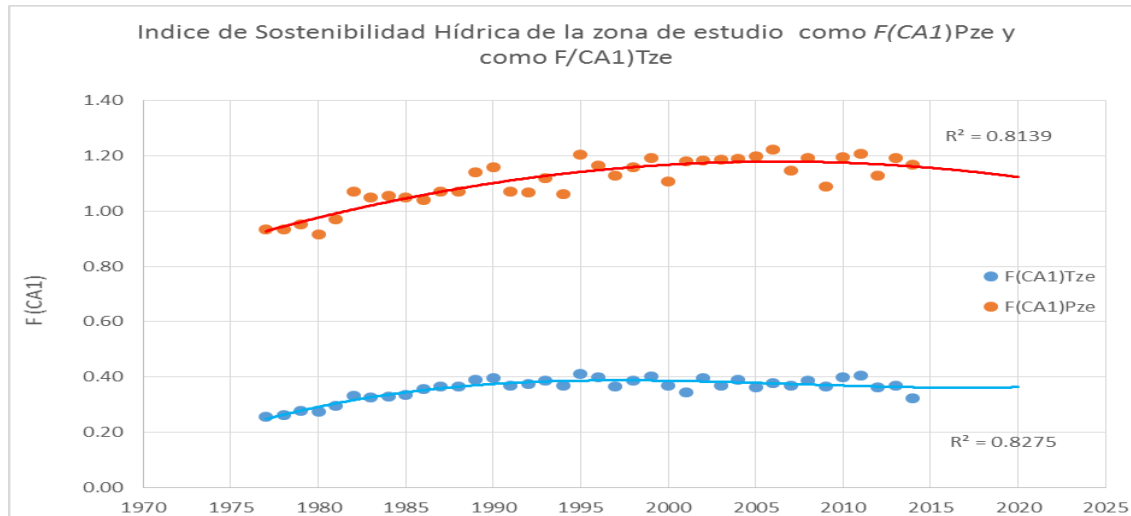


Figura 58. Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona de estudio Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de estos datos es

$$F(CA1)Pze = 1.8906 + 5.497E-07(a.ze) + 5.293E-07(p1.ze) + 5.75007E-07(p2.ze) + 0.000070(wo.ze) - 0.19375(Aa.ze) - 0.00824(Xrp.ze) - 0.02675(Xrpv.ze) + 0.026755(Xall.ze) - 1.9305E-06(hab.d.ze) - 5.5934E-07(hab.e.ze) + 9.6570E-08(hab.a.ze) - 0.007047(Rmm.hab.d.ze) - 0.0000604(Rmm.hab.e.ze) + 0.02479(Rmm.hab.a.ze)$$

$$F(CA1)Tze = 0.5543 + 1.5139E-07(aze) + 9.8632E-08(p1ze) + 4.0242E-07(p2ze) + 0.000402(woze) - 0.06573(Aaze) - 0.00184(Xrpze) + 0.00439(Xrpvze) + 0.00573(Xallze) + 1.0859E-08(hab.d.ze) + 1.0636E-07(hab.e.ze) - 1.8647E-07(hab.a.ze) - 0.00188(Rmm.hab.d.ze) - 0.00406(Rmm.hab.e.ze) + 0.01443(Rmm.hab.a.ze) - 6.6193E-08(Dpp.ze)$$

Tabla 94. Estadísticas de regresión del modelo F(CA1)ze

<i>Variables estadísticas</i>	<i>F(CA1)Tc</i>	<i>F(CA1)Pc</i>
Coeficiente de correlación múltiple	0.972754085	0.979619954
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.946250509	0.959655254
R <sup>2</sup> ajustado	0.94441814	0.958374468
Error típico	0.015363874	0.013171371
Observaciones	456	456



Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 95. Análisis de varianza para el modelo F (CA1) ze

Variables	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Promedio de los cuadrados		F		Valor crítico de F	
	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze
Regresión	15	14	1.82846194	1.81982155	0.12189746	0.129987254	516.408273	749.2708032	3.3756E-268	5.1677E-297
Residuos	440	441	0.10386139	0.07650689	0.00023605	0.000173485				
Total	455	455	1.93232333	1.89632844						

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 96. Análisis de errores para el modelo F (CA1) ze

Variables	Error típico		Estadístico t		Probabilidad		Inferior 95%		Superior 95%	
	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze	F(CA1)Tze	F(CA1)Pze
Intercepto	0.13616815	0.11672506	4.07076589	16.19735483	5.556E-05	1.22686E-46	0.286687844	1.661230734	0.82192946	2.12004376
a.ze	2.7866E-08	2.2873E-08	5.43296269	24.03381335	9.1929E-08	3.41617E-82	9.66289E-08	5.04761E-07	2.0616E-07	5.9467E-07
p1.ze	2.8813E-08	2.3369E-08	3.42317023	22.64955205	0.00067689	6.6286E-76	4.2004E-08	4.83373E-07	1.5526E-07	5.7523E-07
p2.ze	9.86E-08	8.1383E-08	4.08142333	7.065463872	5.3161E-05	6.2844E-12	2.08642E-07	4.15061E-07	5.9621E-07	7.3495E-07
wo.ze	6.9742E-06	5.9789E-06	57.656146	11.72480978	3.293E-207	8.01697E-28	0.000388396	5.83505E-05	0.00041581	8.1852E-05
Aa.ze	0.02452774	0.02059711	-2.68004468	-9.407024199	0.0076375	2.82415E-19	-0.113941543	-0.23423818	-0.01752935	-0.1532768
Xp.ze	0.00072356	0.00059871	-2.57532111	-13.76836343	0.01034022	3.94504E-36	-0.003285457	-0.00942001	-0.00044134	-0.00706664
Xpv.ze	0.00498704	0.00410875	0.88171315	-0.416830171	0.37841335	0.677005449	-0.005404237	-0.0097878	0.01419851	0.00636251
Xall.ze	0.00333754	0.00276496	1.71702158	9.676536119	0.08667894	3.27548E-20	-0.000828872	0.021321068	0.01229011	0.03218932
hab.d.ze	4.3029E-07	3.626E-07	0.0252377	-5.324148326	0.97987681	1.61893E-07	-8.34816E-07	-2.6432E-06	8.5653E-07	-1.2179E-06
hab.e.ze	1.2111E-07	1.0219E-07	0.8782438	-5.473827201	0.38029075	7.40368E-08	-1.31667E-07	-7.6018E-07	3.444E-07	-3.5852E-07
hab.az.ze	1.9837E-07	1.6587E-07	-0.94002541	0.582220714	0.34772029	0.560715552	-5.76337E-07	-2.2942E-07	2.034E-07	4.2256E-07
Rmm.hab.d.ae	0.0008572	0.00073315	-2.19461431	-9.612882575	0.0287132	5.46717E-20	-0.003565935	-0.00848861	-0.00019651	-0.0056068
Rmm.hab.e.ze	0.0095162	0.00783657	-0.42738669	-0.007715942	0.66930677	0.99384712	-0.022769951	-0.01546212	0.01463576	0.01534119
Rmm.hab.a.ze	0.00975309	0.00787108	1.47971061	3.149988716	0.1396661	0.001743837	-0.004736683	0.009324322	0.03360019	0.04026329
Dpp.ze	5.3759E-09		-12.3130576		3.8403E-30		-7.67593E-08		-5.5628E-08	

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 97. Índice de Sostenibilidad hídrica de la zona 11 como F (CA1)

Año	$F(CA1)_{Tz11} = Az11/DTz11$	$F(CA1)_{Pz11} = Az11/Dpz11$	Az11	Dpz11	Dppz11	DTz11
1,977	0.436	1.269	203,574	160,362	306,188	466,550
1,978	0.437	1.261	205,839	163,249	307,597	470,846
1,979	0.443	1.264	207,921	164,506	304,864	469,370
1,980	0.435	1.227	212,144	172,838	314,964	487,802
1,981	0.453	1.286	221,803	172,533	316,562	489,095
1,982	0.502	1.418	250,944	177,009	322,924	499,932
1,983	0.472	1.347	247,693	183,858	341,040	524,898
1,984	0.472	1.351	249,971	185,051	344,863	529,914
1,985	0.473	1.347	253,413	188,198	347,069	535,267
1,986	0.489	1.333	254,492	190,878	329,652	520,530
1,987	0.494	1.346	268,528	199,564	343,938	543,502
1,988	0.494	1.346	268,528	199,564	343,938	543,502
1,989	0.505	1.421	290,564	204,528	370,491	575,019
1,990	0.505	1.423	301,686	211,947	384,935	596,882
1,991	0.456	1.305	278,916	213,661	397,896	611,556
1,992	0.464	1.331	286,156	215,000	402,071	617,071
1,993	0.470	1.381	298,953	216,431	420,242	636,673
1,994	0.445	1.288	288,379	223,972	424,672	648,645
1,995	0.481	1.419	321,560	226,681	442,448	669,129
1,996	0.466	1.390	318,585	229,130	454,677	683,806
1,997	0.435	1.366	316,258	231,442	494,811	726,254
1,998	0.446	1.414	312,500	220,984	479,612	700,595
1,999	0.457	1.463	328,953	224,845	494,387	719,232
2,000	0.434	1.426	329,295	230,902	528,268	759,169
2,001	0.400	1.584	356,625	225,192	665,353	890,545
2,002	0.440	1.581	360,618	228,119	590,806	818,925
2,003	0.398	1.545	356,070	230,415	663,657	894,072
2,004	0.416	1.548	360,520	232,958	633,025	865,983
2,005	0.379	1.566	356,671	227,711	713,239	940,950
2,006	0.395	1.600	369,060	230,651	703,830	934,481
2,007	0.385	1.545	360,701	233,451	702,414	935,865
2,008	0.385	1.472	362,777	246,495	695,079	941,574
2,009	0.369	1.388	344,068	247,863	685,610	933,474
2,010	0.379	1.424	355,125	249,311	687,293	936,604
2,011	0.383	1.447	363,006	250,949	696,163	947,112
2,012	0.358	1.426	360,802	252,965	755,527	1,008,491
2,013	0.345	1.447	377,741	261,089	832,294	1,093,383
2,014	0.298	1.403	366,767	261,329	969,286	1,230,615

Fuente: elaboración propia, 2016

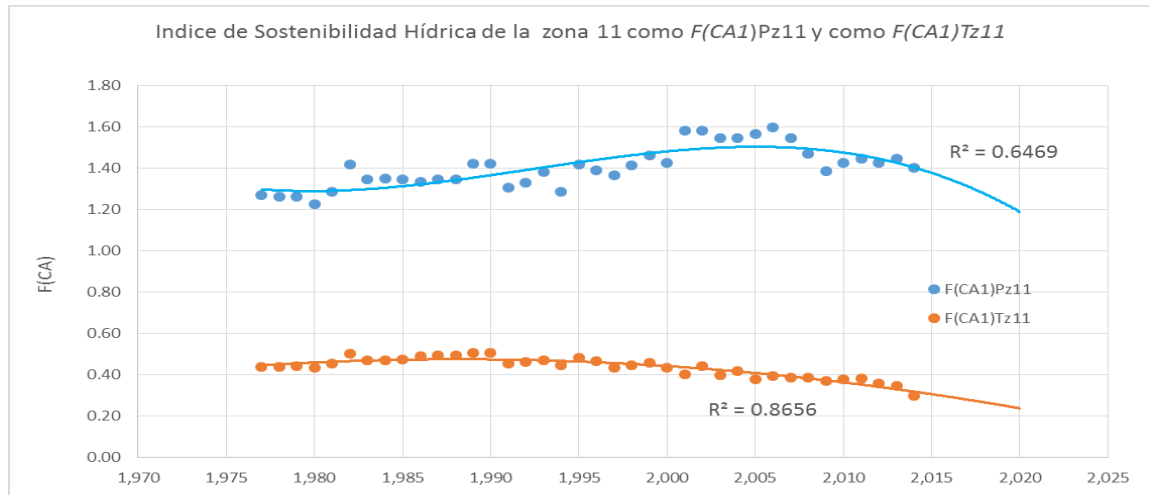


Figura 59. Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 11

Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de estos datos es

$$F(CA1)Pz11 = 1.8906 + 5.497E-07 (az11) + 5.293E-07 (p1z11) + 5.75E-07 (p2z11) + 0.0000701 (woz11) - 0.1937 (Aaz11) - 0.00824 (Xrpz11) - 0.001712 (Xrpvz11) + 0.026755 (Xallz11) - 1.930E-06 (hab.dz11) - 5.593E-07 (hab.ez11) + 9.657E-08 (hab.az11) - 0.00704 (Rmm.hab.d.z11) - 0.00006046 (Rmm.hab.e.z11) + 0.0247 (Rmm.hab.a.z11)$$

$$F(CA1)Tze = -0.0202 + 1.0812E-06 (az11) + 0.00000101 (p1z11) + 4.6254E-07 (p2z11) + 0.0001053 (woz11) - 1.4836 (Aaz11) - 0.00439 (Xrpz11) + 0.00745 (Xrpvz11) + 0.01145 (Xallz11) + 6.979E-06 (hab.dz11) - 5.577E-07 (hab.ez11) - 3.349E-06 (hab.az11) + 0.001936 (Rmm.hab.d.z11) - 0.000354 (Rmm.hab.e.z11) - 0.00438 (Rmm.hab.a.z11) - 4.165E-07 (Dppz11)$$

Tabla 98. Estadísticas de regresión del modelo F(CA1) z11

Variables estadísticas	F(CA1)Tc	F(CA1)Pc
Coefficiente de correlación múltiple	0.98935215	0.979619954
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.978817677	0.959655254
R <sup>2</sup> ajustado	0.978095552	0.958374468
Error típico	0.007824509	0.013171371
Observaciones	456	456

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 99. *Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z11*

Variables	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Promedio de los cuadrados		F		Valor crítico de F	
	F(CA1)/Tze	F(CA1)/Pze	F(CA1)/Tze	F(CA1)/Pze	F(CA1)/Tze	F(CA1)/Pze	F(CA1)/Tze	F(CA1)/Pze	F(CA1)/Tze	F(CA1)/Pze
Regresión	15	14	1.244786992	1.81982155	0.082985799	0.129987254	1355.469114	749.2708032	0	5.1677E-297
Residuos	440	441	0.026938092	0.07650689	6.12229E-05	0.000173485				
Total	455	455	1.271725084	1.89632844						

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 100. *Análisis de errores para el modelo F (CA1) z11*

Variables	Error típico		Estadístico t		Probabilidad		Inferior 95%		Superior 95%	
	F(CA1)/Tz11	F(CA1)/Pz11	F(CA1)/Tz11	F(CA1)/Pz11	F(CA1)/Tz11	F(CA1)/Pz11	F(CA1)/Tz11	F(CA1)/Pz11	F(CA1)/Tz11	F(CA1)/Pz11
Intercepto	0.078364109	0.116725062	-0.257959664	16.19735483	0.796558646	1.22686E-46	-0.174229258	1.661230734	0.1337997	2.120043764
a.z11	6.33464E-08	2.28725E-08	17.0692902	24.03381335	1.69427E-50	3.41617E-82	9.56779E-07	5.04761E-07	1.20578E-06	5.94667E-07
p1.z11	6.2607E-08	2.33692E-08	16.18480989	22.64955205	1.46174E-46	6.6286E-76	8.90237E-07	4.83373E-07	1.13633E-06	5.75231E-07
p2.z11	2.7188E-07	8.13828E-08	1.701303598	7.065463872	0.08959247	6.2844E-12	-7.17943E-08	4.15061E-07	9.96894E-07	7.34953E-07
wo.z11	3.5554E-06	5.97887E-06	29.61930507	11.72480978	7.8789E-107	8.01697E-28	9.83208E-05	5.83505E-05	0.000112296	8.18517E-05
Aa.z11	0.285769545	0.020597108	-5.191621985	-9.407024199	3.19171E-07	2.82415E-19	-2.045250374	-0.234238176	-0.921964526	-0.153276803
Xrp.z11	0.000378851	0.000598715	-11.60637439	-13.76836343	2.36075E-27	3.94504E-36	-0.005141664	-0.009420014	-0.0036525	-0.007066636
Xrpv.z11	0.002884654	0.004108745	2.583308425	-0.416830171	0.010107411	0.677005449	0.001782538	-0.009787804	0.013121364	0.006362506
Xall.z11	0.001979863	0.002764956	5.788123102	9.676536119	1.35437E-08	3.27548E-20	0.007568528	0.021321068	0.015350857	0.032189323
hab.d.z11	1.07456E-06	3.62603E-07	6.495136733	-5.324148326	2.24646E-10	1.61893E-07	4.86751E-06	-2.64319E-06	9.09133E-06	-1.21791E-06
hab.e.z11	5.27238E-07	1.02186E-07	-1.057781777	-5.473827201	0.290735322	7.40368E-08	-1.59392E-06	-7.6018E-07	4.78515E-07	-3.58516E-07
hab.a.z11	8.93367E-07	1.65866E-07	-3.748781648	0.582220714	0.000201405	0.560715552	-5.10483E-06	-2.29415E-07	-1.59324E-06	4.22556E-07
Rmm.hab.d.z11	0.000548827	0.000733152	3.528654943	-9.612882575	0.00046164	5.46717E-20	0.000857973	-0.008488607	0.003015271	-0.005606796
Rmm.hab.e.z11	0.001584067	0.007836565	-0.223519738	-0.007715942	0.823234761	0.99384712	-0.003467348	-0.015462122	0.002759208	0.015341189
Rmm.hab.a.z11	0.001909034	0.007871078	-2.297288686	3.149988716	0.022070946	0.001743837	-0.008137559	0.009324322	-0.000633644	0.040263291
Dpp.z11	1.79921E-08		-23.15375426		3.80617E-78		-4.51947E-07		-3.81224E-07	

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 101. Índice de Sostenibilidad hídrica de la zona 12 como F (CA1)

Año	$F(CA1)_{Tz12} = Az12/DTz12$	$F(CA1)_{Pz12} = Az12/Dpz12$	Az12	Dpz12	Dppz12	DTz12
1,977	0.097	1.352	223,943	165,627	2,142,992	2,308,618
1,978	0.100	1.356	228,707	168,612	2,112,990	2,281,602
1,979	0.111	1.420	241,225	169,937	2,012,643	2,182,580
1,980	0.109	1.329	238,331	179,281	2,005,097	2,184,378
1,981	0.121	1.420	254,215	179,010	1,927,096	2,106,106
1,982	0.136	1.559	286,362	183,639	1,917,398	2,101,037
1,983	0.136	1.547	285,794	184,731	1,910,606	2,095,337
1,984	0.139	1.564	289,358	185,002	1,893,302	2,078,304
1,985	0.143	1.550	291,898	188,271	1,848,113	2,036,384
1,986	0.159	1.533	292,922	191,024	1,645,772	1,836,796
1,987	0.166	1.604	311,878	194,406	1,684,801	1,879,207
1,988	0.166	1.604	311,878	194,406	1,684,801	1,879,207
1,989	0.184	1.734	345,531	199,262	1,679,852	1,879,114
1,990	0.186	1.750	350,675	200,348	1,687,226	1,887,574
1,991	0.181	1.646	332,443	202,024	1,638,671	1,840,695
1,992	0.186	1.633	341,569	209,228	1,627,618	1,836,846
1,993	0.196	1.734	365,063	210,584	1,654,949	1,865,533
1,994	0.188	1.638	346,343	211,480	1,635,512	1,846,992
1,995	0.216	1.931	413,364	214,053	1,701,574	1,915,627
1,996	0.208	1.835	397,251	216,463	1,696,002	1,912,465
1,997	0.185	1.746	381,727	218,667	1,850,188	2,068,855
1,998	0.211	1.873	418,250	223,285	1,756,579	1,979,864
1,999	0.224	1.913	434,511	227,175	1,713,992	1,941,167
2,000	0.197	1.696	411,618	242,758	1,841,431	2,084,189
2,001	0.171	1.784	439,868	246,543	2,322,118	2,568,661
2,002	0.222	1.793	447,847	249,742	1,770,829	2,020,571
2,003	0.206	1.858	468,658	252,228	2,022,430	2,274,658
2,004	0.229	1.860	474,331	254,989	1,813,573	2,068,562
2,005	0.215	1.919	495,147	257,981	2,039,759	2,297,740
2,006	0.226	1.881	510,025	270,900	1,985,265	2,256,165
2,007	0.221	1.779	489,401	275,050	1,944,134	2,219,184
2,008	0.253	1.971	544,797	276,367	1,873,857	2,150,225
2,009	0.229	1.742	484,241	277,974	1,832,173	2,110,147
2,010	0.268	2.053	574,186	279,674	1,864,118	2,143,793
2,011	0.272	2.062	583,109	282,851	1,861,023	2,143,874
2,012	0.226	1.828	521,540	285,297	2,019,583	2,304,879
2,013	0.234	1.975	565,397	286,298	2,125,111	2,411,409
2,014	0.197	1.961	561,966	286,647	2,561,498	2,848,145

Fuente: elaboración propia, 2016

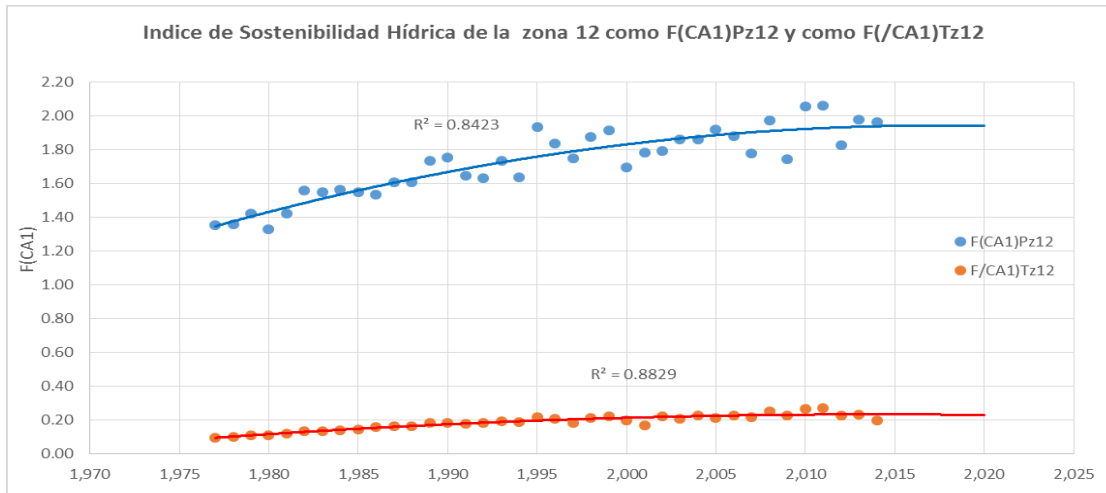


Figura 60. Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 12

Fuente: elaboración propia, 2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de estos datos es

$$F(CA1)Pz12 = 2.884 + 2.92E-06 (az12) + 2.428E-06 (p1z12) + 5.94184E-06 (p2z12) + 0.000211(woz12) - 0.8607(Aaz12) - 0.01006 (Xrpz12) + 0.0333 (Xrpvz12) + 0.0442 (Xallz12) - 0.00001058 (hab.dz112) - 4.19E-06 (hab.ez12) + 4.307E-06 (hab.a.z12) - 0.010994(Rmm.hab.d.z12) - 0.0119 (Rmm.hab.e.z12) - 0.0025(Rmm.hab.a.z12)$$

$$F(CA1)Tz12 = 0.31458 + 3.2016E-07 (az12) - 5.2431E-08 (p1z12) + 1.3583E-06 (p2z12) + 0.000431 (woz12) + 0.032968 (Aaz12) - 0.00075733 (Xrpz12) + 0.007713 (Xrpvz12) - 0.0096461(Xallz12) + 6.08859E-07 (hab.dz112) + 1.10691E-06 (hab.ez12) - 1.79192E-06(hab.az12) - 0.00079963 (Rmm.hab.d.z12) - 0.0010263 (Rmm.hab.e.z12) - 0.0024663 Rmm.hab.a.z12) - 7.1594E-08 (Dppz12)$$

Tabla 102. Estadísticas de regresión del modelo F (CA1) z12

Variables estadísticas	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12
Coeficiente de correlación múltiple	0.959400109	0.969117489
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.920448569	0.939188707
R <sup>2</sup> ajustado	0.917736588	0.93725819
Error típico	0.020452658	0.02516468
Observaciones	456	456

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 103. Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z12

Variables	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Promedio de los cuadrados		F		Valor crítico de F	
	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12
Regresión	15	14	2.129627815	4.313104979	0.141975188	0.308078927	339.4008668	486.495892	8.145E-231	8.91E-258
Residuos	440	441	0.184056933	0.279268148	0.000418311	0.000633261				
Total	455	455	2.313684748	4.592373127						

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 104. Análisis de errores para el modelo F (CA1) z12

Variables	Error típico		Estadístico t		Probabilidad		Inferior 95%		Superior 95%	
	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12	F(CA1)Tz12	F(CA1)Pz12
Intercepto	0.123220662	0.151416908	2.553011132	19.04946467	0.01101607	1.798E-59	0.07240951	2.58682264	0.55675793	3.18199945
a.z12	1.62881E-07	1.80947E-07	1.965665573	16.14803839	0.04996572	2.0279E-46	4.8124E-11	2.5663E-06	6.4029E-07	3.2776E-06
p1.z12	1.71953E-07	1.86229E-07	-0.304918324	13.03769114	0.76057254	4.3084E-33	-3.9038E-07	2.062E-06	2.8552E-07	2.794E-06
p2.z12	5.76097E-07	6.44926E-07	2.357885541	9.213216397	0.01881612	1.2976E-18	2.2613E-07	4.6743E-06	2.4906E-06	7.2094E-06
wo.z12	9.29923E-06	1.14393E-05	46.43338417	18.50540835	1.073E-171	5.335E-57	0.00041352	0.00018921	0.00045007	0.00023417
Aa.z12	0.059099207	0.064456883	0.557848598	-13.35394745	0.57723148	2.1264E-34	-0.08318341	-0.98743467	0.14912022	-0.73407299
Xp.z12	0.00096337	0.001134239	-0.786134338	-8.876870825	0.43221195	1.7411E-17	-0.00265072	-0.01229768	0.00113604	-0.00783931
Xpv.z12	0.007509334	0.008254461	1.027160917	4.036682297	0.30490903	6.3917E-05	-0.00704533	0.01709767	0.02247192	0.0495436
Xall.z12	0.004269541	0.005066609	-2.259282982	8.740486437	0.02435433	4.8986E-17	-0.01803733	0.03432693	-0.00125487	0.05424233
hab.d.z12	3.07291E-06	3.63664E-06	0.198137856	-2.911961124	0.84302872	0.0037739	-5.4305E-06	-1.7737E-05	6.6483E-06	-3.4425E-06
hab.e.z12	9.84649E-07	1.16997E-06	1.12417555	-3.582509952	0.26155148	0.00037821	-8.2828E-07	-6.4909E-06	3.0421E-06	-1.892E-06
hab.a.z12	1.40614E-06	1.692E-06	-1.274356765	2.545650535	0.20320963	0.01124676	-4.5555E-06	9.8186E-07	9.7166E-07	7.6326E-06
Rmm.hab.d.z12	0.000813815	0.000994713	-0.982579893	-11.05331333	0.32635421	3.0871E-25	-0.00239909	-0.01294984	0.00079981	-0.0090399
Rmm.hab.e.z12	0.002294175	0.002789157	-0.447377808	-4.29117102	0.65482245	2.1863E-05	-0.00553527	-0.01745044	0.00348254	-0.00648706
Rmm.hab.a.z12	0.003917878	0.004676793	-0.629524208	-0.545736471	0.52933266	0.58552304	-0.01016648	-0.01174387	0.00523368	0.00663927
Dpp.z12	9.96692E-09		-7.183259556		2.928E-12		-9.1184E-08		-5.2006E-08	

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 105. Índice de Sostenibilidad hídrica de la zona 13 como F (CA1)

Año	F(CA1)Tz13= Az13/DTz13	F(CA1)Pz13 = Az13/Dpz13	Az13	Dpz13	Dppz13	DTz13
1,977	0.404	0.596	112,777	189,348	89,495	278,843
1,978	0.399	0.592	114,139	192,777	93,232	286,009
1,979	0.406	0.596	116,038	194,606	91,493	286,099
1,980	0.395	0.577	118,327	204,952	94,976	299,928
1,981	0.420	0.617	124,218	201,221	94,607	295,828
1,982	0.467	0.681	140,819	206,789	95,022	301,811
1,983	0.459	0.671	139,472	207,776	95,854	303,630
1,984	0.458	0.668	141,103	211,186	96,589	307,775
1,985	0.457	0.661	143,014	216,406	96,306	312,712
1,986	0.461	0.652	143,915	220,599	91,592	312,191
1,987	0.470	0.673	152,006	225,807	97,439	323,246
1,988	0.470	0.673	152,006	225,807	97,439	323,246
1,989	0.485	0.700	165,302	236,032	105,057	341,089
1,990	0.492	0.720	171,694	238,480	110,763	349,243
1,991	0.442	0.655	159,155	243,090	117,168	360,257
1,992	0.436	0.646	163,691	253,457	121,557	375,014
1,993	0.442	0.667	171,544	257,001	131,491	388,492
1,994	0.420	0.639	165,354	258,810	134,804	393,614
1,995	0.461	0.708	185,967	262,558	141,000	403,558
1,996	0.449	0.694	183,837	265,051	144,811	409,863
1,997	0.427	0.679	181,969	267,991	158,441	426,432
1,998	0.421	0.661	181,633	274,698	156,838	431,536
1,999	0.430	0.683	191,348	280,079	164,851	444,930
2,000	0.402	0.640	190,573	297,724	176,706	474,429
2,001	0.409	0.679	206,160	303,833	200,345	504,178
2,002	0.418	0.678	209,069	308,162	192,056	500,218
2,003	0.396	0.669	207,699	310,688	213,245	523,932
2,004	0.398	0.670	210,386	314,131	215,034	529,165
2,005	0.378	0.658	209,364	318,141	235,779	553,920
2,006	0.384	0.657	217,096	330,586	234,350	564,936
2,007	0.369	0.631	211,984	336,042	238,293	574,335
2,008	0.371	0.640	215,646	337,069	244,550	581,619
2,009	0.348	0.599	203,340	339,534	245,434	584,968
2,010	0.363	0.623	213,476	342,784	245,359	588,142
2,011	0.361	0.628	218,007	347,143	256,685	603,828
2,012	0.339	0.607	214,240	353,201	278,094	631,295
2,013	0.343	0.634	225,538	355,523	301,725	657,248
2,014	0.314	0.616	219,600	356,339	342,265	698,604



Fuente: elaboración propia. 2016

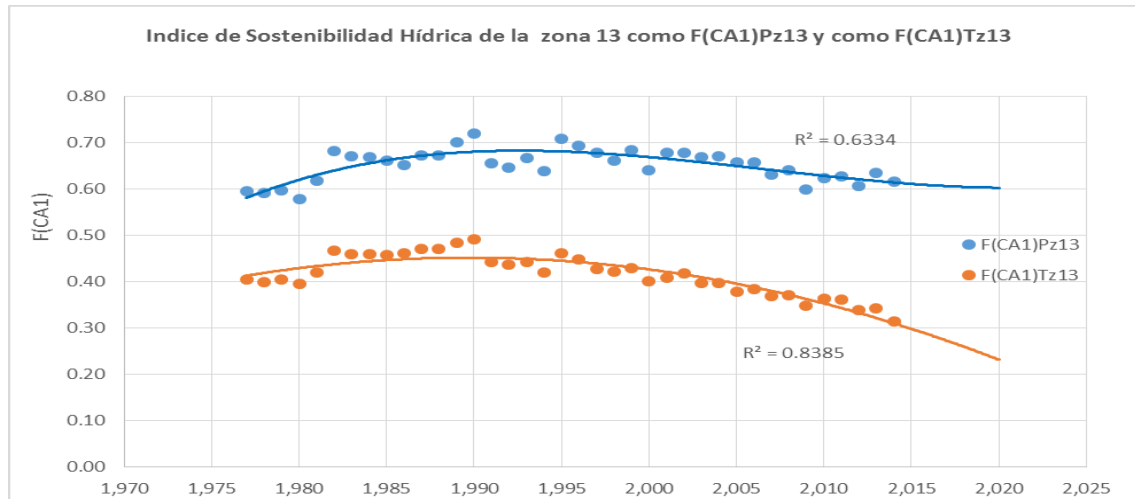


Figura 61. Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 13

Fuente: elaboración propia, 2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de estos datos es

$$F(CA1)Pz13 = 1.3490 + 2.5760E-06 (az13) + 2.4562E-06 (p1z13) + 3.5065E-06 (p2z13) + 0.00001203 (woz13) - 4.1641 (Aaz13) - 0.004405 (Xrpz13) + 0.0194 (Xrpvz13) + 0.0178 (Xallz13) - 5.2079E-06 (hab.d.z13) - 0.00000198 (hab.e.z13) + 1.533E-07 (hab.a.z13) - 0.00352 (Rmm.hab.d.z13) + 0.01272 (Rmm.hab.e.z13) - 0.0139633995185744(Rmm.hab.a.z13)$$

$$F(CA1)Tz13 = 0.8741 + 0.000001681 (az13) + 1.5503E-06 (p1z13) + 2.355E-06 (p2z13) + 0.0001722 (woz13) - 2.545 (Aaz13) - 0.00334 (Xrpz13) + 0.01506 (Xrpvz13) + 0.01571 (Xallz13) + 1.393E-06 (hab.dz13) - 9.6823E-07 (hab.ez13) - 3.7108E-07 (hab.az13) - 0.00258 (Rmm.hab.d.z13) + 0.006406 (Rmm.hab.e.z13) - 0.00270 (Rmm.hab.a.z13) - 7.955E-07 (Dppz13)$$

Tabla 106. Estadísticas de regresión del modelo  $F(CA1)z13$

Variables estadísticas	$F(CA1)Tz13$	$F(CA1)Pz13$
Coefficiente de correlación múltiple	0.987643918	0.978026848
Coefficiente de determinación $R^2$	0.97544051	0.956536515
$R^2$ ajustado	0.974603254	0.955156721
Error típico	0.008093745	0.008863038
Observaciones	456	456

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 107. Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z13

Variables	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Promedio de los cuadrados		F		Valor crítico de F	
	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13
Regresión	15	14	1.14480937	0.76239643		0.054456888	1165.04541	693.2462944	0	6.8436E-290
Residuos	440	441	0.02882383	0.03464207	0.076320624	7.85534E-05				
Total	455	455	1.1736332	0.7970385	6.55087E-05					

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 108. Análisis de errores para el modelo F (CA1) z13

Variables	Error típico		Estadístico t		Probabilidad		Inferior 95%		Superior 95%	
	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13	F(CA1)Tz13	F(CA1)Pz13
Intercepto	0.085840801	0.089123797	10.18311493	15.13680611	5.21145E-22	5.5246E-42	0.705417799	1.17388948	1.04283569	1.524209787
a.z13	1.17185E-07	1.25585E-07	14.352494	20.51232683	1.36581E-38	3.8076E-66	1.45158E-06	2.3292E-06	1.9122E-06	2.82287E-06
p1.z13	1.23913E-07	1.30173E-07	12.51183725	18.86928967	6.10463E-31	1.1868E-58	1.30684E-06	2.2004E-06	1.7939E-06	2.71212E-06
p2.z13	3.84445E-07	4.12186E-07	6.126944145	8.50721263	1.9904E-09	2.8016E-16	1.59989E-06	2.6965E-06	3.111E-06	4.31665E-06
wo.z13	3.67802E-06	4.02539E-06	46.82808765	2.989950026	4.8373E-173	0.00294637	0.000165006	4.1244E-06	0.00017946	1.9947E-05
Aa.z13	0.303644153	0.264343843	-8.383260911	-15.75277628	7.02091E-16	1.1222E-44	-3.1423013	-4.68367966	-1.94875501	-3.644619181
Xrp.z13	0.000363072	0.000385004	-9.201532692	-11.44345853	1.43228E-18	9.9347E-27	-0.004054391	-0.00516245	-0.00262725	-0.003649108
Xrpv.z13	0.002820506	0.002710808	5.342333771	7.193391173	1.47505E-07	2.7315E-12	0.009524746	0.0141722	0.02061142	0.024827613
Xall.z13	0.001805686	0.00190028	8.703637739	9.394329718	6.50578E-17	3.1228E-19	0.012167195	0.01411713	0.01926488	0.021586585
hab.d.z13	1.63513E-06	1.78432E-06	0.852019353	-2.918712868	0.394666849	0.00369466	-1.82047E-06	-8.7148E-06	4.6068E-06	-1.70109E-06
hab.e.z13	1.8817E-07	1.99994E-07	-5.145524795	-9.937242568	4.02699E-07	3.9307E-21	-1.33805E-06	-2.3804E-06	-5.9841E-07	-1.59433E-06
hab.a.z13	3.25296E-07	3.55328E-07	-1.14076999	0.431574575	0.254586178	0.66626155	-1.01041E-06	-5.45E-07	2.6824E-07	8.51697E-07
Rmm.hab.d.z13	0.000376324	0.00039531	-6.880712433	-8.912547698	2.05715E-11	1.326E-17	-0.00332899	-0.00430014	-0.00184976	-0.002746293
Rmm.hab.e.z13	0.002667276	0.002858776	2.40172462	4.450303114	0.016731738	1.0873E-05	0.001163878	0.0071039	0.01164825	0.01834094
Rmm.hab.a.z13	0.003267031	0.003545628	-0.829134661	-3.938201999	0.407477777	9.5395E-05	-0.009129735	-0.02093183	0.00371212	-0.006994972
Dpp.z13	5.96776E-08		-13.33123436		2.71167E-34		-9.12864E-07		-6.7829E-07	

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 109. Índice de Sostenibilidad hídrica de la zona 14 como  $F$  (CA1)

Año	$F(CA1)Tz14 = Az14/DTz14$	$F(CA1)Pz14 = Az14/Dpz14$	Az14	Dpz14	Dppz14	DTz14
1,977	0.349	0.499	89,566	179,600	76,940	256,540
1,978	0.344	0.498	91,115	182,869	81,619	264,488
1,979	0.350	0.512	94,608	184,908	85,076	269,985
1,980	0.330	0.483	94,734	196,261	90,583	286,844
1,981	0.356	0.529	100,360	189,570	92,042	281,611
1,982	0.389	0.581	113,355	195,150	96,510	291,660
1,983	0.380	0.576	112,761	195,867	101,029	296,896
1,984	0.369	0.568	114,127	200,882	108,043	308,925
1,985	0.354	0.557	115,359	207,239	118,492	325,730
1,986	0.341	0.546	115,898	212,205	127,621	339,826
1,987	0.343	0.564	122,979	217,982	140,585	358,568
1,988	0.343	0.564	122,979	217,982	140,585	358,568
1,989	0.347	0.583	135,179	231,845	157,848	389,693
1,990	0.342	0.589	138,536	235,299	169,434	404,734
1,991	0.301	0.537	130,093	242,106	190,220	432,326
1,992	0.295	0.528	133,719	253,231	200,685	453,916
1,993	0.296	0.549	141,746	258,281	221,268	479,549
1,994	0.276	0.519	135,370	260,667	229,664	490,331
1,995	0.312	0.595	157,656	264,915	241,042	505,958
1,996	0.297	0.574	153,265	267,071	248,746	515,818
1,997	0.277	0.552	149,099	270,223	268,482	538,705
1,998	0.286	0.566	157,275	277,807	272,087	549,894
1,999	0.285	0.579	164,296	283,712	292,717	576,429
2,000	0.260	0.531	158,832	299,053	311,096	610,148
2,001	0.271	0.557	170,592	306,277	322,434	628,711
2,002	0.258	0.558	173,398	310,954	361,119	672,073
2,003	0.254	0.567	177,650	313,087	386,893	699,980
2,004	0.252	0.568	179,858	316,608	397,510	714,118
2,005	0.231	0.574	184,231	320,855	477,980	798,835
2,006	0.243	0.572	190,256	332,538	451,935	784,473
2,007	0.238	0.543	183,818	338,693	433,347	772,041
2,008	0.242	0.583	197,646	339,240	475,853	815,092
2,009	0.236	0.525	179,676	342,012	419,058	761,070
2,010	0.273	0.588	203,564	346,174	399,707	745,882
2,011	0.273	0.588	207,143	352,209	405,993	758,202
2,012	0.243	0.531	191,875	361,011	427,092	788,103
2,013	0.249	0.565	205,701	364,183	460,271	824,454
2,014	0.243	0.556	202,883	365,163	470,119	835,282

Fuente: elaboración propia, 2016

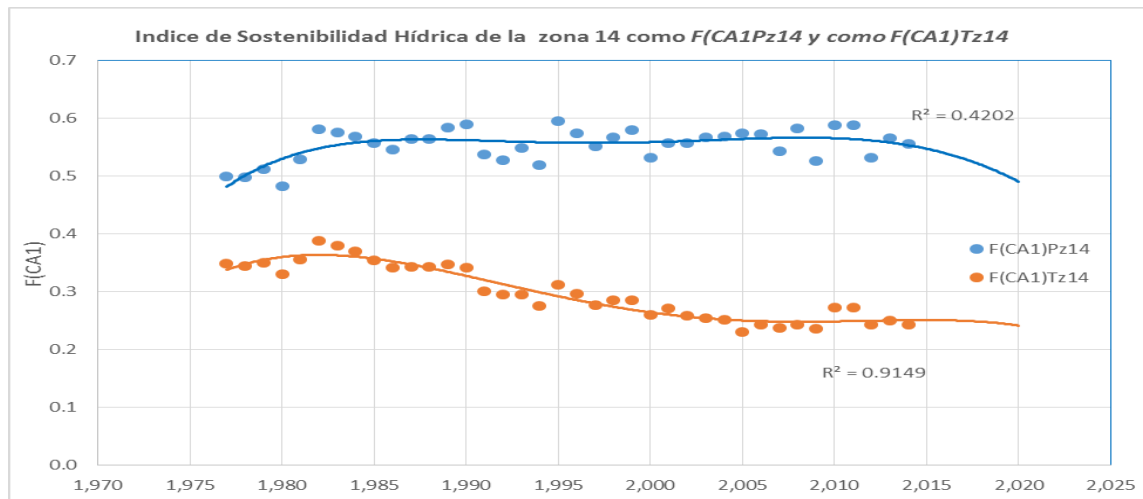


Figura 62. Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 14

Fuente: elaboración propia, 2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de estos datos es

$$F(CA1)Pz14 = 0.66679 + 3.01399E-06 (az14) + 2.7475E-06 (p1z14) + 2.2466E-06 (p2z14) + 0.00004259 (woz14) - 0.75605 (Aaz14) - 0.00509 (Xrpz14) + 0.01345 (Xrpvz14) + 0.01208 (Xallz14) + 6.1023E-06 (hab.dz14) - 1.97335E-06 (hab.ez14) - 5.6858E-07 (hab.az14) - 0.0009201 (Rmm.hab.d.z14) - 0.01814 (Rmm.hab.e.z14) + 0.01729 (Rmm.hab.a.z14)$$

$$F(CA1)Tz14 = 0.2509 + 1.9869E-06 (az12) + 1.50199E-06 (p1z12) + 7.7554E-07 (p2z12) + 0.0004030 (woz12) + 0.10275 (Aaz12) - 0.003453 (Xrpz12) + 0.00702 (Xrpvz12) + 0.003009 (Xallz12) + 4.5838E-06 (hab.dz112) - 1.3865E-06 (hab.ez12) - 1.31053E-06 (hab.az12) + 0.0003542 (Rmm.hab.d.z12) - 0.005771 (Rmm.hab.e.z12) + 0.00252 (Rmm.hab.a.z12) - 3.6088E-07 (Dppz12)$$

Tabla 110. Estadísticas de regresión del modelo  $F(CA1)z14$

Variables estadísticas	$F(CA1)Tz14$	$F(CA1)Pz14$
Coefficiente de correlación múltiple	0.993178554	0.980402691
Coefficiente de determinación $R^2$	0.98640364	0.961189437
$R^2$ ajustado	0.985940128	0.959957356
Error típico	0.008031722	0.00702502
Observaciones	456	456

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 111. *Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z14*

Variables	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Promedio de los cuadrados		F		Valor crítico de F	
	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14
Regresión	15	14	2.05921666	0.53900503	0.13728111	0.038500359	2128.10689	780.134715	0	1.0113E-300
Residuos	440	441	0.02838377	0.02176375	6.45086E-05	4.93509E-05				
Total	455	455	2.08760042	0.56076878						

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 112. *Análisis de errores para el modelo F (CA1) z14*

Variables	Error típico		Estadístico t		Probabilidad		Inferior 95%		Superior 95%	
	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14	F(CA1)Tz14	F(CA1)Pz14
Intercepto	0.098624912	0.084301474	2.544232382	7.909598831	0.011292632	2.09783E-14	0.05709024	0.501108278	0.444759149	0.832473402
a.z13	1.52988E-07	1.33483E-07	12.98752908	22.57960678	7.0917E-33	1.38077E-75	1.68626E-06	2.75165E-06	2.28762E-06	3.27633E-06
p1.z13	1.56436E-07	1.36826E-07	9.601306371	20.08083862	6.05192E-20	3.56306E-64	1.19454E-06	2.47866E-06	1.80945E-06	3.01649E-06
p2.z13	5.37619E-07	4.6908E-07	1.442554975	4.789466442	0.14985733	2.28748E-06	-2.81075E-07	1.32473E-06	1.83216E-06	3.16855E-06
wo.z13	3.64938E-06	3.18858E-06	110.4506046	13.3575723	0	2.05393E-34	0.000395904	3.6325E-05	0.000410248	4.88584E-05
Aa.z13	0.093060633	0.077339795	1.104120526	-9.775774338	0.270144301	1.46747E-20	-0.080148432	-0.908056757	0.285648741	-0.604056013
Xrp.z13	0.000378253	0.000330776	-9.129004367	-15.40836228	2.51913E-18	3.62458E-43	-0.004196481	-0.005746812	-0.002709666	-0.004446625
Xrpv.z13	0.002522212	0.00207057	2.784403255	6.499498181	0.005593918	2.18318E-10	0.002065775	0.009388255	0.011979937	0.017527077
Xall.z13	0.001729156	0.001492209	1.740296822	8.100007358	0.082506042	5.43365E-15	-0.000389187	0.009154176	0.006407678	0.015019624
hab.d.z13	2.4984E-06	2.09837E-06	1.834694374	2.908158247	0.06722596	0.00381921	-3.26481E-07	1.97834E-06	9.4941E-06	1.02264E-05
hab.e.z13	1.46776E-07	1.28358E-07	-9.446517151	-15.3739039	2.08164E-19	5.12534E-43	-1.67499E-06	-2.22563E-06	-1.09805E-06	-1.72109E-06
hab.a.z13	2.79495E-07	2.44419E-07	-4.68895166	-2.32626115	3.66922E-06	0.020456995	-1.85985E-06	-1.04895E-06	-7.61228E-07	-8.82115E-08
Rmm.hab.d.z13	0.000386035	0.000335241	0.917655543	-2.744860509	0.359301952	0.0063009	-0.000404455	-0.001579058	0.00111295	-0.000261321
Rmm.hab.e.z13	0.002925244	0.002552985	-1.973035121	-7.106970177	0.049117027	4.80169E-12	-0.011520795	-0.023161516	-2.2422E-05	-0.013126459
Rmm.hab.a.z13	0.002391104	0.002085451	1.056369142	8.292116287	0.291379251	1.35871E-15	-0.002173516	0.013194143	0.007225292	0.021391457
Dpp.z13	1.95677E-08		-18.44305519		1.09602E-56		-3.99346E-07		-3.2243E-07	

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 113. Índice de Sostenibilidad hídrica de la zona 21 como F (CA1)

Año	F(CA1)Tz21= Az21/DTz21	F(CA1)Pz21= Az21/Dpz21	Az21	Dpz21	Dppz14	DTz14
1,977	1.242	1.488	312,859	210,247	41,608	251,854
1,978	1.240	1.483	317,373	214,022	41,881	255,903
1,979	1.266	1.513	325,921	215,481	41,973	257,454
1,980	1.225	1.457	329,801	226,371	42,781	269,152
1,981	1.285	1.524	347,812	228,221	42,449	270,671
1,982	1.425	1.684	393,848	233,900	42,555	276,455
1,983	1.408	1.661	391,050	235,414	42,362	277,776
1,984	1.432	1.701	395,886	232,672	43,758	276,429
1,985	1.435	1.700	400,776	235,683	43,657	279,340
1,986	1.434	1.691	403,192	238,385	42,845	281,230
1,987	1.473	1.748	426,756	244,209	45,435	289,644
1,988	1.473	1.748	426,756	244,209	45,435	289,644
1,989	1.563	1.886	466,618	247,351	51,120	298,471
1,990	1.601	1.945	481,997	247,790	53,273	301,063
1,991	1.465	1.812	449,443	248,078	58,706	306,784
1,992	1.447	1.787	462,353	258,787	60,659	319,446
1,993	1.505	1.879	487,147	259,308	64,367	323,675
1,994	1.433	1.799	467,685	259,912	66,568	326,480
1,995	1.610	2.035	534,649	262,681	69,324	332,005
1,996	1.557	1.973	524,577	265,846	71,072	336,918
1,997	1.492	1.920	515,200	268,384	76,894	345,278
1,998	1.509	1.929	527,427	273,453	76,083	349,535
1,999	1.552	1.993	553,711	277,881	78,963	356,844
2,000	1.433	1.840	544,024	295,634	83,988	379,621
2,001	1.479	1.960	586,622	299,289	97,306	396,594
2,002	1.492	1.967	595,798	302,960	96,332	399,292
2,003	1.447	1.960	600,345	306,305	108,665	414,970
2,004	1.448	1.964	608,029	309,654	110,210	419,865
2,005	1.394	1.959	613,295	313,032	126,831	439,862
2,006	1.404	1.941	635,063	327,128	125,259	452,387
2,007	1.342	1.861	617,181	331,581	128,185	459,765
2,008	1.397	1.932	644,500	333,561	127,847	461,408
2,009	1.302	1.783	597,449	335,116	123,595	458,711
2,010	1.425	1.935	650,662	336,342	120,360	456,702
2,011	1.444	1.967	663,297	337,277	122,115	459,392
2,012	1.355	1.875	633,711	337,955	129,860	467,815
2,013	1.412	1.990	673,123	338,336	138,388	476,724
2,014	1.352	1.948	659,469	338,452	149,171	487,623

Fuente: elaboración propia, 2016

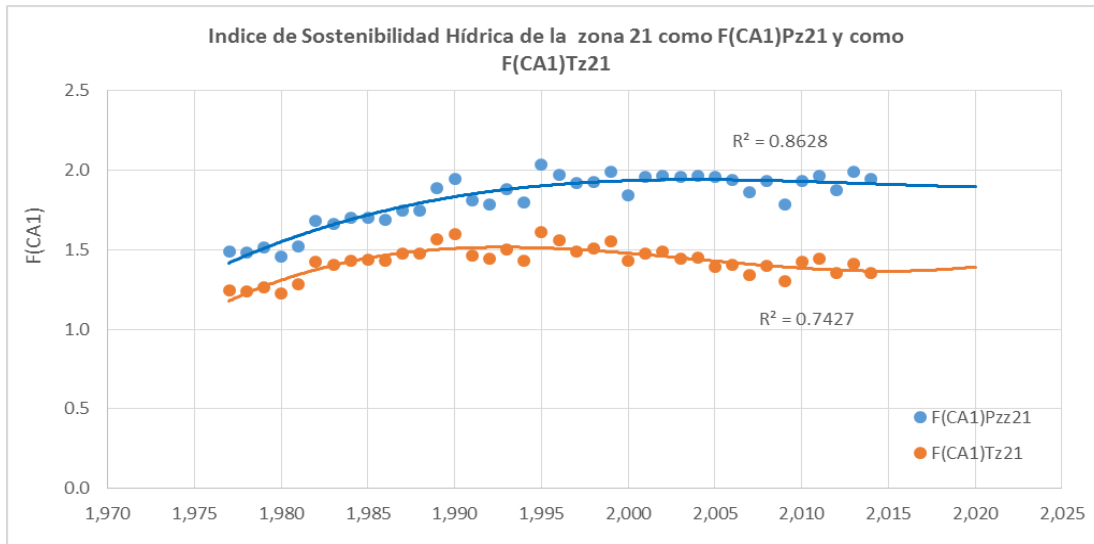


Figura 63. Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona 21

Fuente: elaboración propia, 2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de estos datos es

$$F(CA1)Pz21 = 3.56 + 2.6777E-06 (az21) + 2.505E-06 (p1z21) + 2.9486E-06 (p2z21) + 0.0000897 (woz21) - 1.22766 (Aaz21) - 0.01113 (Xrpz21) + 0.0247 (Xrpvz21) + 0.03816 (Xallz21) - 0.000017 (hab.d.z21) - 0.000114 (hab.e.z21) + 0.0000311 (hab.a.z21) - 0.018371 (Rmm.hab.d.z21) + 0.0430 (Rmm.hab.e.z21)$$

$$F(CA1)Tz21 = 2.6954 + 2.2270E-06 (az21) + 1.616E-06 (p1z21) + 2.9697E-06 (p2z21) + 0.001274 (woz21) - 0.6988 (Aaz21) - 0.00900093 (Xrpz21) + 0.03420 (Xrpvz21) + 0.01825 (Xallz21) - 0.00000872 (hab.d.z21) - 0.0000773 (hab.e.z21) - 0.00001406 (hab.a.z21) - 0.01441 (Rmm.hab.d.z21) + 0.03574 (Rmm.hab.e.z21) - 3.3975E-06 (Dppz21)$$

Tabla 114. Estadísticas de regresión del modelo F (CA1) z21

Variables estadísticas	F(CA1)Tz21	F(CA1)Pz21
Coeficiente de correlación múltiple	0.975705643	0.98843093
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.952001501	0.976995704
R <sup>2</sup> ajustado	0.948210166	0.974056664
Error típico	0.042387244	0.020285779
Observaciones	456	456

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 115. Análisis de varianza para el modelo F (CA1) z21

Variables	Grados de libertad		Suma de cuadrados		Promedio de los cuadrados		F		Valor crítico de F	
	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21
Regresión	15	14	15.71516468	7.724837656	1.047677645	0.551774118	624.7705244	1443.984829	1.7764E-285	0
Residuos	441	442	0.792335214	0.18188867	0.001796678	0.000411513				
Total	456	456	16.50749989	7.906726326						

Fuente: elaboración propia, 2016

Tabla 116. Análisis de errores para el modelo F (CA1) z21

Variables	Error típico		Estadístico t		Probabilidad		Inferior 95%		Superior 95%	
	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21	F(CA1)/Tz21	F(CA1)/Pz21
Intercepto	0.244431288	0.110695674	11.02749593	32.16268991	3.86651E-25	7.8984E-118	2.21507009	3.342715397	3.17585997	3.777825908
a.z21	2.11188E-07	1.00954E-07	10.54557323	26.52488985	2.44638E-23	1.90015E-93	1.812E-06	2.47938E-06	2.6422E-06	2.8762E-06
p1.z21	2.1575E-07	1.02086E-07	7.491363847	24.54773043	3.75542E-13	1.40902E-84	1.1922E-06	2.30534E-06	2.0403E-06	2.70661E-06
p2.z21	6.91887E-07	3.30259E-07	4.292221429	8.928286478	2.17639E-05	1.16776E-17	1.6099E-06	2.29957E-06	4.3295E-06	3.59772E-06
wo.z21	1.92689E-05	9.20133E-06	66.143176	9.758255954	4.6577E-231	1.67616E-20	0.00123664	7.17052E-05	0.00131238	0.000107873
Aa.z21	0.253907679	0.116013616	-2.75247057	-10.5820412	0.006158761	1.77247E-23	-1.1978929	-1.455667713	-0.199854	-0.999654017
Xrp.z21	0.001854116	0.000878563	-4.85457176	-12.6739163	1.67762E-06	1.29076E-31	-0.0126449	-0.012861521	-0.0053569	-0.009408159
Xrpv.z21	0.012723562	0.005754053	2.688100123	4.297015461	0.007457997	2.13075E-05	0.00919586	0.013416552	0.05920856	0.036033957
Xall.z21	0.008935622	0.004276422	2.043499967	8.925639539	0.041596699	1.19166E-17	0.00069825	0.029765154	0.03582164	0.046574448
hab.d.z21	3.15499E-06	1.47288E-06	-2.76569776	-11.8619827	0.005918587	2.2825E-28	-1.493E-05	-2.03659E-05	-2.525E-06	-1.45765E-05
hab.e.z21	6.66873E-05	3.19078E-05	-1.15978199	-3.59389986	0.246765102	0.000362417	-0.0002084	-0.000177383	5.3722E-05	-5.19635E-05
hab.a.z21	3.04847E-05	1.45075E-05	-0.46140522	2.145592133	0.6447354	0.03244963	-7.398E-05	2.61492E-06	4.5848E-05	5.96393E-05
Rmm.hab.d.z21	0.001619265	0.00074388	-8.89915559	-24.6973834	1.46887E-17	2.97201E-85	-0.0175925	-0.019833876	-0.0112277	-0.016909912
Rmm.hab.e.z21	0.008192879	0.003861245	4.363506589	11.15147793	1.59574E-05	1.28949E-25	0.01964774	0.035469906	0.05185162	0.050647267
Rmm.hab.a.z21	0	0	65535	65535	0	0	0	0	0	0
Dpp.z21	4.47306E-07		-7.59558643		0		-4.277E-06		-2.518E-06	

Fuente: elaboración propia, 2016

Desde el punto de vista hidrológico F (CA1) es definido como índice de escasez de agua de una región, y es de vital importancia y estratégico para definir planes de acción que puedan prevenir impactos directos a la población. Además,



el fenómeno estudiado en esta investigación es la escasez de agua, por tal motivo no podía dejar de ser tomado en cuenta como el primer criterio a estudiar.

Tabla 117. *Resumen de los modelos matemáticos del indicador F (CA1)T*

Variable	Coeficientes del modelo matemático F (CA1)T en algunas áreas de Guatemala						
	Ciudad	Zona de Estudio	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21
Intercepción	0.726582585	0.554308654	-0.020214779	0.314583722	0.874126745	0.250924694	2.69546503
a	4.22707E-08	1.51396E-07	1.08128E-06	3.2017E-07	1.68189E-06	1.98694E-06	2.22709E-06
p1	3.54148E-08	9.86329E-08	1.01328E-06	-5.24317E-08	1.55037E-06	1.50199E-06	1.61627E-06
p2	1.22881E-07	4.02427E-07	4.6255E-07	1.35837E-06	2.35547E-06	7.75544E-07	2.96973E-06
w <sub>o</sub>	0.00034309	0.000402103	0.000105309	0.000431795	0.000172235	0.000403076	0.001274507
Aa	-0.06405543	-0.06573545	-1.48360745	0.03296841	-2.545528156	0.102750155	-0.698873413
X <sub>rp</sub>	-0.00268056	-0.0018634	-0.004397082	-0.000757338	-0.00334082	-0.003453074	-0.009000939
X <sub>rpv</sub>	0.009121347	0.004397136	0.007451951	0.007713295	0.015068084	0.007022856	0.034202209
X <sub>all</sub>	0.019193639	0.005730621	0.011459693	-0.009646102	0.015716036	0.003009245	0.018259942
hab.d	-8.8489E-08	1.08595E-08	6.97942E-06	6.08859E-07	1.39316E-06	4.58381E-06	-8.72575E-06
hab.e	7.47589E-08	1.06368E-07	-5.57703E-07	1.10692E-06	-9.68232E-07	-1.38652E-06	-7.73427E-05
hab.a	1.03242E-08	-1.8647E-07	-3.34904E-06	-1.79193E-06	-3.71087E-07	-1.31054E-06	-1.40658E-05
Rmm.hab.d	-0.00111832	-0.00188122	0.001936622	-0.000799638	-0.002589375	0.000354247	-0.014410089
Rmm.hab.e	0.00145959	-0.0040671	-0.00035407	-0.001026363	0.006406062	-0.005771609	0.035749681
Rmm.hab.a	0.004443095	0.014431756	-0.004385601	-0.002466399	-0.002708809	0.002525888	0
Dpp	-3.52E-08	-6.6194E-08	-4.16586E-07	-7.1595E-08	-7.95576E-07	-3.60888E-07	-3.39755E-06

#### 4.6.2 Índice de criterio ambiental 2 f (CA2)

Este criterio dice: no se puede dejar de considerar que la demanda de agua sea afectada por el calentamiento Global = F (CA2)

Para evaluar los efectos del calentamiento global sobre los recursos hídricos, se consideró la principal consecuencia del calentamiento global en la ciudad es el incremento de la temperatura media del ambiente (Ti) expresada en (° C), para definir el incremento se hará uso del concepto de anomalía de temperatura ( $\Omega T$ ) definido como:

$$\Omega T = Tm - Ti$$

$\Omega T$  = anomalía de temperatura

T<sub>m</sub> = temperatura media, promedio de todos los meses de enero de toda la serie (1977 a 2014), de igual forma para los restantes meses del año.

T<sub>i</sub> = temperatura media, promedio del mes analizado.

$$\Omega T_{3m} = \frac{\Sigma(\Omega T)}{3} \text{ (Ecuación xx)}$$

$\Omega T_{3m}$  = Persistencia de la anomalía

$\Sigma (\Omega T)$  = Es la sumatoria de anomalías de tres meses consecutivos, y el número 3 por lo tanto es el promedio de tres meses, con su signo respectivo, la cual pudo indicar indicios de evidencia del cambio climático al graficarlo, y revisar su tendencia

En resumen, se puede indicar que la persistencia de la anomalía no es más que el promedio de 3 meses consecutivos de la anomalía misma.

De acuerdo a recomendaciones de expertos, los cuales indican que mientras más alta es la temperatura ambiente, se observa un incremento en la demanda del agua, pues se toma más agua para aliviar la sed y los que pueden hacerlo hasta se duchan varias veces al día, también no debe olvidarse que como parte de la idiosincrasia, y la falta de cultura ambiental de la población existen personas que tienden a regar el jardín las veces que sean necesarias hasta obtener un verde profundo, pues sintomáticamente da la sensación de frescura al paisaje.

Para considerar dicho comportamiento por la población se incorpora a la ecuación de la sostenibilidad hídrica el segundo criterio de sostenibilidad hídrica que dice: "No se puede dejar de considerar que la demanda de agua sea afectada por el calentamiento Global = F (CA2) ".

Para considerar este criterio se incorpora el concepto de Factor de demanda de agua afectada por cambio climático (Dcc), el cual es calculado por medio de la persistencia de la anomalía de temperatura, adoptada por recomendaciones de los expertos y también utilizada por el NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) para el fenómeno del niño.

$$\Omega T_{3m} < 0.5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ entonces } D_{cc} = 1.00$$

$$\Omega T_{3m} \geq 0.5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ entonces } D_{cc} = 1.05$$

$$\Omega T_{3m} \geq 1.0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ entonces } D_{cc} = 1.10$$

$$\Omega T_{3m} \geq 1.5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ entonces } D_{cc} = 1.15$$

$$\Omega T_{3m} \geq 2.0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ entonces } D_{cc} = 1.20$$

El factor de demanda de agua afectada por el calentamiento global (Dcc) define por lo tanto al segundo componente de la sostenibilidad hídrica así:

$$F (CA2) = D_{cc}$$

Y la sostenibilidad hídrica queda redefinida como

$$F (CA1, CA2) = \frac{A}{[(D) [D_{cc}] ]}$$

Para poder evaluar este segundo criterio de sostenibilidad, se inicia con la obtención de la base de datos proporcionada por el INSIVUMEH la cual consistió en obtener la temperatura media (Ti) diaria de todos meses de cada año de la serie estudiada (1977 a 2014).

Con esta información, se ordenó en una tabla apropiada, como la que se presenta a continuación (el mes de enero como ejemplo) y se obtuvo el promedio mensual de cada mes de los años de la serie de estudio.

Finalmente, se presenta el resumen del promedio mensual de la temperatura media estudiada, para dar inicio con el análisis de las anomalías de temperatura que servirán para obtener el factor de demanda de cambio climático (Dcc).

Tabla 118. Temperatura media diaria del mes de enero de toda la serie de 1977 a 2014 en ° C

año/día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Tm
1977	18.7	17.9	17.7	17.2	18	17.8	17.4	18.3	18.4	18.2	17.3	16.9	17	18.6	18.2	17.2	17.1	15.1	12.9	11.6	12.2	14	15.1	17.6	17.1	16.8	17.6	19.3	19.6	18	17	17.0
1978	19.4	19.7	19.3	18.3	18.2	18.5	18.1	16.3	16.8	16.5	17	18.3	18.7	18.7	18.8	18.3	17.1	18.5	16.4	15.7	13.5	13.4	13	13.4	14.7	15.5	16.8	17.4	17.8	14.6	14	16.9
1979	16.4	12.4	13.6	15.5	16.4	17	16.9	17.7	17.5	16.8	14.7	13.1	14.9	17.1	17.7	16	15.8	16.9	17.6	15.9	17.1	17.7	17.9	16.8	17.2	17.9	18.1	15.5	14.2	13.7	15	16.2
1980	14.4	16.2	16.3	15.1	15.5	16	16.5	17.3	15.1	16	17	16.9	17	18.5	17.1	17.2	16.3	16.6	18.3	18.9	17.9	16.8	17.1	18.7	17.5	17.1	17.4	18.3	16.8	16.3	17.2	16.9
1981	10.2	11.5	15.8	17	16.6	17.4	18	18.5	18.3	16	16.9	18.4	15.7	12	15	16.1	16.5	16.8	17.2	19	18.6	18	19	18.6	19	17.9	18.5	17.5	16	16.5	16.3	16.7
1982	18.2	17.9	17.4	15	12.4	14.5	16.8	17.4	16.6	15.5	15	15.3	15.6	16.5	17	15.9	15.5	16.7	15.9	15.5	16.5	16	15.8	15.8	16.3	16.4	17.6	16.5	15.9	16.4	17	16.2
1983	17.1	16.5	16.7	17.2	16.6	16.4	14.7	15.3	16.8	17	17	17.3	16.1	13.4	14.4	14.1	15	16.6	17.3	17.8	16	15.9	16.5	16	14.2	15.2	15.8	15.2	14.3	14.8	14.8	15.9
1984	16	15.9	15.6	17.4	15.8	14	14.7	17.2	18.2	17.8	16.9	16	15.4	14.9	15.4	16.5	16.8	16.2	16.6	17	16.2	17	17.1	18.1	17.8	16.7	17.5	17	17.4	17.5	16.2	16.5
1985	17.4	19	17.2	16.9	19.1	19.3	15.3	12.3	13.6	13.7	16.7	18.6	16.8	16.2	18	15.4	16	18.2	17.1	17.6	18.8	18.4	17.7	17.6	18.4	19.5	18.2	19	19.3	17.5	17.4	17.3
1986	17.6	18.1	18.9	19.2	20.8	17.9	18.6	18.2	17.5	18.3	17.8	16.9	16.7	18	17.1	16.2	16.2	16.3	17.6	16.2	14.9	17.9	18.6	20	19.2	17.7	16.7	16.4	17.2	14.5	17.8	17.6
1987	17.7	19	19	18.6	18.4	17.1	15.9	15.8	17.2	18	19.3	18.8	20	19.2	15.9	15.9	16.7	17.9	18.5	18	18.7	19.3	19.1	18.2	15.7	16.3	16.5	16.7	17.8	18.9	18.9	17.7
1988	18.7	18.6	19.2	18.9	19.6	18.9	18.8	19.1	18.5	19.3	19.6	19.2	14.4	15.8	15.6	14.4	15.1	15.3	18.8	16.8	17	18.9	19.6	18.6	18.8	18.7	19.7	19.5	13.4	13.1	18.6	17.8
1989	18.7	18.7	18.3	17.2	17.4	18.3	17.2	18.3	18.7	18.8	19.8	17.5	15.6	16.3	15.7	17.1	16.6	17.8	18.6	17.9	17.7	17.1	16.5	18.7	16.1	16.9	17.4	18.9	18.3	17.1	18	17.7
1990	18	15.5	16.5	17.9	18.8	19.2	19	17.5	16.5	15.9	15.1	15.8	15.1	16	17.2	17.9	18.4	18.6	19.3	19.4	18.1	17	17	17.9	18.2	16.9	17.9	18.5	18	18.9	19	17.6
1991	17.1	17.5	17.2	16.6	17.1	18.2	18	17.5	18.7	19.1	20.9	19	18.5	17.2	18	19	19	19	18	19.2	18.5	16.4	17	19	18.2	17.5	19.2	17	20	19	20	18.3
1992	18.4	19	18.8	18.6	20	20	20.8	20.2	20	18.5	18.8	20	18.2	18	18	18	17.5	18.8	18.8	18	17.2	18.2	19	18	18.2	18.8	19	19.2	20.2	18.9	17.4	18.8
1993	17.5	17.4	18.8	20.7	20.3	19	18.4	17.4	17.2	18	18.8	19.3	19.3	19.2	19.8	19.9	19.5	19.4	19.3	19.8	19.4	19.3	18.5	19.1	18.3	16.7	14.3	15.1	17.2	16.9	17.2	18.4
1994	18.8	18.1	18.7	17.1	14.1	16.2	19.2	17.8	16.1	16.2	18	17.2	18.9	16.9	15.2	16.7	18.2	18	17	16.4	16.1	17	17.2	16.2	18.2	18.9	21.9	18.2	18.7	18.2	18	17.5
1995	16.7	17.9	21.9	18.2	18.3	19.4	19.9	19.5	18.3	17	16.9	18	17.1	18.2	17.1	18.2	18.2	18	19	19.8	19	18.5	19.9	18.3	18	17.2	18.5	19	20	19.3	17.9	18.5
1996	16.8	18	19	18.1	18.7	18.8	17.8	12.9	12.1	13.8	17	15.5	14	13.9	15.8	16.8	16.9	17.8	17.3	18	18.3	17.9	18.5	19.3	17.1	18.8	18.7	17.8	17.1	18.1	18.9	17.1
1997	18.7	18.9	19.8	19.3	19.2	19	18.5	18.6	19.2	19.3	18.8	19.9	19.3	18	18.1	19.2	17.2	16.1	15.2	15.6	17.8	19.3	20	19.5	20.1	18.5	18.4	19.7	18.3	17.5	18.3	18.6
1998	15.9	16.1	18.7	19.2	20	19.1	19.5	19.8	21.2	21.5	21.9	20.8	20.8	19.5	20.9	19.9	20	19.8	19.1	20.2	21.2	21.2	22.4	20.2	20.1	20.7	18.8	19	19	19.3	20	19.9
1999	19.9	22	19.3	15.3	14.2	15.7	16.8	18.2	18.2	17	14.1	16.1	16.8	17.7	15.8	17	17.1	18.8	17	18.2	19.2	19.2	18.6	15	14.3	15.7	18.8	18.5	19.3	19.5	16.5	17.4
2000	17.8	19.6	18.4	17.5	15.9	17.8	17	18.9	18.1	19.5	17.3	16.9	16.9	16	16.5	16.4	15	15.1	16.3	18	17.7	18.9	23.7	23.4	18.8	18	18.4	18.6	18.4	18.2	19.1	18.0
2001	15.9	17.4	16.4	16.7	16.1	16	17	17	16.3	16	18	17	16.9	17	15.5	16.9	17	16.8	17.8	16.2	14.8	13.8	13.9	15.4	15	15.3	17	19.5	20.6	20.6	20.3	16.8
2002	18	18	17.5	16	17.5	17	12.8	12.9	12.6	14.4	15	16.3	16.1	16.7	16.9	17	17.3	17.1	17.3	17.5	17.6	17.5	20.8	20.1	19.2	18.4	18.1	19.9	19.9	19.4	21.5	17.3
2003	18.7	18.3	17	16.1	18.3	18.8	16.8	15.5	15	19.2	18	18	17	16.5	15.2	16.9	16.8	16	15	15	17.4	18.8	17.3	15.8	16	16.2	14.5	14.9	16	18	18	16.8
2004	17	17.2	19.3	20	19.2	17.7	18.9	17.8	18.2	18	18	15.9	17	18.1	15.8	19	18.2	19.9	20.5	20	19.2	19.2	18.3	18.2	18	18.5	19	18.7	19	20.9	20	18.5
2005	18.9	19.1	18	17.8	18	18.3	18.8	18	17.9	17	18	18.1	19	18.5	17	16.1	17.2	15.2	15.2	16.2	16.9	17.2	18	19	17.8	17.2	17	18.1	18.2	19	18	17.7
2006	17	17.2	19.3	20	19.2	17.7	18.9	17.8	18.2	18	18	15.9	17	18.1	15.8	19	18.2	19	20.5	20	19.2	19.2	18.3	18.2	18	18.5	19	18.7	19	20.9	20	18.5
2007	20.3	19.8	19.8	20	20.2	21.4	20.9	17.8	18.8	17.3	17.7	18.7	20.6	19.5	19.9	18.2	17.5	17.6	17.6	19.5	19.9	19	20.9	21	19.5	19.8	20.6	19.9	18.4	20.6	20.2	19.4
2008	18.1	15.2	11.2	12.8	16.8	17	18	19.3	19	19.1	20.1	19.7	20	17.9	18.5	17.8	18	17.1	18	17.7	16.7	17.7	17.8	18.4	16.4	18	18	18.2	17.8	18.2	17.9	17.6
2009	17	18	21	21	21.8	18.4	22.5	20	18.8	21	18	18.5	21	19	19	19.1	17	18.5	20.1	17.8	18	16	16	17	17.9	20.9	18	21	20	18.9	18	19.0
2010	18.4	17.2	18.5	17	17.4	16	18.5	18.5	18	14.3	10.5	14.7	14	17.3	18.9	19.9	18.5	16	19.8	18	18	18.6	18.1	18	19.5	19.8	20	19.4	20.5	21.3	18.7	17.8
2011	21.1	19.4	18.5	19.3	19.3	19.6	19.8	18.8	19.6	20	17.5	15.9	16.8	15.2	15	18.8	19.5	19.3	22.5	21	20.2	20	19.9	19	20	19.9	19	16.2	18.4	19.5	20.3	19.0
2012	19.3	17.9	16	14.7	15.2	17.1	17.2	18.2	16.5	19	17.3	17.8	18.8	18.7	18.1	18.3	19.9	19.7	19.3	19.8	19.2	19.6	19.9	20.4	19.4	20.5	17.3	19.9	18.7	16.5	16.8	18.3
2013	21.3	20.3	20.5	17.8	19.5	20.7	19.1	20.3	20.5	21.7	20.7	20.3	19.9	21.3	19.7	21.2	17.5	16	17.5	18.7	18.5	18.6	19	18.2	17.7	19.4	20.4	20.5	20.3	20.6	20.5	19.6
2014	19.3	20.1	18.4	19.5	20	19.5	16.9	16.1	20.3	19.9	20.5	18.7	20.8	20	17.7	14.9	16.9	15.5	17.1	18.4	19.1	17.1	19.6	17.3	18.3	20	20.7	20.2	20.7	19.5	19.1	18.8

Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH, 2016Tabla 00x.

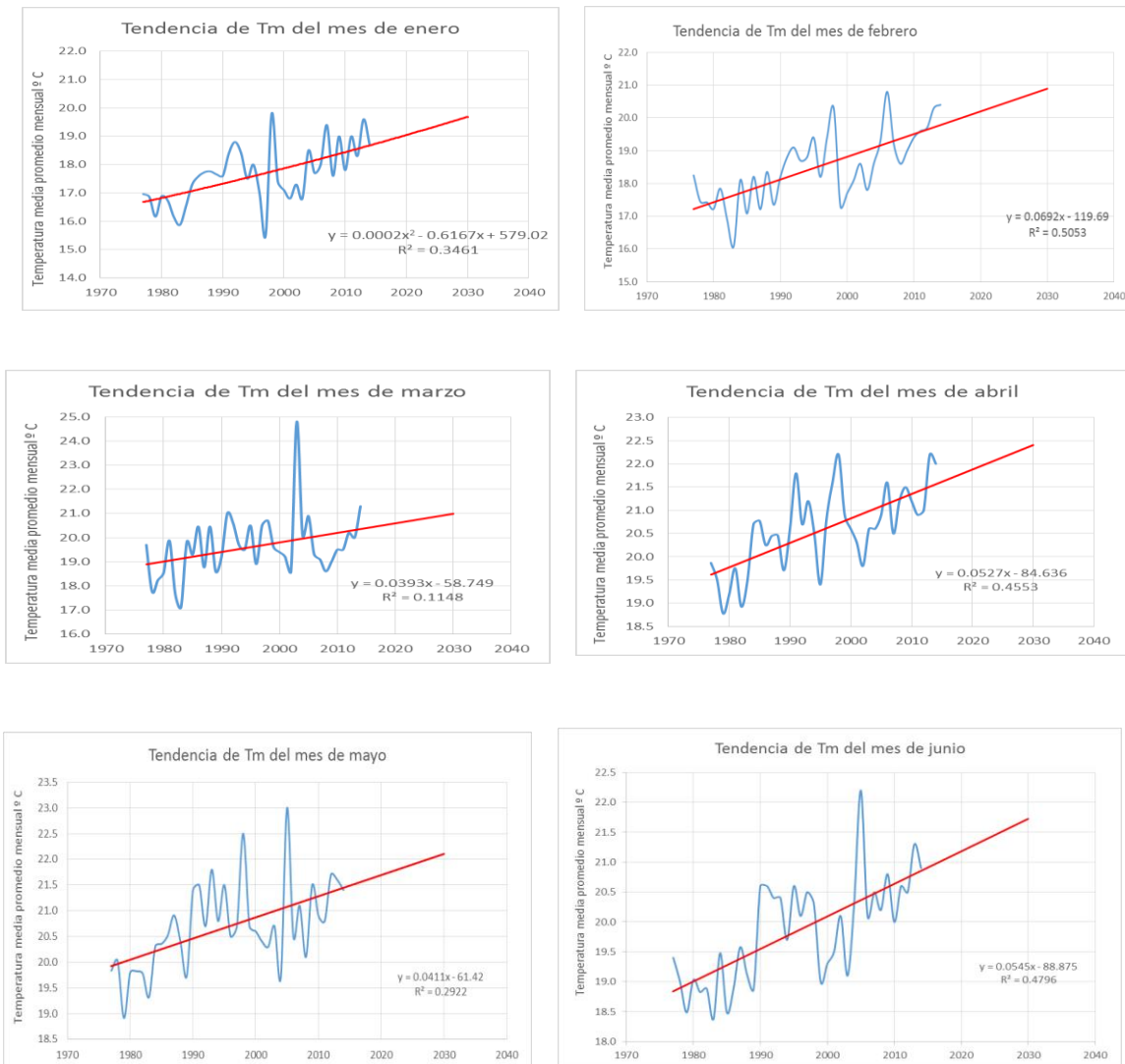
Tabla 119. *Temperatura media promedio mensual (Ti) de todos los años de la serie 1977 a 2014 en ° C*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1977	17.0	18.3	19.7	19.9	19.8	19.4	19.8	19.8	19.6	19.4	18.7	16.4	19.0
1978	16.9	17.4	17.8	19.5	20.0	19.0	19.1	18.9	18.6	18.5	17.4	15.4	18.2
1979	16.2	17.4	18.2	18.8	18.9	18.5	18.5	19.1	18.2	18.2	16.3	17.2	18.0
1980	16.9	17.2	18.5	19.2	19.8	19.0	18.5	18.9	17.4	17.4	16.9	16.8	18.0
1981	16.7	17.8	19.9	19.8	19.8	18.8	18.6	18.9	17.5	17.5	17.9	16.4	18.3
1982	16.2	16.9	17.7	18.9	19.8	18.9	18.8	19.2	17.9	17.9	17.6	17.2	18.1
1983	15.9	16.1	17.1	19.5	19.3	18.4	18.8	18.9	18.0	18.0	17.1	15.9	17.8
1984	16.5	18.1	19.8	20.7	20.3	19.5	19.2	18.6	18.8	18.8	17.3	17.9	18.8
1985	17.3	17.1	19.3	20.8	20.4	18.5	18.8	19.2	19.6	19.6	17.4	15.8	18.6
1986	17.6	18.2	20.5	20.3	20.5	18.9	18.6	19.0	19.0	18.0	17.7	17.3	18.8
1987	17.7	17.2	18.8	20.4	20.9	19.6	19.6	19.2	19.3	19.3	19.5	15.8	18.9
1988	17.8	18.4	20.5	20.5	20.4	19.1	19.2	18.7	18.7	18.7	18.0	17.9	19.0
1989	17.7	17.4	18.6	19.7	19.7	18.9	19.0	19.1	17.8	17.8	17.3	16.4	18.3
1990	17.6	18.2	19.2	20.6	21.4	20.6	20.4	20.5	20.1	19.8	18.6	18.2	19.6
1991	18.4	18.8	21.0	21.8	21.5	20.6	20.3	20.6	20.1	19.6	18.4	17.9	19.9
1992	18.8	19.1	20.6	20.7	20.7	20.4	19.7	20.0	19.6	19.5	19.6	18.2	19.7
1993	18.4	18.7	19.7	21.2	21.8	20.4	20.2	19.6	19.7	19.5	18.1	17.5	19.6
1994	17.5	18.8	19.5	20.5	20.8	19.7	20.0	19.4	19.3	20.0	19.6	18.5	19.5
1995	18.0	19.4	20.5	19.4	21.5	20.6	20.1	20.3	19.4	19.0	18.7	18.4	19.6
1996	17.0	18.2	18.9	20.8	20.5	20.1	19.5	19.9	20.0	19.8	18.5	18.4	19.3
1997	15.5	19.4	20.5	21.6	20.7	20.5	20.0	20.7	19.3	20.0	19.9	18.3	19.7
1998	19.8	20.3	20.7	22.2	22.5	20.3	20.9	20.8	19.6	21.5	19.0	18.1	20.5
1999	17.4	17.3	19.6	20.9	20.7	19.0	19.0	19.3	18.4	18.4	17.3	17.8	18.8
2000	17.1	17.7	19.4	20.6	20.6	19.3	19.6	19.6	18.8	18.7	17.3	18.1	18.9
2001	16.8	18.1	19.2	20.3	20.4	19.5	20.1	19.9	19.2	19.0	17.3	18.3	19.0
2002	17.3	18.6	18.6	19.8	20.3	20.1	21.0	19.6	18.9	18.5	17.1	17.9	19.0
2003	16.8	17.8	24.8	20.6	20.7	19.1	20.3	20.0	19.7	20.2	19.2	17.5	19.7
2004	18.5	18.6	20.1	20.6	19.7	20.3	19.7	20.2	19.3	19.8	18.7	18.2	19.5
2005	17.7	19.3	20.9	20.9	23.0	22.2	21.8	21.1	21.2	19.7	18.2	18.4	20.4
2006	18.0	20.8	19.3	21.6	20.5	20.1	20.3	20.7	20.2	20.4	18.1	19.2	19.9
2007	19.4	19.2	19.1	20.5	21.1	20.5	20.8	20.2	20.1	18.9	18.7	19.2	19.8
2008	17.6	18.6	18.6	21.2	20.1	20.2	19.8	25.6	19.6	19.5	18.6	17.9	19.8
2009	19.0	19.0	19.0	21.5	21.5	20.8	21.2	21.0	20.7	20.5	18.9	19.4	20.2
2010	17.8	19.4	19.5	21.2	20.9	20.0	20.3	19.8	19.7	18.9	18.4	16.5	19.4
2011	19.0	19.6	19.5	20.9	20.8	20.6	20.5	20.4	19.9	19.3	19.5	18.5	19.9
2012	18.3	19.7	20.2	21.0	21.7	20.5	21.2	20.9	20.7	20.7	18.6	19.4	20.2
2013	19.6	20.3	20.0	22.2	21.6	21.3	21.1	20.4	20.0	20.8	20.0	19.1	20.5
2014	18.7	20.4	21.3	22.0	21.4	20.9	21.6	20.6	20.2	20.3	19.4	19.0	20.5
<b>Tm serie</b>	17.6	18.5	19.6	20.6	20.7	19.8	19.9	20.0	19.3	19.3	18.3	17.7	19.3
<b>σ std</b>	1.022	1.083	1.288	0.868	0.846	0.874	0.902	1.183	0.894	0.965	0.938	1.066	0.770

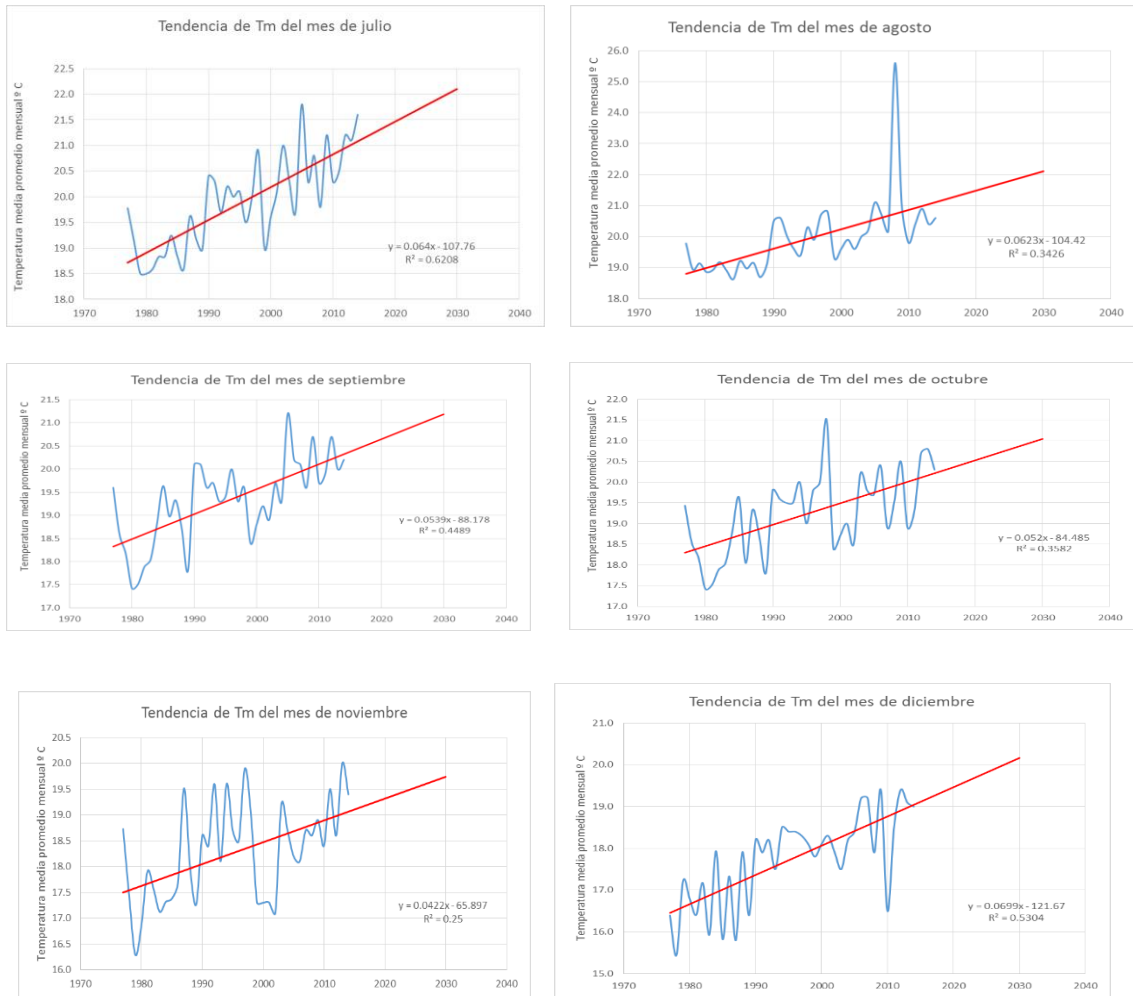
Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH, 2016

**Tm serie** = es la temperatura promedio interanual de todas las temperaturas medias mensuales de todos los meses de enero, febrero, marzo, etc. de toda la serie 1977 a 2014.

Con los datos de la tabla anterior se procede a graficar cual ha sido la trayectoria de la temperatura media de la ciudad de Guatemala mes a mes y observar su tendencia.



**Figura 64.** Trayectoria de temperatura media de los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio de toda la serie. Fuente: elaboración propia con datos del INSIVUMEH, 2016



**Figura 65.** Trayectoria de temperatura media de los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de toda la serie. Fuente: elaboración propia con datos del INSIVUMEH, 2016

Y las temperaturas medias interanuales de cada mes se presentan a continuación:

Tabla 120. *Temperaturas medias interanuales de la serie 1977 a 2014*

Mes	$\overline{T_m}$ serie	$\sigma$ std
Enero	17.6	1.0216
Febrero	18.5	1.0826
Marzo	19.6	1.2881
Abril	20.6	0.8684
Mayo	20.7	0.846
Junio	19.8	0.8743
Julio	19.9	0.9023
Agosto	20.0	1.1834
Septiembre	19.3	0.8936
Octubre	19.3	0.9653
Noviembre	18.3	0.9376
Diciembre	17.7	1.0661

Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH, 2016

Y el comportamiento de forma gráfica es:

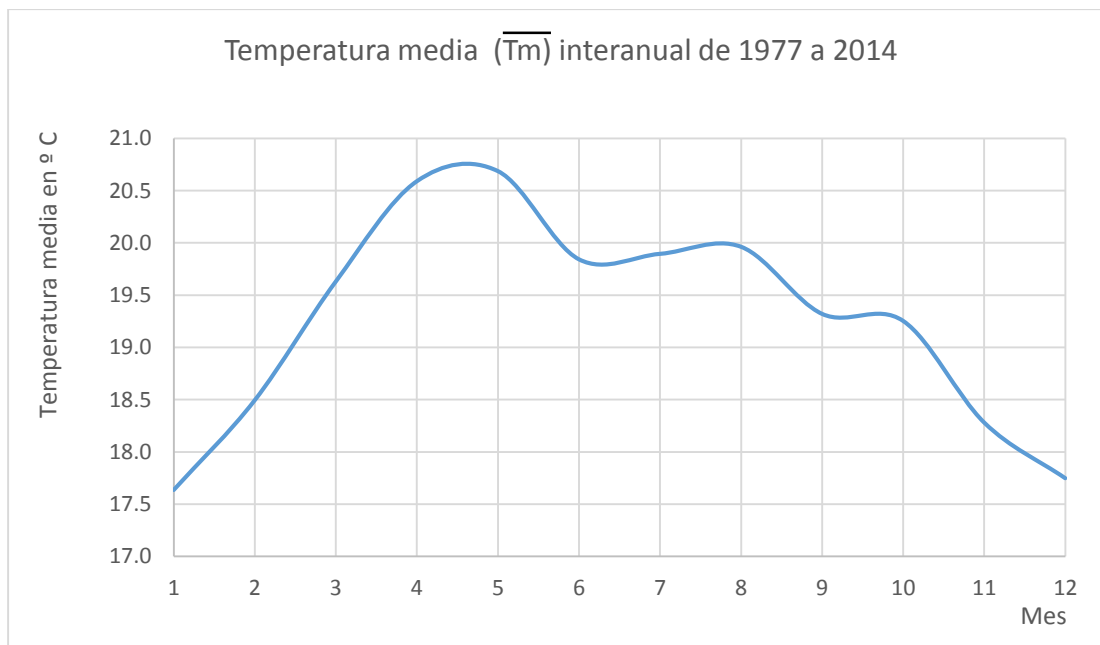


Figura 66. Comportamiento de la temperatura media interanual en °C

Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH, 2016



Tabla 121. Anomalías de temperatura de la ciudad de Guatemala en ° C

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1977	-0.675	-0.245	0.072	-0.720	-0.852	-0.440	-0.118	-0.183	0.279	0.178	0.445	-1.355	-0.301
1978	-0.775	-1.047	-1.867	-1.080	-0.661	-0.837	-0.751	-1.018	-0.727	-0.715	-0.871	-2.307	-1.055
1979	-1.475	-1.070	-1.392	-1.814	-1.771	-1.357	-1.386	-0.824	-1.144	-1.076	-1.991	-0.533	-1.319
1980	-0.756	-1.270	-1.089	-1.400	-0.887	-0.810	-1.396	-1.102	-1.895	-1.828	-1.421	-0.952	-1.234
1981	-0.901	-0.650	0.243	-0.837	-0.865	-1.017	-1.305	-1.037	-1.805	-1.738	-0.378	-1.342	-0.969
1982	-1.482	-1.577	-1.960	-1.667	-0.910	-0.960	-1.063	-0.786	-1.434	-1.367	-0.718	-0.578	-1.208
1983	-1.765	-2.419	-2.512	-1.110	-1.368	-1.467	-1.057	-1.057	-1.276	-1.209	-1.158	-1.816	-1.518
1984	-1.094	-0.388	0.191	0.110	-0.381	-0.363	-0.651	-1.341	-0.524	-0.457	-0.968	0.187	-0.473
1985	-0.340	-1.413	-0.347	0.186	-0.332	-1.357	-1.063	-0.750	0.315	0.382	-0.905	-1.926	-0.629
1986	-0.056	-0.284	0.827	-0.340	-0.165	-0.960	-1.305	-0.992	-0.347	-1.209	-0.608	-0.416	-0.488
1987	0.093	-1.281	-0.870	-0.144	0.222	-0.263	-0.280	-0.808	0.008	0.075	1.235	-1.952	-0.330
1988	0.122	-0.138	0.827	-0.134	-0.287	-0.717	-0.712	-1.273	-0.615	-0.547	-0.311	0.161	-0.302
1989	0.015	-1.145	-1.044	-0.887	-0.965	-0.967	-0.921	-0.850	-1.511	-1.444	-1.021	-1.355	-1.008
1990	-0.036	-0.295	-0.431	0.010	0.713	0.757	0.504	0.537	0.779	0.546	0.319	0.451	0.321
1991	0.764	0.305	1.369	1.210	0.813	0.757	0.404	0.637	0.779	0.346	0.119	0.151	0.638
1992	1.164	0.605	0.969	0.110	0.013	0.557	-0.196	0.037	0.279	0.246	1.319	0.451	0.463
1993	0.764	0.205	0.069	0.610	1.113	0.557	0.304	-0.363	0.379	0.246	-0.181	-0.249	0.288
1994	-0.136	0.305	-0.131	-0.090	0.113	-0.143	0.104	-0.563	-0.021	0.746	1.319	0.751	0.188
1995	0.364	0.905	0.869	-1.190	0.813	0.757	0.204	0.337	0.079	-0.254	0.419	0.651	0.329
1996	-0.636	-0.295	-0.731	0.210	-0.187	0.257	-0.396	-0.063	0.679	0.546	0.219	0.651	0.021
1997	-2.136	0.905	0.869	1.010	0.013	0.657	0.104	0.737	-0.021	0.746	1.619	0.551	0.421
1998	2.164	1.805	1.069	1.610	1.813	0.457	1.004	0.837	0.279	2.246	0.719	0.351	1.196
1999	-0.236	-1.195	-0.031	0.310	0.013	-0.843	-0.896	-0.663	-0.921	-0.854	-0.981	0.051	-0.521
2000	-0.536	-0.795	-0.231	0.010	-0.087	-0.543	-0.296	-0.363	-0.521	-0.554	-0.981	0.351	-0.379
2001	-0.836	-0.395	-0.431	-0.290	-0.287	-0.343	0.204	-0.063	-0.121	-0.254	-0.981	0.551	-0.271
2002	-0.336	0.105	-1.031	-0.790	-0.387	0.257	1.104	-0.363	-0.421	-0.754	-1.181	0.151	-0.304
2003	-0.836	-0.695	5.169	0.010	0.013	-0.743	0.404	0.037	0.379	0.946	0.919	-0.249	0.446
2004	0.864	0.105	0.469	0.010	-0.987	0.457	-0.196	0.237	-0.021	0.546	0.419	0.451	0.196
2005	0.064	0.805	1.269	0.310	2.313	2.357	1.904	1.137	1.879	0.446	-0.081	0.651	1.088
2006	0.364	2.305	-0.331	1.010	-0.187	0.257	0.404	0.737	0.879	1.146	-0.181	1.451	0.654
2007	1.764	0.705	-0.531	-0.090	0.413	0.657	0.904	0.237	0.779	-0.354	0.419	1.451	0.529
2008	-0.036	0.105	-1.031	0.610	-0.587	0.357	-0.096	5.637	0.279	0.246	0.319	0.151	0.496
2009	1.364	0.505	-0.631	0.910	0.813	0.957	1.304	1.037	1.379	1.246	0.619	1.651	0.929
2010	0.164	0.905	-0.131	0.610	0.213	0.157	0.404	-0.163	0.379	-0.354	0.119	-1.249	0.088
2011	1.364	1.105	-0.131	0.310	0.113	0.757	0.604	0.437	0.579	0.046	1.219	0.751	0.596
2012	0.664	1.205	0.569	0.410	1.013	0.657	1.304	0.937	1.379	1.446	0.319	1.651	0.963
2013	1.964	1.805	0.369	1.610	0.913	1.457	1.204	0.437	0.679	1.546	1.719	1.351	1.254
2014	1.064	1.905	1.669	1.410	0.713	1.057	1.704	0.637	0.879	1.046	1.119	1.251	1.204

Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEN, 2016

### Evolución de las anomalías de temperatura media mensual en ciudad Guatemala

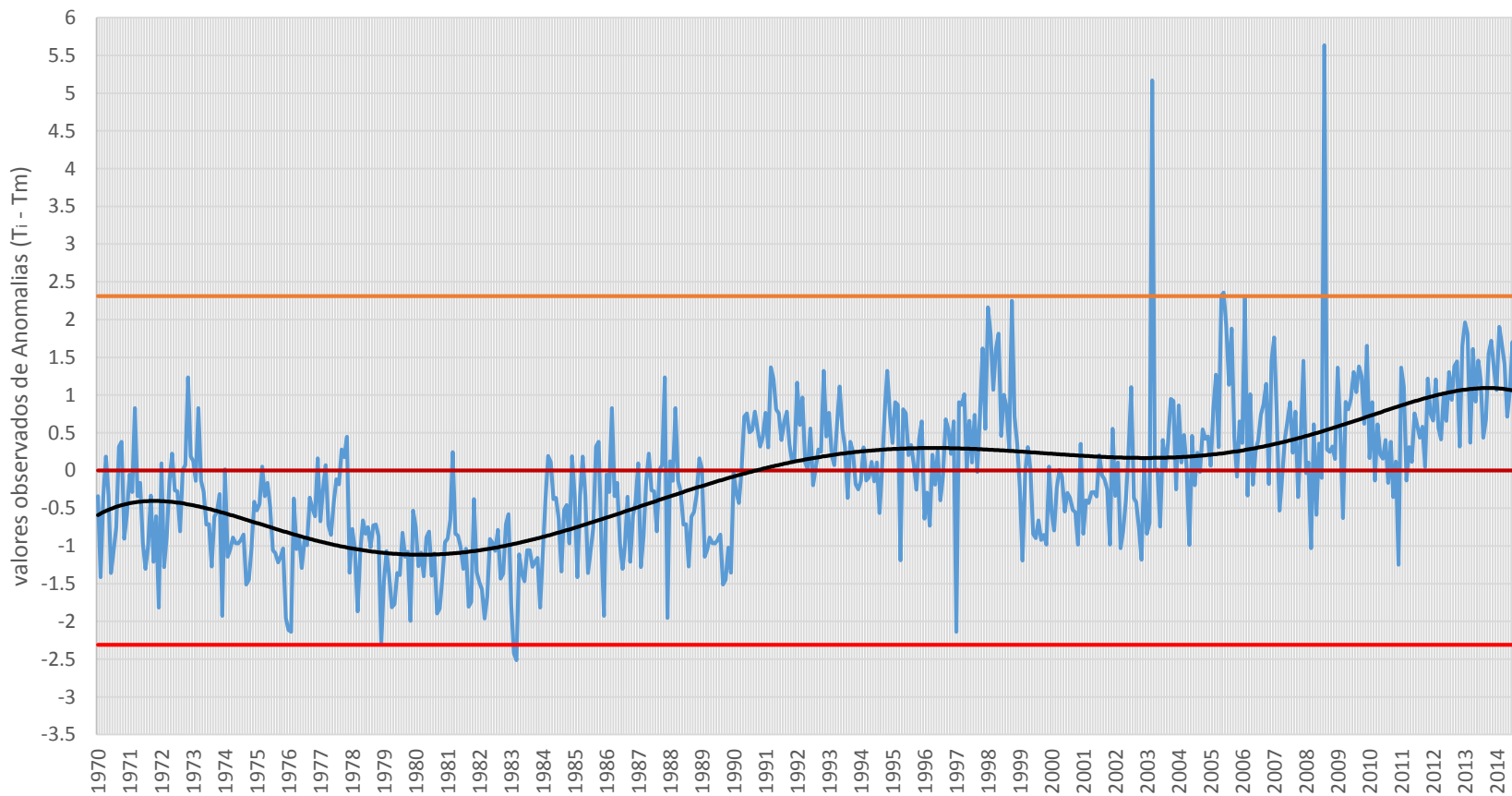


Figura 67. Evolución de la anomalía de temperatura media mensual en ciudad Guatemala en °C Fuente: Elaboración Propia con datos del INSIVUMEH, 2016

Tabla 122. Persistencia de anomalías de temperatura de la ciudad de Guatemala en ° C

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1977	-0.374	-0.253	-0.283	-0.298	-0.500	-0.671	-0.470	-0.247	-0.007	0.092	0.301	-0.244	-0.246
1978	-0.562	-1.059	-1.229	-1.331	-1.203	-0.860	-0.750	-0.868	-0.832	-0.820	-0.771	-1.298	-0.965
1979	-1.551	-1.617	-1.313	-1.425	-1.659	-1.647	-1.505	-1.189	-1.118	-1.015	-1.404	-1.200	-1.387
1980	-1.093	-0.853	-1.038	-1.253	-1.126	-1.033	-1.031	-1.103	-1.464	-1.608	-1.715	-1.400	-1.226
1981	-1.091	-0.834	-0.436	-0.415	-0.486	-0.906	-1.062	-1.120	-1.383	-1.527	-1.307	-1.153	-0.977
1982	-1.067	-1.467	-1.673	-1.735	-1.512	-1.179	-0.978	-0.936	-1.094	-1.195	-1.173	-0.887	-1.241
1983	-1.020	-1.587	-2.232	-2.014	-1.663	-1.315	-1.297	-1.193	-1.130	-1.180	-1.214	-1.394	-1.437
1984	-1.356	-1.100	-0.430	-0.029	-0.027	-0.212	-0.465	-0.785	-0.838	-0.774	-0.650	-0.413	-0.590
1985	-0.374	-0.522	-0.700	-0.525	-0.164	-0.501	-0.918	-1.057	-0.500	-0.018	-0.069	-0.816	-0.514
1986	-0.962	-0.755	0.162	0.067	0.107	-0.488	-0.810	-1.086	-0.881	-0.849	-0.721	-0.744	-0.580
1987	-0.311	-0.535	-0.686	-0.765	-0.264	-0.062	-0.107	-0.450	-0.360	-0.242	0.440	-0.214	-0.296
1988	-0.198	-0.656	0.270	0.185	0.135	-0.379	-0.572	-0.900	-0.866	-0.812	-0.491	-0.233	-0.376
1989	-0.045	-0.323	-0.725	-1.025	-0.965	-0.939	-0.951	-0.913	-1.094	-1.269	-1.326	-1.273	-0.904
1990	-0.804	-0.562	-0.254	-0.239	0.097	0.493	0.658	0.599	0.607	0.621	0.548	0.439	0.183
1991	0.511	0.507	0.812	0.961	1.130	0.926	0.658	0.599	0.607	0.587	0.415	0.205	0.660
1992	0.478	0.640	0.912	0.561	0.364	0.226	0.125	0.133	0.040	0.187	0.615	0.672	0.413
1993	0.845	0.473	0.346	0.294	0.597	0.760	0.658	0.166	0.107	0.087	0.148	-0.061	0.368
1994	-0.189	-0.027	0.012	0.028	-0.036	-0.040	0.025	-0.201	-0.160	0.054	0.681	0.939	0.091
1995	0.811	0.673	0.712	0.194	0.164	0.126	0.591	0.433	0.207	0.054	0.081	0.272	0.360
1996	0.145	-0.093	-0.554	-0.272	-0.236	0.093	-0.109	-0.067	0.073	0.387	0.481	0.472	0.027
1997	-0.422	-0.193	-0.121	0.928	0.630	0.560	0.258	0.499	0.273	0.487	0.781	0.972	0.388
1998	1.445	1.507	1.679	1.494	1.497	1.293	1.091	0.766	0.707	1.121	1.081	1.105	1.232
1999	0.278	-0.360	-0.488	-0.306	0.097	-0.174	-0.575	-0.801	-0.827	-0.813	-0.919	-0.595	-0.457
2000	-0.489	-0.427	-0.521	-0.339	-0.103	-0.207	-0.309	-0.401	-0.393	-0.479	-0.685	-0.395	-0.396
2001	-0.489	-0.293	-0.554	-0.372	-0.336	-0.307	-0.142	-0.067	0.007	-0.146	-0.452	-0.228	-0.282
2002	-0.255	0.107	-0.421	-0.572	-0.736	-0.307	0.325	0.333	0.107	-0.513	-0.785	-0.595	-0.276
2003	-0.622	-0.460	1.212	1.494	1.730	-0.240	-0.109	-0.101	0.273	0.454	0.748	0.539	0.410
2004	0.511	0.240	0.479	0.194	-0.170	-0.174	-0.242	0.166	0.007	0.254	0.315	0.472	0.171
2005	0.311	0.440	0.712	0.794	1.297	1.660	2.191	1.799	1.640	1.154	0.748	0.339	1.091
2006	0.311	1.107	0.779	0.994	0.164	0.360	0.158	0.466	0.673	0.921	0.615	0.805	0.613
2007	1.011	1.307	0.646	0.028	-0.070	0.326	0.658	0.599	0.640	0.221	0.281	0.505	0.513
2008	0.611	0.507	-0.321	-0.106	-0.336	0.126	-0.109	1.966	1.940	2.054	0.281	0.239	0.571
2009	0.611	0.673	0.412	0.261	0.364	0.893	1.025	1.099	1.240	1.221	1.081	1.172	0.838
2010	0.811	0.907	0.312	0.461	0.230	0.326	0.258	0.133	0.207	-0.046	0.048	-0.495	0.263
2011	0.078	0.407	0.779	0.428	0.097	0.393	0.491	0.599	0.540	0.354	0.615	0.672	0.454
2012	0.878	0.873	0.812	0.728	0.664	0.693	0.991	0.966	1.207	1.254	1.048	1.139	0.938
2013	1.311	1.807	1.379	1.261	0.964	1.326	1.191	1.033	0.773	0.887	1.315	1.539	1.232
2014	1.378	1.440	1.546	1.661	1.264	1.060	1.158	1.133	1.073	0.854	1.015	1.139	1.227

Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEN, 2016

Persistencia de la anomalía de Temperatura media en ciudad Guatemala

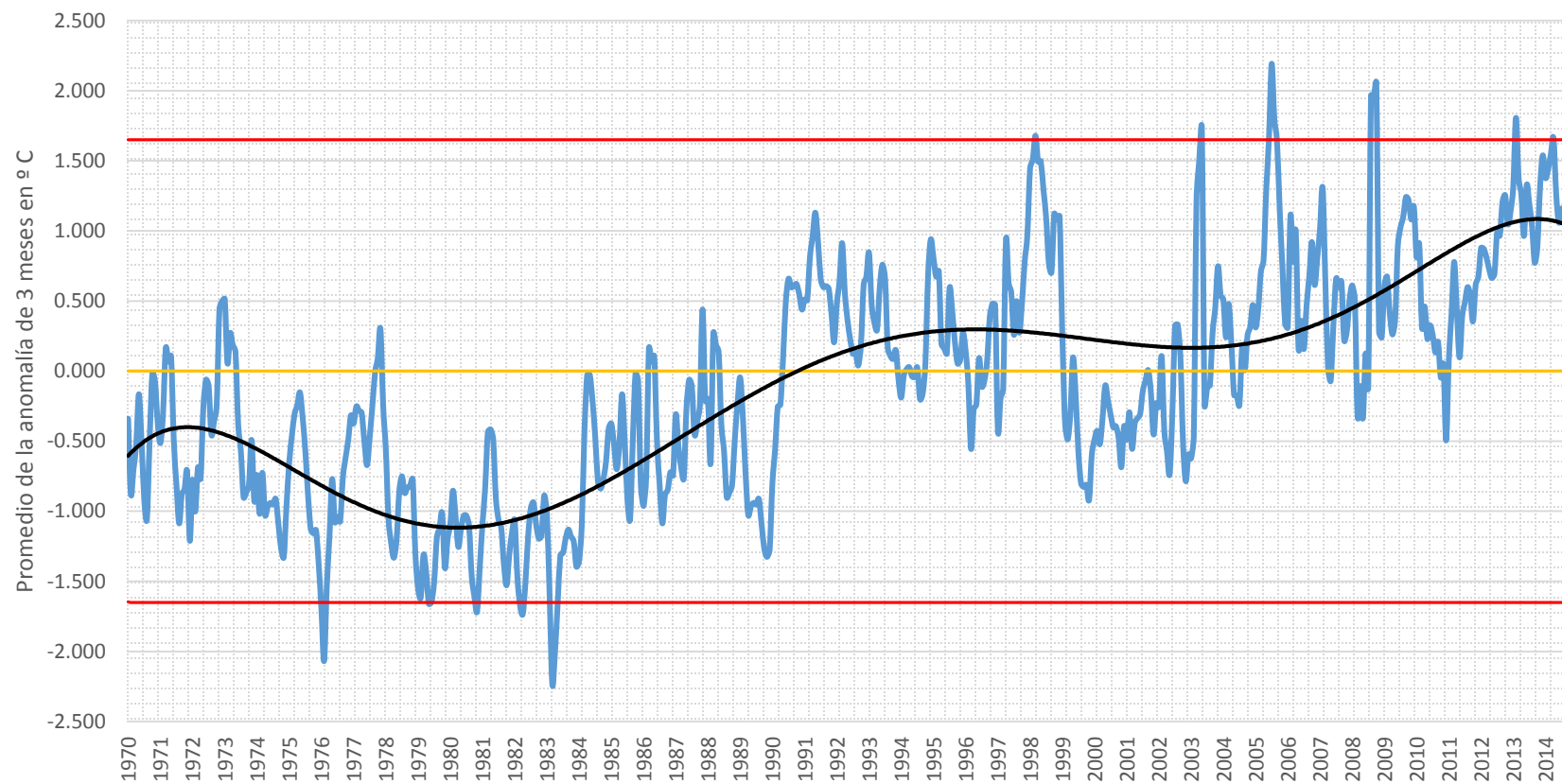


Figura 68. Evolución de la persistencia de anomalía de temperatura media mensual en ciudad Guatemala en ° C. Fuente: Elaboración Propia con datos del INSIVUMEH, 2016

Tabla 123. Factor de demanda de agua por efectos del calentamiento global (Dcc) en ciudad de Guatemala

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1977	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1	1	1	1.0083
1978	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.1	1.0708
1979	1.15	1.15	1.1	1.1	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1208
1980	1.1	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15	1.15	1.1	1.1042
1981	1.1	1.05	1	1	1	1.05	1.1	1.1	1.1	1.15	1.1	1.1	1.0708
1982	1.1	1.1	1.15	1.15	1.15	1.1	1.05	1.05	1.1	1.1	1.1	1.05	1.1000
1983	1.1	1.15	1.2	1.2	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1250
1984	1.1	1.1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1.0333
1985	1	1.05	1.05	1.05	1	1.05	1.05	1.1	1	1	1	1.05	1.0333
1986	1.05	1.05	1	1	1	1	1.05	1.1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.0375
1987	1	1.05	1.05	1.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0125
1988	1	1.05	1	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1.0208
1989	1	1	1.05	1.1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0625
1990	1.05	1.05	1	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1.0292
1991	1.05	1.05	1.05	1.05	1.1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1.0458
1992	1	1.05	1.05	1.05	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1.0208
1993	1.05	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1	1	1	1	1	1.0167
1994	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1.0083
1995	1.05	1.05	1.05	1	1	1	1.05	1	1	1	1	1	1.0167
1996	1	1	1.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0042
1997	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1	1	1	1	1.05	1.05	1.0208
1998	1.1	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.05	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1000
1999	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.0250
2000	1	1	1.05	1	1	1	1	1	1	1	1.05	1	1.0083
2001	1	1	1.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0042
2002	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1.0208
2003	1.05	1	1.1	1.1	1.15	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1.0417
2004	1.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0042
2005	1	1	1.05	1.05	1.1	1.15	1.2	1.15	1.15	1.1	1.05	1	1.0833
2006	1	1.1	1.05	1.05	1	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.0333
2007	1.1	1.1	1.05	1	1	1	1.05	1.05	1.05	1	1	1.05	1.0375
2008	1.05	1.05	1	1	1	1	1	1.15	1.15	1.2	1	1	1.0500
2009	1.05	1.05	1	1	1	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0625
2010	1.05	1.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0083
2011	1	1	1.05	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1.05	1.05	1.0208
2012	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0667
2013	1.1	1.15	1.1	1.1	1.05	1.1	1.1	1.1	1.05	1.05	1.1	1.15	1.0958
2014	1.1	1.1	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.05	1.1	1.1	1.1042

Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEN, 2016

Entonces al aplicar este factor de demanda de agua por el calentamiento global el índice de sostenibilidad hídrico ( $ISH = F(CA1, CA2)$ ) disminuye y se presenta únicamente para la zona de estudio a manera de ejemplo.

Tabla 124. *ISH afectado por dos componentes ambientales*

Año	$F(CA1, CA2)P = \frac{A}{(Dpc * Dcc)}$ sin incluir Dsp	$F(CA1, CA2)T = \frac{A}{(D * Dcc)}$	Arze	Dpze *Dcc	Dppze*Dcc
1,977	0.883	0.245	901,049	1,020,360	3,677,582
1,978	0.829	0.244	910,205	1,021,949	3,677,513
1,979	0.792	0.248	917,385	1,032,013	3,685,918
1,980	0.786	0.251	940,720	1,042,076	3,694,323
1,981	0.853	0.271	983,239	1,052,140	3,702,728
1,982	0.917	0.302	1,115,124	1,058,004	3,706,933
1,983	0.876	0.294	1,101,473	1,059,594	3,706,865
1,984	0.958	0.305	1,113,221	1,065,383	3,710,995
1,985	0.954	0.310	1,129,287	1,071,171	3,715,125
1,986	0.941	0.330	1,136,124	1,076,960	3,719,255
1,987	0.990	0.340	1,197,903	1,082,749	3,723,385
1,988	0.990	0.340	1,197,903	1,088,538	3,727,516
1,989	0.992	0.353	1,296,261	1,098,601	3,735,920
1,990	1.054	0.366	1,351,364	1,107,948	3,736,828
1,991	0.947	0.335	1,247,187	1,113,019	3,733,460
1,992	0.968	0.343	1,281,642	1,113,782	3,725,784
1,993	1.005	0.350	1,337,001	1,114,544	3,718,107
1,994	0.970	0.338	1,292,595	1,119,616	3,714,740
1,995	1.054	0.363	1,434,765	1,128,962	3,715,647
1,996	1.050	0.359	1,426,566	1,138,309	3,716,554
1,997	1.018	0.335	1,420,737	1,143,346	3,713,152
1,998	0.917	0.326	1,389,620	1,148,383	3,709,750
1,999	1.021	0.351	1,468,262	1,153,420	3,706,348
2,000	0.993	0.334	1,478,009	1,158,457	3,702,946
2,001	1.072	0.314	1,602,860	1,159,219	3,695,270
2,002	1.053	0.356	1,622,521	1,159,473	3,696,553
2,003	1.007	0.320	1,595,553	1,155,211	3,693,319
2,004	1.045	0.343	1,616,569	1,159,774	3,698,912
2,005	0.950	0.302	1,591,614	1,164,338	3,704,505
2,006	1.018	0.322	1,650,929	1,164,592	3,705,788
2,007	0.962	0.316	1,620,221	1,164,846	3,707,072
2,008	0.937	0.314	1,614,791	1,165,100	3,708,355
2,009	0.878	0.305	1,545,376	1,169,664	3,713,948
2,010	0.937	0.315	1,576,637	1,174,227	3,719,540
2,011	0.941	0.319	1,617,041	1,183,308	3,729,650
2,012	0.896	0.300	1,625,739	1,192,388	3,739,759
2,013	0.906	0.297	1,703,722	1,196,952	3,745,352
2,014	0.873	0.259	1,655,812	1,196,440	3,738,537

Fuente: Elaboración propia, 2016

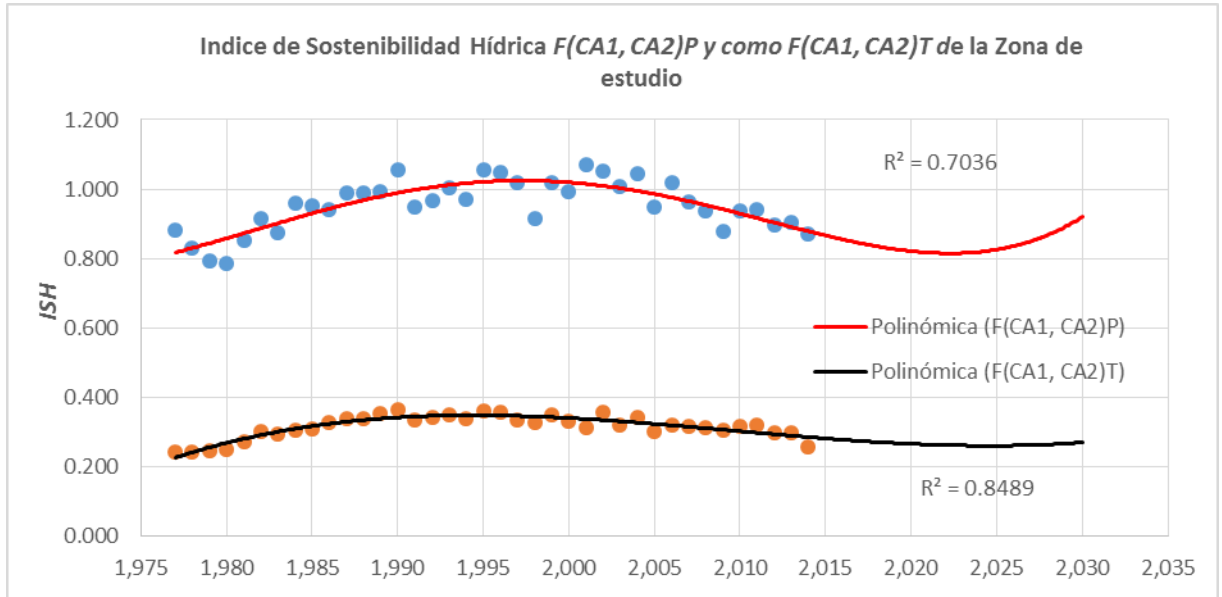


Figura 69. Tendencia del ISH con dos componentes ambientales al 2020  
Fuente: Elaboración propia, 2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento con dos componentes ambientales únicamente por la población es:

$$\begin{aligned}
 ISH = F(CA1, CA2)P = & - 0.8334 (Dcc) + 5.263E-07 (aze) + 5.1433E-07 (p1ze) + \\
 & 5.4856E-07 (p2ze) + 7.0021E-05 (Wo) - 0.1843 (Aaze) - 0.00798 (Xrp) - 0.00258 \\
 & (Xrpv) + 0.02523 (Xall) - 1.953E-06 (hab.dze) - 5.349E-07 (hab.eze) + 1.1405E- \\
 & 07 (hab.aze) - 0.006399 (Rmm.hab.d.ze) + 0.001235 (Rmm.hab.e.ze) + 0.02212 \\
 & (Rmm.hab.a.ze) + 2.629582
 \end{aligned}$$

Con un coeficiente de correlación múltiple = 0.98959

### 4.6.3 Índice de criterio ambiental 3 f (CA3)

Este tercer criterio dice: es imprescindible que se minimice la cantidad de contaminación en peso que se vierte al sistema hídrico =  $F (CA3)$

Para desarrollar este indicador se debe determinar la cantidad de vertidos líquidos hacia el sistema hídrico de la cuenca, para lo cual se propone que:

$$F (CA3) = V = \frac{(S1) + (S2) + (S3) + f}{Dx}$$

$F (CA3)$  = Componente ambiental afectada por la contaminación es adimensional

$V$  = La cantidad de contaminación en peso Vertidos al medio hídrico

$Dx = (Dze) (1000) (\rho)$  (expresados en kilos)

$\rho$  = densidad de las aguas residuales en (kg/l)

$S1$  = Perdidas de fangos de plantas depuradoras en Kg / mes

$S2$  = Solidos incorporados al sistema de drenaje pluvial en kg / mes

$S3$  = Fugas totales de aguas negras + agua potable

$S3 = (1000) (\rho) (S30 + pa + pb)$  en Kg / mes

$S30$  = Fugas o perdidas de la red de alcantarillado de aguas negras hacia el manto freático en  $m^3$ /mes

$f$  = Total de fangos generados en las plantas de tratamientos de aguas residuales en Kg/mes

$W4$  = Agua de lluvia que se infiltra hacia los mantos freáticos en  $m^3$  / mes



La ciudad de Guatemala, anualmente produce aproximadamente 140 millones de metros cúbicos de aguas servidas (también llamadas negras), las cuales son vertidas en dos grandes cuencas (la norte y la sur) del área metropolitana.

En el caso de la cuenca norte, las aguas servidas van a dar al Río de Las Vacas y Platanitos ambos afluentes tributarios del Río Motagua, y se ha estimado que para el año 2001, está sub cuenca recibió entre 89 a 100 millones de metros cúbicos que equivale entre 63.9 a 71.4 %.

El resto de las aguas servidas (de 40 a 51 millones de m<sup>3</sup>) van hacia la sub cuenca sur de la ciudad de Guatemala (área de estudio de esta investigación zona 11, 12, 13, 14 y 21) y el río que lo recibe es el Río Villalobos, que descarga directamente al lago de Amatitlán y posteriormente al Río María Linda en la vertiente del Pacífico.

Si se considera que la ciudad de Guatemala es la más grande del país y de toda Centro América y que está ubicada en la parte alta de la cuenca hidrográfica, es fácil entender por qué la mayoría de los ríos se encuentran contaminados. Por lo tanto la calidad del agua es un factor limitante para su utilización.

Para apreciar el nivel de contaminación de las aguas que se descargan en ambas cuencas de la ciudad de Guatemala, se presentan a continuación los resultados de un estudio elaborado en 1990 por la Dirección General de Energía y Minas.

Según se revisó anteriormente, aunque el Río Villalobos resulta recibiendo una carga contaminante menor (28.6 a 36.1 %) de los 140 millones m<sup>3</sup> en el año 2006, su impacto es desastroso, pues su principal víctima es Lago de Amatitlán. Tal y como se analizará posteriormente.

Tabla 125. *Contaminantes por cuencas de la ciudad de Guatemala*

<b>Contaminantes en las aguas servidas de ciudad de Guatemala</b>				
<b>Parámetro contaminante</b>	<b>Unidad</b>	<b>Máximo permisible</b>	<b>Cuenca norte (Motagua)</b>	<b>Cuenca sur (Villa Lobos)</b>
Cloruro	Mg/l	250	48.61	33.39
Dureza	Mg/l	20	106.54	129.79
Nitrato	Mg/l	100	8,409.09	75.76
Sulfato	mg/l	100	11,348.48	5,377.10
DBO	Mg/l	10	81.00	216.00
Sólidos totales	Mg/dl	50	72.8	115.60
Sólidos disueltos	Mg/dl	30	54.00	72.4

Fuente: Dirección de Energía y Minas, 1990

En general el agua ingresa a los hogares la usan para limpieza, consumo y demás, se le agregan contaminantes y se deja por el drenaje. Para el año 2001 de las 331 municipalidades solamente 24 contaban con plantas de tratamiento de agua de las cuales solo 15 funcionaban o sea el 4.5 % de todas, en general según el IARNA, para 1978 en el Rio Villa Lobos en los análisis bacteriológicos indicaban que el número de coliformes por 100 cm<sup>3</sup> en promedio era de  $1.68 \times 10^9$  (mil seiscientos ochenta millones) siendo el máximo permisible de  $1 \times 10^3$  (mil).

Según las autoridades del manejo sostenible de la cuenca del lago de Amatitlán también conocido como AMSA indica que el costo del tratamiento de un metro cubico de agua residual para el año 2009 fue de alrededor de Q.0.20 mientras que el sector privado reporta alrededor de Q.5.00; en cuanto a los volúmenes manejados en este mismo periodo reportan 14, 033, 520 m<sup>3</sup> equivalentes a 38, 448 m<sup>3</sup>/día.

Según estadísticas del ministerio de ambiente reportan que la producción de aguas residuales en diferentes periodos de tiempo en la ciudad de Guatemala es:

Tabla 126. Volúmenes de agua residual en ciudad Guatemala

Año	m <sup>3</sup> /s	millones m <sup>3</sup> /año
1970	1.07	33
1980	1.95	61
1990	2.62	81
2001	3.2	100
2006	4.5	140
2010	5.6	174
2015	7.1	221

Fuente: MARNS, 2015

En base a la información anterior se procede a graficarlo para evaluar la tendencia que lleva hacia el año 2030.

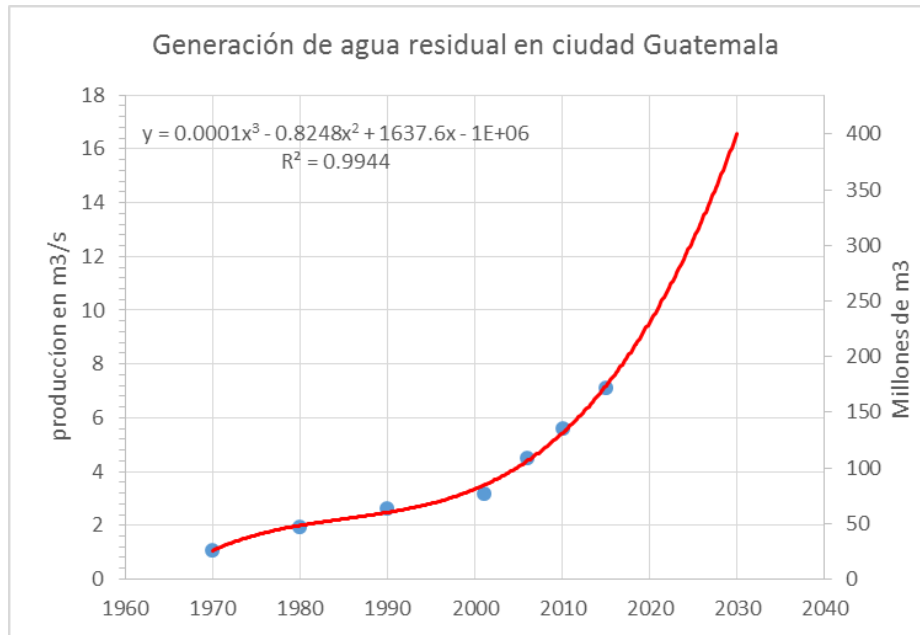


Figura 70. Tendencia de las aguas residuales en ciudad Guatemala

Fuente: Elaboración propia con datos del MARNS, 2016

Con base a la ecuación de la gráfica generada se genera la siguiente tabla.

Tabla 127. *Volumen de agua residual hacia el sector sur de ciudad Guatemala*

Año	Toda la ciudad		Cuenca sur de ciudad Guatemala		
	m <sup>3</sup> /s	millones m <sup>3</sup> /año	% distribución	m <sup>3</sup> /s	millones m <sup>3</sup> /año
1977	1.66	51.63	38	0.63	19.62
1978	1.75	54.43	37	0.65	20.14
1979	1.83	56.92	44	0.81	25.04
1980	1.95	60.65	42	0.82	25.47
1981	1.97	61.12	40	0.79	24.45
1982	1.98	61.59	39	0.77	24.02
1983	1.99	61.90	38	0.76	23.52
1984	2.00	62.21	36	0.72	22.39
1985	2.20	68.43	37	0.81	25.32
1986	2.30	71.54	35	0.81	25.04
1987	2.40	74.65	41	0.98	30.61
1988	2.60	80.87	45	1.17	36.39
1989	2.61	81.18	44	1.15	35.72
1990	2.62	81.49	48	1.26	39.12
1991	2.65	82.43	42	1.11	34.62
1992	2.68	83.36	39	1.05	32.51
1993	2.70	83.98	40	1.08	33.59
1994	2.75	85.54	38	1.03	32.08
1995	2.80	87.09	37	1.04	32.22
1996	2.86	88.96	38	1.09	33.80
1997	2.90	90.20	41	1.19	36.98
1998	3.00	93.31	40	1.20	37.32
1999	3.08	95.80	39	1.20	37.36
2000	3.15	97.98	35	1.10	34.29
2001	3.20	99.53	36	1.16	35.93
2002	3.40	105.75	36	1.22	38.07
2003	3.70	115.08	34	1.26	39.13
2004	4.00	124.42	32	1.28	39.81
2005	4.30	133.75	30	1.29	40.12
2006	4.50	139.97	29	1.31	40.59
2007	4.80	149.30	28	1.34	41.80
2008	5.00	155.52	30	1.50	46.66
2009	5.30	164.85	32	1.70	52.75
2010	5.60	174.18	35	1.96	60.96
2011	5.70	177.29	36	2.05	63.83
2012	5.80	180.40	32	1.86	57.73
2013	6.30	195.96	30	1.89	58.79
2014	6.80	211.51	28	1.90	59.22

Fuente: Elaboración propia con datos del MARN, 2015

De las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que tiene a su cargo AMSA no todas reciben caudales provenientes de la zona de estudio, pues algunas plantas son exclusivas del municipio de Villa canales, colonias de San Cristóbal del municipio de Mixco, como las que se describen a continuación;

Tabla 128. *Principales PTAR operadas por AMSA al año 2006*

Nombre del lugar	Ubicación	Capacidad (L/seg)	Eficiencia sobre la DQO (mg/l) (%)	Costo de operación anual (Q)	Costo de tratamiento (Q/m <sup>3</sup> )	Uso del agua tratada
<b>Promedio</b>		<b>78</b>	<b>71.17%</b>	<b>1,770,648.00</b>	<b>0.20</b>	
San Jacinto	Colonia San Jacinto, zona 10 de Mixco	15	45%	177,132.00	0.38	Descargada a la naturaleza a través del zanjón aledaño
San Cristóbal	Boulevard de Pinares, San Cristóbal, Mixco	60	68%	177,132.00	0.10	Descargada a la naturaleza a través del Río El Arenal del Campanero
Villalobos I	Colonia Villalobos I, Villa Nueva	20	91%	129,312.00	0.21	Descargada a la naturaleza a través del zanjón aledaño
Mezquital	Colonia Mezquital, Villa Nueva	20	95%	129,312.00	0.21	Descargada a la naturaleza a través del zanjón aledaño
Santa Isabel II	Colonia Santa Isabel II, Villa Nueva	20	65%	129,312.00	0.21	Descargada a la naturaleza a través del zanjón aledaño
Macroplanta de biofiltros I -La Cerra Villa Canales-	Contiguo al cementerio municipal de Villa Canales	333	63%	1,028,448.00	0.10	Descargada a la naturaleza a través del Río Villalobos

Fuente: Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán -AMSA-, División de Manejo de Desechos Líquidos, 2006

Fuente: INE, compendio estadístico ambiental, 2010

De las reportadas únicamente entran en el área de estudio, Villalobos 1 y Mezquital, por estar ubicadas al final de la zona 12 y calzada Aguilar Batres por el tipo de topografía. Entonces el volumen operado es de 1, 231, 542 m<sup>3</sup>/año, para el año 2006, mientras que para el año 2009 reporta 1, 261, 440 m<sup>3</sup>/año, lo indica que prácticamente no hubo cambios.

Para que el manejo del agua residual sea sostenible, toda el agua que la ciudad de Guatemala, utilizada para cualquier fin, sea doméstico o industria, esta debe ser devuelta al ambiente con la menor carga de contaminantes, o en el peor de los casos debe cumplir con la normativa 236-2006 (Acuerdo gubernativo sobre el tratamiento y disposición de aguas residuales). La figura 3 en la p. 45 indica perfectamente esta relación de sostenibilidad con el agua residual, por lo tanto, en la medida que la relación de los vertidos (V) expresada como la relación entre agua residual dividido agua demandada por la sociedad sea igual a uno, indicara, que se devuelve al medio ambiente el agua usada por la sociedad.

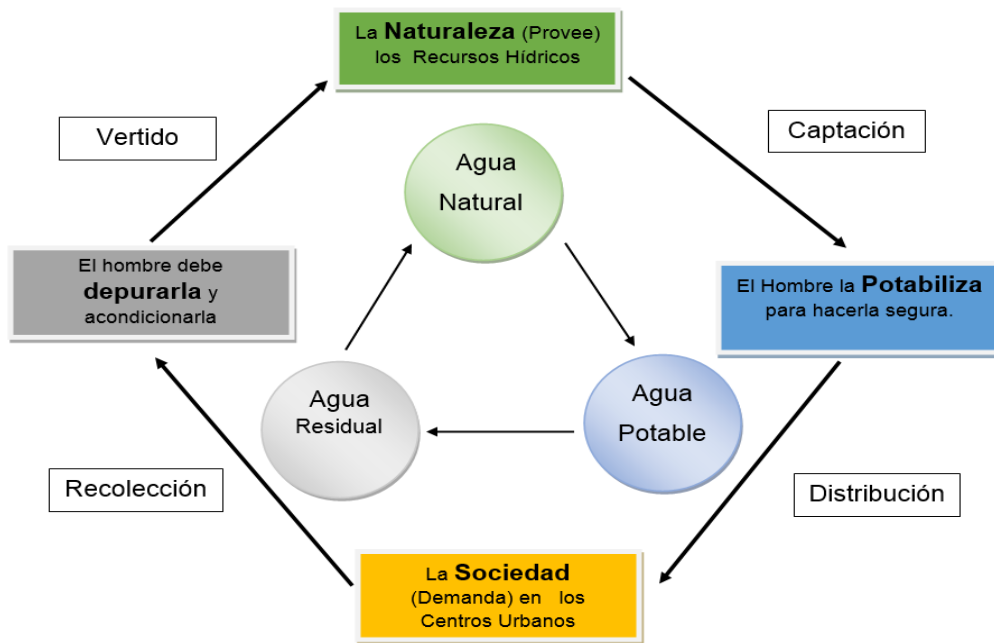


Figura 71. Ciclo integral del agua en una cuenca urbana, fuente Daza (2008)

$$F (CA3) = V = \frac{H_2O \text{ Residual tratada}}{H_2O \text{ Residual Generada}} = 1$$

Por lo tanto, en la medida que V se aproxime a 1 mejor será la sostenibilidad hídrica y por lo tanto menor impacto producirá al ambiente.

$$V_{2006} = \frac{1,23 \text{ millones m}^3/\text{año}}{40.59 \text{ millones m}^3/\text{año}} = 0.030$$

$$V_{2009} = \frac{1,261 \text{ millones m}^3/\text{año}}{52.75 \text{ millones m}^3/\text{año}} = 0.024$$

Lo anterior indica que mientras más avanza los años, mayor es la contaminación de población, y la poca inversión en la construcción de plantas PTAR y en cumplir con la ley 236-2006, es cada vez menor pues del año 2009 que se trató el agua residual en un 3%, 3 años después (2009) el porcentaje descendió a un 2.4 %.

Como este panorama en cuanto a incrementar el volumen de agua residual tratada, ha disminuido, por falta de presupuesto, la preocupación ahora se centra en la cantidad de solidos disueltos pues según FLACSO, 2001 indica que el asolvamiento del lago de Amatitlán es una realidad, y pronostican que para el año 2020 el nivel de profundidad del lago alcance 1 metro o menos, o sea prácticamente un pantano.

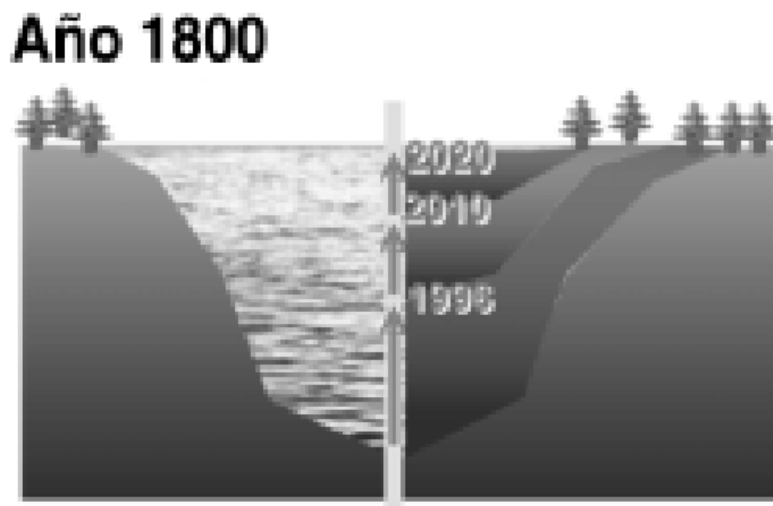


Figura 72. Asolvamiento del lago de Amatitlan, Fuente: FLACSO, 2001



Figura 73. Descarga agua Residual, Rio Villa Lobos, 2011, Fuente © Marco Augusto Recinos

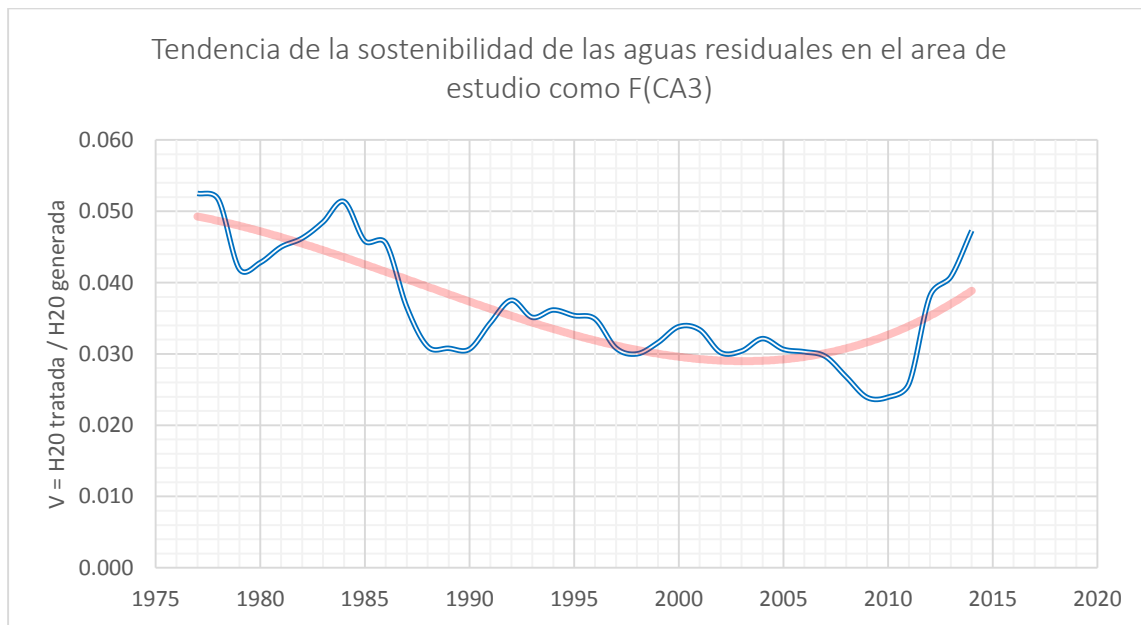


Figura 74. ISH del agua residual en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con datos de AMSA.

Tal y como indican las estadísticas de diferentes referencias en la cual hacen mención que el tratamiento de las aguas residuales apenas si alcanzan un 5 %, este estudio no se desvía de los pronósticos anteriormente evaluados.



Tabla 129. *Índice de sostenibilidad hídrica de los vertidos de agua residual*

Año	millones m <sup>3</sup> /año H2O procesada	millones m <sup>3</sup> /año H2O Generados	Vertidos = V = F (CA3)
1977	1.03	19.62	0.052
1978	1.04	20.14	0.052
1979	1.05	25.04	0.042
1980	1.09	25.47	0.043
1981	1.1	24.45	0.045
1982	1.11	24.02	0.046
1983	1.14	23.52	0.048
1984	1.15	22.39	0.051
1985	1.16	25.32	0.046
1986	1.14	25.04	0.046
1987	1.12	30.61	0.037
1988	1.13	36.39	0.031
1989	1.1	35.72	0.031
1990	1.2	39.12	0.031
1991	1.19	34.62	0.034
1992	1.22	32.51	0.038
1993	1.18	33.59	0.035
1994	1.16	32.08	0.036
1995	1.14	32.22	0.035
1996	1.18	33.80	0.035
1997	1.14	36.98	0.031
1998	1.12	37.32	0.030
1999	1.18	37.36	0.032
2000	1.16	34.29	0.034
2001	1.2	35.93	0.033
2002	1.15	38.07	0.030
2003	1.19	39.13	0.030
2004	1.28	39.81	0.032
2005	1.23	40.12	0.031
2006	1.23	40.59	0.030
2007	1.24	41.80	0.030
2008	1.25	46.66	0.027
2009	1.261	52.75	0.024
2010	1.46	60.96	0.024
2011	1.65	63.83	0.026
2012	2.2	57.73	0.038
2013	2.4	58.79	0.041
2014	2.8	59.22	0.047

Fuente: Elaboración propia con datos de AMSA, 2016

En cuanto al grado de impacto que esta componente ambiental  $F (CA3)$  ejerce sobre el sistema hídrico de la cuenca sur de la ciudad de Guatemala, puede decirse que es casi nulo, pues la ciudad está ubicada en la parte media de la cuenca, y el 61 % del suministro de agua es aguas arriba y el otro 39 % es subterráneo principalmente procedente del sistema de pozos, y para la cuenca sur se considera el sistema ojo de agua, el cual está ubicado a no más allá de un kilómetro de la orilla del Rilo Villalobos, principal fuente contaminada de las aguas residuales procedentes de la cuenca sur de la ciudad de Guatemala, donde el impacto es poco apreciable para los residentes de esta cuenca, no así para los habitantes aguas abajo.

Considerando que durante 37 años (1977 a 2014), no ha habido reportes que indiquen que las aguas extraídas del sistema Ojo de agua, estén contaminadas, no se cerrará la puerta y se asumirá la probabilidad del 0.05 en esta componente así:

$$F (CA3)^x = \text{impacto del } 100\% \quad \text{si } x = 1$$

$$F (CA3)^x = \text{impacto del } 5\% \quad \text{si } x = 0.05$$

$$F (CA3)^x = (V)^{0.05}$$

Bajo el criterio que existe una probabilidad de 0.05 que se impacte al recurso hídrico de la cuenca sur de la ciudad Guatemala principalmente del agua subterránea en un periodo de tiempo de 37 años (1977 a 2014). Por lo tanto el

$$ISH = F (CA1, CA2, CA3)$$

$$ISH = \frac{(Arze) \times (Vze^{0.05})}{(Dze) \times (Dcc)}$$

Entonces el modelo matemático que describe el comportamiento de la sostenibilidad hídrica en la zona de estudio queda descrito de la siguiente forma:

Tabla 130. *Determinación del índice de sostenibilidad como F (CA3)*

Año	H2O Residual procesada en millones m <sup>3</sup> /año	H2O Residual Generada en millones m <sup>3</sup> /año	V = Vertidos = H2O R proc / H2O R Gener	X = Probabilidad de impacto al sistema	F (CA3) = V <sup>0.05</sup>
1977	1.03	19.62	0.052	0.05	0.86
1978	1.04	20.14	0.052	0.05	0.86
1979	1.05	25.04	0.042	0.05	0.85
1980	1.09	25.47	0.043	0.05	0.85
1981	1.1	24.45	0.045	0.05	0.86
1982	1.11	24.02	0.046	0.05	0.86
1983	1.14	23.52	0.048	0.05	0.86
1984	1.15	22.39	0.051	0.05	0.86
1985	1.16	25.32	0.046	0.05	0.86
1986	1.14	25.04	0.046	0.05	0.86
1987	1.12	30.61	0.037	0.05	0.85
1988	1.13	36.39	0.031	0.05	0.84
1989	1.1	35.72	0.031	0.05	0.84
1990	1.2	39.12	0.031	0.05	0.84
1991	1.19	34.62	0.034	0.05	0.84
1992	1.22	32.51	0.038	0.05	0.85
1993	1.18	33.59	0.035	0.05	0.85
1994	1.16	32.08	0.036	0.05	0.85
1995	1.14	32.22	0.035	0.05	0.85
1996	1.18	33.80	0.035	0.05	0.85
1997	1.14	36.98	0.031	0.05	0.84
1998	1.12	37.32	0.030	0.05	0.84
1999	1.18	37.36	0.032	0.05	0.84
2000	1.16	34.29	0.034	0.05	0.84
2001	1.2	35.93	0.033	0.05	0.84
2002	1.15	38.07	0.030	0.05	0.84
2003	1.19	39.13	0.030	0.05	0.84
2004	1.28	39.81	0.032	0.05	0.84
2005	1.23	40.12	0.031	0.05	0.84
2006	1.23	40.59	0.030	0.05	0.84
2007	1.24	41.80	0.030	0.05	0.84
2008	1.25	46.66	0.027	0.05	0.83
2009	1.261	52.75	0.024	0.05	0.83
2010	1.46	60.96	0.024	0.05	0.83
2011	1.65	63.83	0.026	0.05	0.83
2012	2.2	57.73	0.038	0.05	0.85
2013	2.4	58.79	0.041	0.05	0.85
2014	2.8	59.22	0.047	0.05	0.86

Fuente: Elaboración propia, 2016

$$V = - 0.0785 (H_2O R ciudad) - 0.001068 (\% H_2O R hacia CS) + 0.3085 (H_2O R procesada CS) + 0.078465 \quad \text{con un R regresión} = 0.943036$$

#### 4.6.4 Índice total de la componente ambiental $f(CA1, CA2, CA3)$

Tabla 131. *ISH* para la zona de estudio como  $F(CA1, CA2, CA3)$

Año	$F(CA1, CA2, CA3) = \frac{(Aze * V^{0.05})}{(Dpze * Dcc) \text{ sin incluir Dppze}}$	Arze	Dpze * Dcc	$F(CA3) = v^{0.05}$
1,977	0.762	901,049	1,020,360	0.863
1,978	0.715	910,205	1,021,949	0.863
1,979	0.676	917,385	1,032,013	0.863
1,980	0.672	940,720	1,042,076	0.863
1,981	0.730	983,239	1,052,140	0.863
1,982	0.787	1,115,124	1,058,004	0.863
1,983	0.753	1,101,473	1,059,594	0.863
1,984	0.826	1,113,221	1,065,383	0.863
1,985	0.817	1,129,287	1,071,171	0.863
1,986	0.806	1,136,124	1,076,960	0.862
1,987	0.839	1,197,903	1,082,749	0.862
1,988	0.839	1,197,903	1,088,538	0.862
1,989	0.834	1,296,261	1,098,601	0.862
1,990	0.886	1,351,364	1,107,948	0.862
1,991	0.800	1,247,187	1,113,019	0.861
1,992	0.822	1,281,642	1,113,782	0.860
1,993	0.850	1,337,001	1,114,544	0.859
1,994	0.821	1,292,595	1,119,616	0.859
1,995	0.892	1,434,765	1,128,962	0.858
1,996	0.888	1,426,566	1,138,309	0.857
1,997	0.856	1,420,737	1,143,346	0.856
1,998	0.770	1,389,620	1,148,383	0.856
1,999	0.859	1,468,262	1,153,420	0.855
2,000	0.838	1,478,009	1,158,457	0.854
2,001	0.904	1,602,860	1,159,219	0.853
2,002	0.884	1,622,521	1,159,473	0.853
2,003	0.846	1,595,553	1,155,211	0.853
2,004	0.880	1,616,569	1,159,774	0.854
2,005	0.798	1,591,614	1,164,338	0.854
2,006	0.855	1,650,929	1,164,592	0.854
2,007	0.807	1,620,221	1,164,846	0.854
2,008	0.782	1,614,791	1,165,100	0.854
2,009	0.729	1,545,376	1,169,664	0.854
2,010	0.778	1,576,637	1,174,227	0.854
2,011	0.783	1,617,041	1,183,308	0.854
2,012	0.761	1,625,739	1,192,388	0.854
2,013	0.772	1,703,722	1,196,952	0.854
2,014	0.749	1,655,812	1,196,440	0.854

Fuente: Elaboración propia, 2016

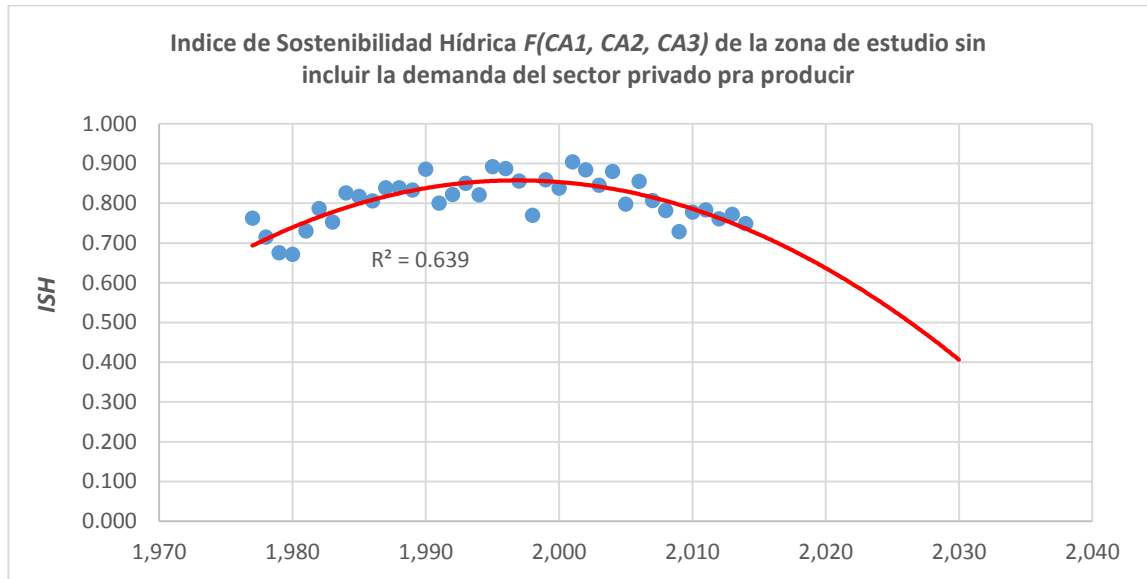


Figura 75. ISH con todas las componentes ambientales, Fuente: elaboración propia.

Y el modelo matemático que describe este comportamiento en función de las componentes ambientales es:

$$ISH = \frac{\theta * (A^a * V^b)}{(D^c * Dcc^d)}$$

Y los coeficientes que definen este modelo con la ayuda del programa SOLVER de Microsoft Office son:

$$\theta = 59.365$$

$$a = -0.058$$

$$b = 0.023$$

$$c = 0.256$$

$$d = -1.937$$

$$SSR = 0.079361$$

Por lo tanto, el modelo se define mediante la ecuación:

$$ISH = \frac{59.365 * (A^{-0.058} * V^{0.023})}{(D^{0.256} * Dcc^{-1.937})}$$

Donde las variables A, V, D y Dcc pueden ser calculadas con las ecuaciones de ajuste de regresión lineal presentados a continuación, y la curva de ajuste es:

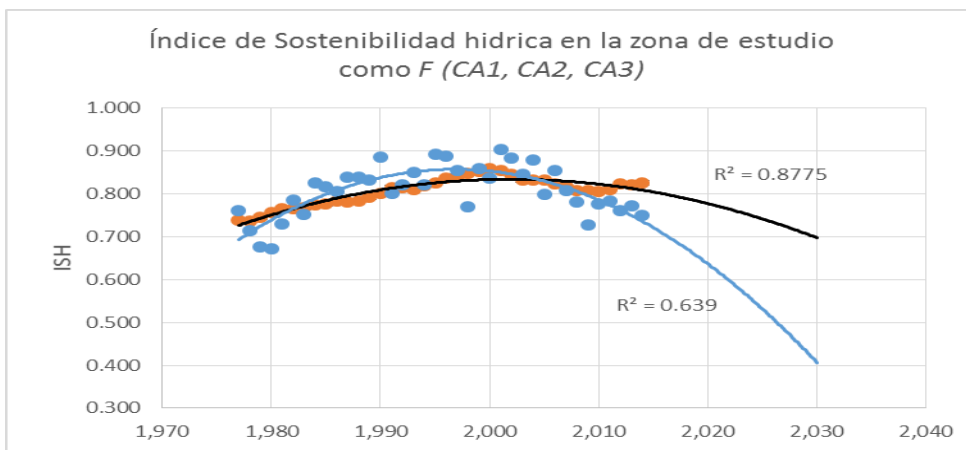


Figura 76. Tendencia de la sostenibilidad hídrica ambiental (la curva con mejor ajuste es la pronosticada o modelada). Fuente: Elaboración propia, 2016

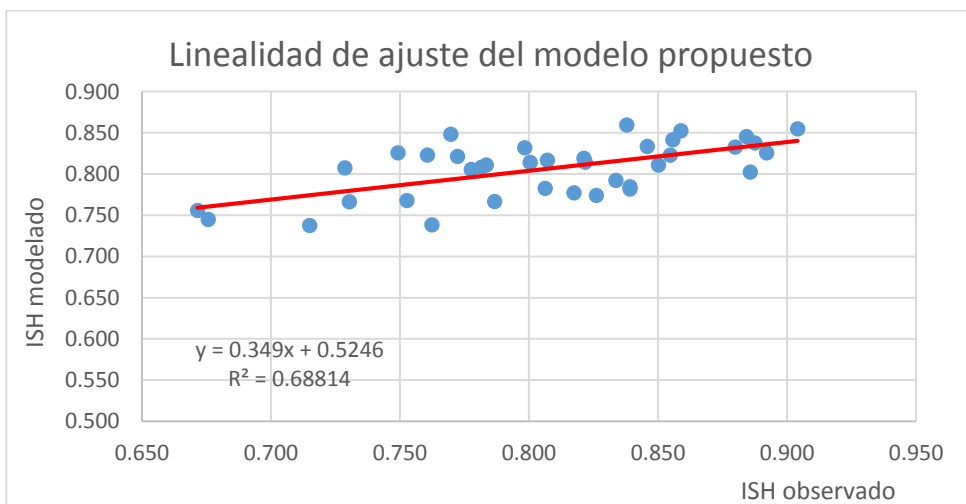


Figura 77. Linealidad del modelo. Fuente: Elaboración propia, 2016

Debido a que la linealidad del modelo encontrado no es muy buena, se probó utilizando otro tipo de ajuste iniciando con el programa EUREKA, de la empresa NUTONIAN, basado en redes neurales, y los resultados obtenidos son:

$$ISH = 56.1 + 4.4e-11D^2 + \frac{-1.07e12}{1.01e6A + 2.61e10 \sin(0.433 + 0.296D V)} - 9.69e-5 D - 1.24Dcc$$

Con los siguientes valores de ajuste:

Coefficiente de correlación = R = 0.9484699

Coefficiente de correlación ajustado  $R^2 = 0.89958639$

Error máximo = 0.045784927

Error medio cuadrático = 0.00033703034

Error medio absoluto = 0.013762569

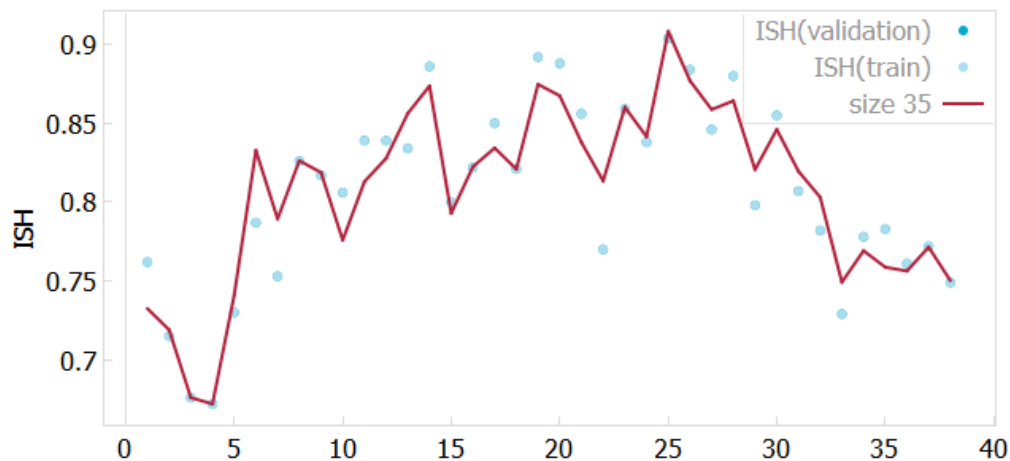


Figura 78. Curva ajustada del modelo propuesto. Fuente elaboración propia, 2016.

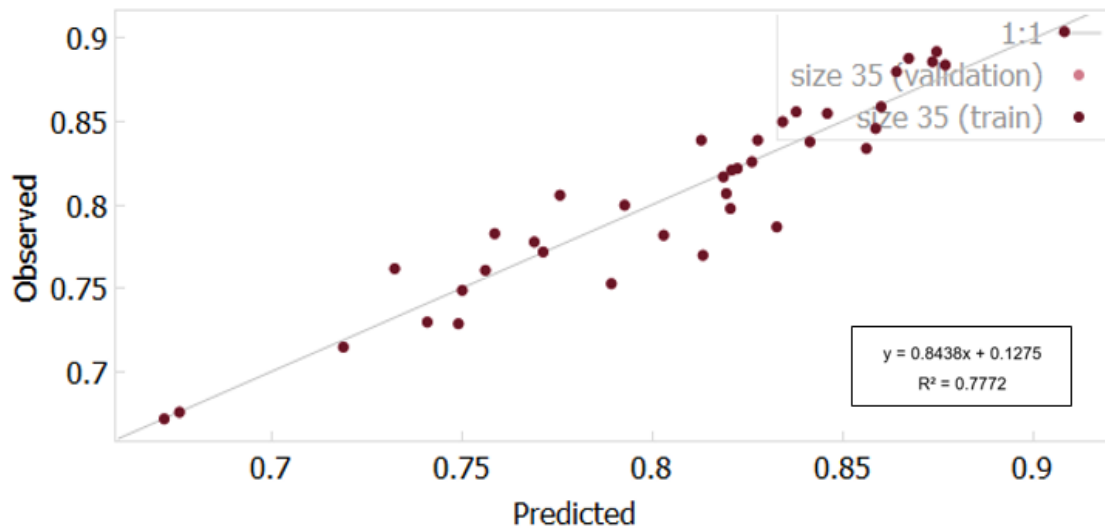


Figura 79. Ajuste del modelo propuesto. Fuente elaboración propia, 2016

Como puede observarse mejoró el grado de ajuste con el modelo matemático utilizando el software Eureka.

#### 4.6.5 Índice de criterio económico 1 $f$ (CE1)

Para que cualquier sistema que presta un servicio se mantenga, los costos de operación deben ser cubiertos por las tarifas prestadas = F (CE1)

Dicho de forma gráfica más particularizada, se dice que el ideal de la gestión hídrica en el aspecto económico, parte del hecho que se cumpla la siguiente ecuación:





Figura 80. Criterio de Sostenibilidad económica. Fuente elaboración propia. 2016

Debido a que este criterio de sostenibilidad económica involucra el tema de dinero, fue importante revisar parte de la ley constitutiva de EMPAGUA, para estar en sintonía con este análisis.

De acuerdo al convenio celebrado entre el Gobierno de la Republica y la municipalidad de Guatemala, de fecha 21 de mayo de 1971 y que dio origen a la creación de EMPAGUA, establece en la cláusula cuarta literal d) que dice literalmente "todos los ingresos por servicios de agua serán destinados exclusivamente a cubrir los costos de operación, mantenimiento y compromisos económicos de la Empresa EMPAGUA derivados de la realización de sus fines.

Por lo anteriormente dicho se puede expresar en forma matemática así:

$$F (CE1) = \frac{(A1) (Ca)}{[(Ao) * (Cp1) + Gv]}$$

$F (CE1) = 1$                       adimensional

$Ao = (a) + (p1)$                 en  $m^3 / mes$

$A1 = Ao - (pa)$                 en  $m^3 / mes$

$pa = (Ao) (Xrp / 100)$     en  $m^3 / mes$

$Ao$  = Toda el agua de suministro público (EMPAGUA) superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras.

$A1$  = Toda el agua que logra llegar a las viviendas o que es facturada de acuerdo a su consumo

$pa$  = total de pérdidas de agua del sistema de distribución

$Ca$  = Canon de agua afectado por el consumo de cada vivienda, pero como este varía de acuerdo al sector, en esta investigación se le denomino, Canon de agua promedio real, o sea es un precio promedio real autorizado a cobrar por un 1  $m^3$  de agua entregado en el hogar.

$Ca = (\text{Todos los ingresos por } H_2O) / A1 \quad Q/m^3$

$Cp1$  = Costo de producción de 1  $m^3$  de agua en el sector público.

$Cp1 = (\text{Presupuesto mensual de EMPAGUA}) / Ao \quad \text{en } Q. / m^3$

$Gv$  = Todos los gastos varios no contemplados en el presupuesto

$Gv = (\%Gv) * (\text{Presupuesto mensual de EMPAGUA})$

$\%Gv$  = porcentaje de gastos administrativos no contemplados en el presupuesto

$Xrp$  = porcentaje de pérdidas de agua en el sistema de distribución

$a$  = toda el agua superficial que sale de las plantas de EMPAGUA

$p1$  = Toda el agua subterránea que sale de los pozos de EMPAGUA

En cuanto al tema de la Variable (A1) o sea toda el agua que logra llegar a las viviendas de los consumidores para poder ser factura, se pueden enumerar entre las causales tales como:

- Perdidas por fugas hacia el subsuelo pues en varias zonas de la Ciudad existe una red antigua con alto índice de fugas
- Alto porcentaje de conexiones ilícitas, o sea un robo de agua literal
- Malas lecturas por contadores fallados o en mal estado.
- Lecturas de los contadores por personal desmotivado
- Errores de facturación
- Cobros atrasados de hasta 3 meses por cuestiones burocráticas.
- Reporte diario de lecturas efectuadas.
- Falta de atención y urgencia en las corroboraciones y acciones de corrección de mantenimiento en los reportes de contadores y fugas.

Además, se pueden listar otras más, pero en esta investigación todo se reunió en un porcentaje de pérdidas de agua ( $X_{rp}$ ) del sistema de la red de distribución pública. Las variables volumétricas en cuanto la cantidad de agua utilizada requeridas por la formula antes expuestas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 132. Agua producida (Ao) y agua facturada a los usuarios (A1) por EMPAGUA en ciudad Guatemala como valores promedio expresados en m<sup>3</sup>/mes

Año	A1	Ao	a	p1	pa	Xrp	Ao (m <sup>3</sup> /s)
1977	4,554,436	5,416,667	3,917,767	1,498,900	862,231	15.92	2.09
1978	4,598,557	5,485,083	3,843,565	1,641,518	886,527	16.14	2.12
1979	4,552,200	5,586,667	3,580,423	2,006,244	1,034,467	18.52	2.16
1980	4,593,742	5,693,833	3,701,761	1,992,073	1,100,092	19.33	2.20
1981	4,723,932	5,939,167	3,746,781	2,192,386	1,215,235	20.46	2.29
1982	5,265,277	6,692,000	4,294,193	2,397,807	1,426,724	21.32	2.58
1983	5,108,256	6,600,833	3,960,579	2,640,254	1,492,578	22.61	2.55
1984	5,078,327	6,618,833	4,175,577	2,443,257	1,540,506	23.28	2.55
1985	5,143,564	6,737,667	4,110,290	2,627,377	1,594,102	23.66	2.60
1986	5,092,434	6,742,667	3,506,578	3,236,089	1,650,233	24.48	2.60
1987	5,360,188	7,119,250	3,922,174	3,197,076	1,759,062	24.71	2.75
1988	5,360,188	7,119,250	3,922,174	3,197,076	1,759,062	24.71	2.75
1989	5,669,524	7,816,750	4,221,187	3,595,563	2,147,226	27.47	3.02
1990	5,801,000	8,099,471	4,456,349	3,643,122	2,298,471	28.38	3.12
1991	5,332,058	7,543,083	4,224,804	3,318,279	2,211,026	29.31	2.91
1992	5,376,198	7,653,181	4,363,162	3,290,019	2,276,983	29.75	2.95
1993	5,558,172	8,234,893	4,777,247	3,457,646	2,676,721	32.50	3.18
1994	5,341,063	8,134,010	4,556,222	3,577,789	2,792,947	34.33	3.14
1995	5,804,184	8,970,061	4,665,046	4,305,015	3,165,877	35.29	3.46
1996	5,743,770	8,978,213	5,118,399	3,859,814	3,234,443	36.03	3.46
1997	5,720,626	8,980,575	5,120,073	3,860,501	3,259,949	36.30	3.46
1998	5,562,942	8,830,066	5,034,369	3,795,698	3,267,125	37.00	3.41
1999	5,768,994	9,245,183	5,548,456	3,696,727	3,476,189	37.60	3.57
2000	5,810,431	9,376,780	5,539,893	3,836,887	3,566,349	38.03	3.62
2001	6,297,381	10,223,021	5,019,795	5,203,226	3,925,640	38.40	3.94
2002	6,247,890	10,310,670	4,744,266	5,566,405	4,062,780	39.40	3.98
2003	6,089,476	10,174,416	4,681,729	5,492,686	4,084,940	40.15	3.93
2004	6,141,805	10,425,951	4,595,038	5,830,914	4,284,147	41.09	4.02
2005	6,001,893	10,340,510	4,867,433	5,473,077	4,338,617	41.96	3.99
2006	6,078,378	10,726,693	5,373,667	5,353,027	4,648,316	43.33	4.14
2007	5,909,806	10,746,950	5,384,940	5,362,010	4,837,144	45.00	4.15
2008	5,803,601	10,812,500	5,514,033	5,298,467	5,008,899	46.33	4.17
2009	5,512,209	10,636,000	5,328,333	5,307,668	5,123,791	48.17	4.10
2010	5,455,215	10,696,500	5,227,377	5,469,123	5,241,285	49.00	4.13
2011	5,593,386	10,824,250	5,538,673	5,285,578	5,230,864	48.33	4.18
2012	5,652,827	10,967,333	5,708,005	5,259,328	5,314,507	48.46	4.23
2013	5,783,882	11,191,000	5,375,813	5,815,187	5,407,118	48.32	4.32
2014	5,578,487	10,950,667	5,252,830	5,697,837	5,372,180	49.06	4.22

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

## La tarifa del agua (Ca)

Está definida como el Canon de agua (Ca), y no es más que el precio que se cobra a los usuarios del servicio por una cantidad de agua consumida durante el periodo de 1 mes. En un principio uno de los objetivos de la tarifa era asegurar el ingreso constante de recursos financieros que asegurarán la estabilidad de la empresa, por tal razón la estructura de las tarifas se puede describir en dos grandes momentos de la historia del agua en ciudad Guatemala, así: antes de 1992 y después de 1992.

Hoy en día (2016), la estructura tarifaria está diseñada para procurar que el agua no sea derrochada por los usuarios, dado que, aunque sea considerada como un recurso renovable, no es un recurso ilimitado.

En cuanto al canon de agua (Ca) se puede comentar que es y ha sido en lo que EMPAGUA tiene de vida, toda una batalla por ir subiendo a lo largo del tiempo la tarifa, necesitando para ello de la aprobación del consejo municipal de la ciudad de Guatemala, el cual en varias ocasiones lo ha modificado, del cual se adjunta un pequeño resumen a lo largo del tiempo en esta investigación (1977 a 2014).

Para prestar el servicio de agua potable, en un principio se vendieron títulos de agua, los cuales identificaban la cantidad de agua a la que el usuario tenía derecho durante un mes (en su mayoría treinta mil litros de agua, o 30 m<sup>3</sup> o bien una paja de agua) estos títulos se utilizaban para el cobro del servicio, más el exceso que se pudiera llegar a tener.

Pero algo muy importante a tomar en cuenta, en este momento es que la tarifa autorizada, clasifica a los usuarios de acuerdo a su condición económica, para asegurarse del abasto a toda la población y su equidad.

Tabla 133. Tarifas autorizadas del agua de 1980 a 1990

TARIFAS POR SERVICIO DE AGUA					
(en quetzales)					
Tipo de servicio	Base mensual Consumo m3	1980 (agosto)	1981 (agosto)	1986 (agosto)	1990 (agosto)
Marginal	20	1.13	2.00	2.00	2.00
Económico	30	2.00	3.50	5.25	10.50
Normal	60	4.66	8.25	14.50	30.00
Intermedio	240	6.98	12.35	21.00	33.00
Alto Consumo	+300	9.31	16.45	24.00	33.00

Fuente: EMPAGUA

Fuente: EMPAGUA

A continuación, se procede a explicar cómo funcionaban estas tarifas para tener una pequeña idea de cómo se interpretaba la parte financiera de EMPAGUA, según datos obtenidos del departamento de comercialización, previo al 31 de agosto del año de 1992, el cobró se hacía con base a una cuota fija según el volumen indicado en los títulos de agua más el exceso de consumo que se pudiera llegar a tener si su consumo rebasaba el derecho comparado en el título.

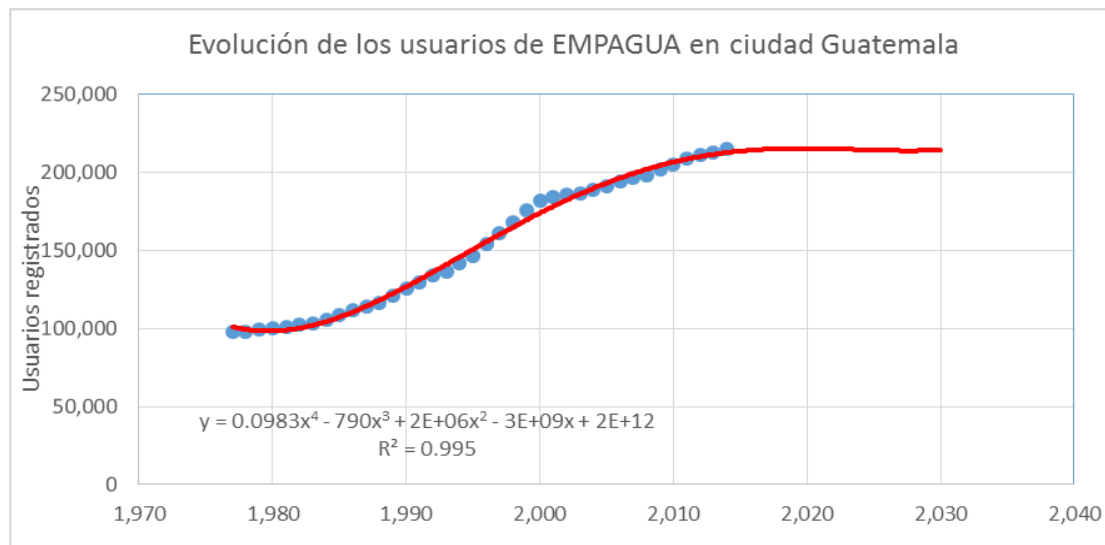


Figura 81. Tendencia de los usuarios de EMPAGUA al 2030. Fuente elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 134. *Evolución de los usuarios registrados de EMPAGUA.*

Año	Usuarios	Incremento
1,977	97,653	
1,978	98,200	0.56
1,979	99,101	0.92
1,980	100,520	1.43
1,981	101,252	0.73
1,982	102,549	1.28
1,983	103,509	0.94
1,984	105,250	1.68
1,985	108,660	3.24
1,986	111,854	2.94
1,987	114,256	2.15
1,988	116,490	1.96
1,989	120,936	3.82
1,990	125,471	3.75
1,991	129,536	3.24
1,992	133,813	3.30
1,993	136,626	2.10
1,994	141,537	3.59
1,995	146,662	3.62
1,996	153,881	4.92
1,997	160,881	4.55
1,998	168,235	4.57
1,999	175,356	4.23
2,000	182,198	3.90
2,001	183,800	0.88
2,002	185,887	1.14
2,003	186,800	0.49
2,004	188,655	0.99
2,005	191,107	1.30
2,006	194,082	1.56
2,007	196,521	1.26
2,008	198,200	0.85
2,009	201,787	1.81
2,010	204,649	1.42
2,011	208,662	1.96
2,012	210,828	1.04
2,013	212,397	0.74
2,014	215,210	1.32

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2015

Tabla 135. Crecimiento de la población y de las viviendas en ciudad Guatemala

<b>Municipio de Guatemala</b>				
<b>Censo</b>	<b>Población</b>	<b>% Inc. Pop.</b>	<b>Viviendas</b>	<b>% Inc. Viv.</b>
1950	295,971		58,995 <sup>[1]</sup>	
1964	572,671	93	104,061	76
1973	700,504	22	125,147	20
1981	754,243	8	154,717	23
1994	823,301	9	183,618	19
2002	923,184	12	238,651	30
2003 <sup>1/</sup>	933,408	1	260,849	9
2004	943,632	1	294,178	13
2005	953,856	1	327,507	11
2006	964,080	1	360,836	10
2007	974,304	1	394,165	9
2008	980,160	0.6	427,494	8
2009	984,655	0.5	460,823	8
2010	988,150	0.35	494,152	7
2011	990,750	0.26	527,481	7
2012	992,541	0.18	560,810	6

Fuente: Estrada S. 19 p. 2013 con datos del INE

Tabla 136. Usuarios especiales de EMPAGUA

Año	Gobierno	BANVI	Asentamientos
1,991	288	5100	3,184
2,000	390	6000	19200
2,003	453	6100	18,055
2,007	477	6150	21,859
2,013	1,419	6,200	24,426

Fuente: EMPAGUA, 2014



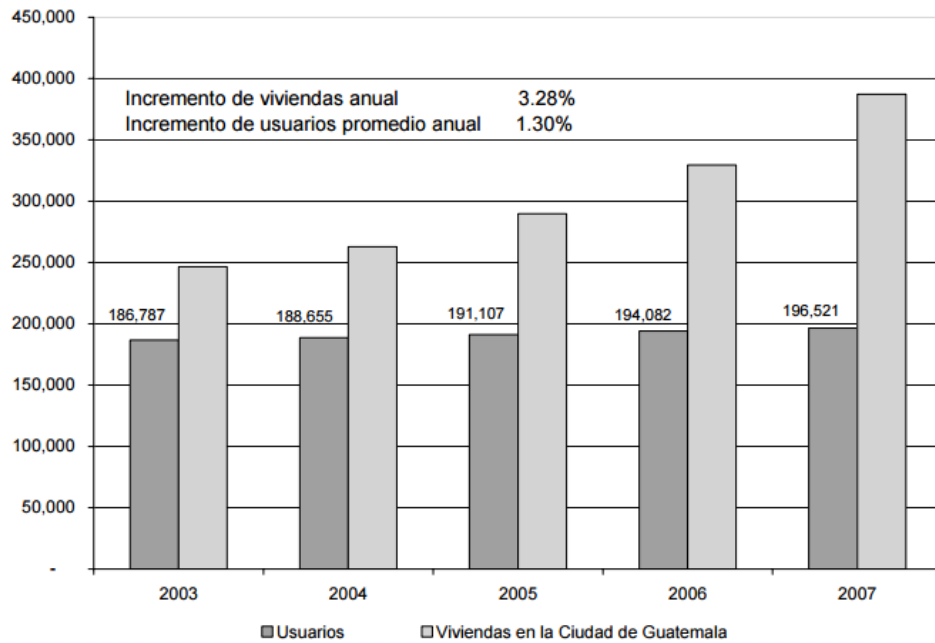


Figura 82. Usuarios registrados de EMPAGUA y crecimiento de viviendas de la ciudad. Fuente: Godínez, 2009 p. 38

Esta gráfica lo que indica es que el crecimiento de viviendas ha superado al de los usuarios de EMPAGUA, implicando que las nuevas colonias, están resolviendo su abastecimiento de agua, de forma de perforación de pozos, también implica que los futuros usuarios serán el sector de los asentamientos.

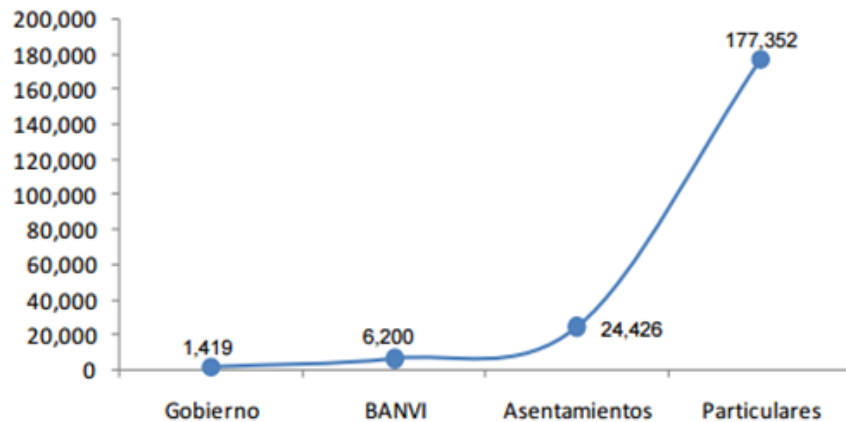


Figura 83. Total usuarios del servicio de agua por EMPAGUA, 2012. Fuente EMPAGUA, compendio estadístico ambiental, INE, 2014

Como puede observarse al año 2012, el número de usuarios (viviendas o bien chorros de distribución pública) que atiende EMPAGUA fue de 24,426 cifra importante si se toma en cuenta que la tarifa para este sector es la más baja, y por lo tanto la que menos ingresos reporta a las finanzas de EMPAGUA.

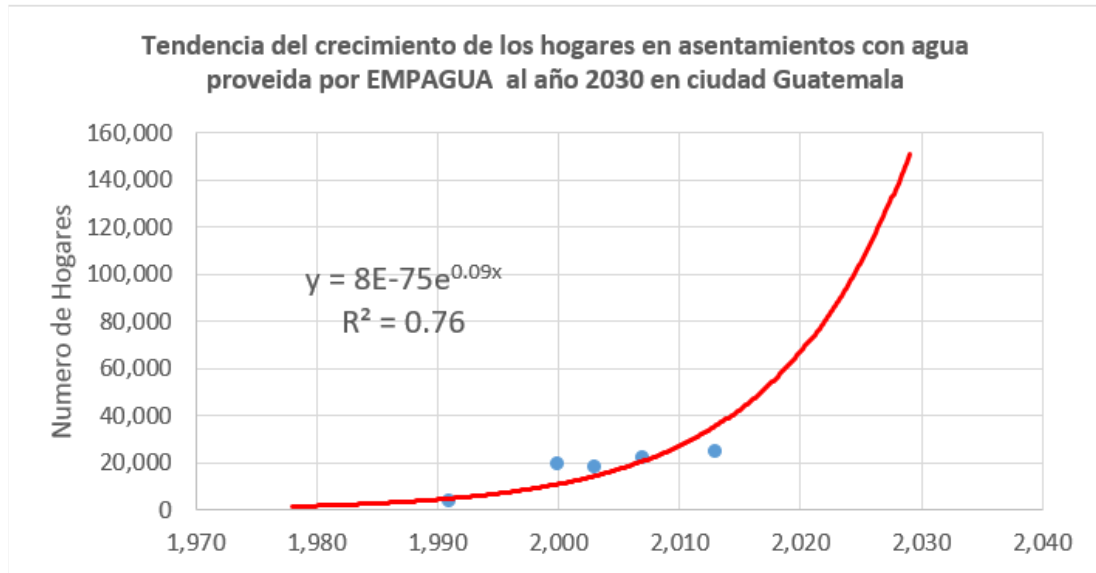
Dado que el sector popular aglutinado en su mayoría en las áreas menos favorecidas de la ciudad, es un grupo que tiende demandar más agua, y que presenta un constante crecimiento, debe dársele una atención especial en cuanto a su comportamiento.

Según Carlos Sandoval, portavoz de la Municipalidad de Guatemala, indica que actualmente (2015) están registrados 586 asentamientos en la capital, de los cuales cerca de 260 se ubican en la zona 18.

Tabla 137. Información de asentamientos en ciudad de Guatemala

Año	No. Asentamientos	Total de habitantes	Numero de Hogares	m2 ocupados	Km2	Numero de asentamientos por zona en el area de				
						Z11	Z12	Z13	Z14	Z21
1977	53	195,000	48,750	1,170,000	1.17	1	10	1	3	6
1980	75	250,000	62,500	1,600,000	1.6	1	13	3	6	7
1984	103	352,000	88,000	2,150,000	2.15	1	15	3	8	9
1986	130	450,000	120,500	2,800,000	2.8	1	16	4	10	11
1991	232	750,000	187,500	4,500,000	4.5	1	19	4	11	11
2007	245	792,000	198,000	4,752,000	4.8	1	21	4	11	12
2009	297	800,000	200,000	5,200,000	5.2	1	22	5	12	13
2012	400	1,293,104	323,276	7,758,621	7.8	1	23	5	12	14
2014	586	1,894,398	475,000	11,400,000	11.4	1	25	6	12	15

Fuente: Municipalidad de Guatemala, SEGEPLAN, ASIES, 2015



*Figura 84.* Tendencia de los usuarios en los asentamientos  
Fuente: EMPAGUA, 2013

Lo anterior indica claramente el déficit de cobertura de agua por EMPAGUA, y con esta información ya se puede realizar el análisis financiero. Según datos del departamento comercial de EMPAGUA, proporciona la siguiente información para el año 1991:

Tabla 138. Total de usuarios al año 1991

Usuarios especiales de asentamientos	3,184
Usuarios particulares de la ciudad.	<u>126,402</u>
<u>Total de usuarios</u>	<u>129,536</u>

Fuente: EMPAGUA. 2016

Según datos del departamento de producción de EMPAGUA, proporciona la siguiente información para el año 1991:

Tabla 139. *Producción de agua al año 1,991.*

Año	Producción de Agua (m <sup>3</sup> )		Pérdidas en el Sistema (%)	Agua para distribuir en las viviendas (m <sup>3</sup> )	
	Anual	Mensual		Anual	Mensual
1,991	90,517,000	7,543,083	29.31	63,984,691	5,332,058

Fuente: EMPAGUA (2016).

Según datos del departamento financiero de EMPAGUA, proporciona la siguiente información para un mes típico sin revelar el mes del año 1991, al detalle:

Tabla 140. *Valoración del agua según consumo por EMPAGUA 1991*

Tipo de Servicio	Cantidad de Usuarios		Base Mensual de Consumo (m <sup>3</sup> )	Tarifa Aprobada (Q)	Total Facturado (Q)
	No.	%			
<b>Marginal</b>	16,840	13	20	2.00	33,679
<b>Económico</b>	75,131	58	30	10.50	788,874
<b>Normal</b>	32,384	25	60	30.00	971,520
<b>Alto consumo</b>	5,181	4	+ 300	33.00	170,988
<b>Total</b>	129,536	100			<u>1,965,061</u>

Fuente: EMPAGUA, 2016

De esta tabla se puede concluir que el mayor consumidor de agua es el tipo de servicio, económico (58 %) y que el que mayores ingresos proporciona a EMPAGUA es el tipo de servicio Normal (Q. 971,520.00)

Ahora lo que usualmente hace EMPAGUA, para calcular el costo de producción de un metro cubico de agua, y el precio de venta que oferta al mercado es así:

Tabla 141. Determinación del precio de venta de 1 m<sup>3</sup> de agua por EMPAGUA

Mes	Consumo	Valor	Pagos por Exceso		Valor por	Precio
	m <sup>3</sup>	Facturado Q	%	Q	Tarifa Q	de Venta Q / m <sup>3</sup>
Noviembre	4,343,900	2,809,700	30.6	859,768.20	1,949,931.80	0.45
Diciembre	4,044,900	2,789,500	28.6	797,797.40	1,991,703.20	0.49
Promedio	4,194,400		<b>29.6</b>		<b>1,970,817.40</b>	<b>0.47</b>
Anual	50,332,800	30,650,145	29.6	7,000,341.90	<u>23,649,804.00</u>	0.47

Fuente: EMPAGUA, 2016. Año de análisis 1991

Entonces relacionando los volúmenes de agua producidos, y los que logran llegar a las viviendas de los consumidos, se logra establecer tanto el costo de 1 m<sup>3</sup> de agua como el precio de venta del mismo, efectuando las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \text{Costo de 1 m}^3 \text{ de Agua a la salida de} &= \frac{Q \ 30,650,145.00}{90,517,000 \ m^3} = Q \ 0.34/m^3 \\ \text{la Planta de EMPAGUA} & \\ \text{Costo de 1 m}^3 \text{ de agua en la vivienda} &= \frac{Q \ 30,650,145.00}{50,332,0800 \ m^3} = Q \ 0.61/m^3 \\ \text{del usuario} & \\ \text{Precio de venta promedio de 1 m}^3 \text{ de} &= \frac{Q \ 23,649,804.00}{90,517,000 \ m^3} = Q \ 0.27/m^3 \\ \text{agua según tarifas autorizadas} & \\ \text{Precio de venta promedio real de 1 m}^3 &= \frac{Q \ 23,649,804.00}{50,332,800 \ m^3} = Q \ 0.47/m^3 \\ \text{de agua según tarifas autorizadas} & \end{aligned}$$

En resumen, según este análisis, con los escasos datos del mes de noviembre y diciembre del año de 1991 se puede concluir que EMPAGUA para ese año tuvo un costo de producción de Q 0.61/m<sup>3</sup> y un precio de venta promedio real de Q 0.47/m<sup>3</sup>.

Por supuesto que aquí hay que indicar, que los costos ocultos por ineficiencias, faltas de mantenimiento, falta de inversión en la red de distribución, las conexiones ilícitas, los contadores en mal estado, repercuten en la operación del sistema que actualmente se tiene, y se traslada a la población usuaria, bueno este fue un pequeño análisis con la escasa información financiera que se logró obtener, para más detalles se adjunta la tabla proporcionada por EMPAGUA de la estadística de años anteriores.

Tabla 142. *Costos de producción y precios de venta de un 1 m<sup>3</sup> de agua proporcionados por EMPAGUA en centavos de quetzal.*

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Costo	5.7	17.2	15.3	16.2	17.4	19.5	20.8	28.8	31.9	38.9	44.0
Precio	7.8	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	24.2	24.2	24.2	24.2	50.0

Fuente: EMPAGUA, 2015

Según esta tabla los únicos momentos en que financieramente EMPAGUA ha sido operativa fue en los años 1980, 1986 y 1990, donde los costos fueron inferiores al precio de venta como debería ser en cualquier empresa.

Como pudo observarse la tarifa que aplicaba la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala, además de ser deficitaria con respecto a la recuperación de los costos de operación de la empresa, no permitió realizar inversiones a futuro, necesarias para incrementar o mantener el nivel de servicio prestado.

Por lo anterior en el año de 1992, la Corporación Municipal de la Ciudad de Guatemala, acordó cobrar por primera vez, el servicio de agua potable de la ciudad proporcionado por EMPAGUA bajo el criterio de una estructura tarifaria basada en el consumo de agua, para incentivar el ahorro.

Tabla 143. Tarifas de agua aprobadas en 1,992

Rango de Consumo (m <sup>3</sup> / mes)		Precio (sin IVA)
De	A	
0	10	Q. 2.00 (cargo fijo)
11	20	Q. 0.20/m <sup>3</sup>
21	40	Q. 0.60/m <sup>3</sup>
41	60	Q. 0.80/m <sup>3</sup>
61	120	Q. 1.30/m <sup>3</sup>
121	en adelante	Q. 1.50/m <sup>3</sup>

Fuente: Diario de Centro América, 31 agosto 1992, p.58

Tabla 144. Tarifas de agua aprobadas en 1,994

Rango de Consumo (m <sup>3</sup> / mes)		Cargo Fijo (Q)	Precio (sin IVA)
De	A	(sin IVA)	
0	10	5.00	
11	20	10.00	Q. 0.50/m <sup>3</sup>
21	40	10.00	Q. 0.80/m <sup>3</sup>
41	60	10.00	Q. 1.00/m <sup>3</sup>
61	120	10.00	Q. 2.00/m <sup>3</sup>
121	en adelante	10.00	Q. 2.50/m <sup>3</sup>

Fuente: Godínez, 2009, con datos del diario de Centro América, septiembre 1994

Tabla 145. Tarifas de agua suspendida en 1,995

Rango de Consumo (m <sup>3</sup> / mes)		Cargo Fijo (Q)	Precio (sin IVA)
De	A	(sin IVA)	
0	10	5.00	
11	20	10.00	Q. 0.50/m <sup>3</sup>
21	40	10.00	Q. 0.80/m <sup>3</sup>

Fuente: Godínez, 2009, con datos del acuerdo municipal, abril 19 de 1995

Tabla 146. Modificación a las tarifas de agua aprobadas en 1,995

Rango de Consumo (m <sup>3</sup> / mes)		Precio (sin IVA)
De	A	
0	10	Q. 2.00 (cargo fijo)
11	20	Q. 0.20/m <sup>3</sup>
21	40	Q. 0.60/m <sup>3</sup>

Fuente: Godínez, 2009, con datos del acuerdo municipal, abril 19 de 1995

Tabla 147. Tarifas de agua Vigentes en 1,996

Rango de Consumo (m <sup>3</sup> / mes)		Cargo Fijo (Q)	Precio (sin IVA)
De	A	(sin IVA)	
0	10	5.00	
11	20	10.00	Q. 0.50/m <sup>3</sup>
21	40	10.00	Q. 0.80/m <sup>3</sup>
41	60	10.00	Q. 1.00/m <sup>3</sup>
61	120	10.00	Q. 2.00/m <sup>3</sup>
121	en adelante	10.00	Q. 2.50/m <sup>3</sup>

Fuente: Godínez, 2009, con datos acuerdo municipal, sept.1996

Tabla 148. Tarifas de agua Vigentes en 2001

Rango de Consumo (m <sup>3</sup> / mes)		Cargo Fijo (Q)	Precio (sin IVA)
De	A	(sin IVA)	
0	10	7.00	
11	20	10.00	Q. 0.70/m <sup>3</sup>
21	40	10.00	Q. 1.10/m <sup>3</sup>
41	60	10.00	Q. 1.40/m <sup>3</sup>
61	120	10.00	Q. 2.80/m <sup>3</sup>
121	en adelante	10.00	Q. 3.50/m <sup>3</sup>

Fuente: Godínez, 2009, con datos de acuerdo municipal, 22 noviembre 2000

Tabla 149. Tarifas de agua Actual y vigente desde el 2003

Rango de Consumo (m <sup>3</sup> / mes)		Cargo Fijo (Q)	Precio (sin IVA)
De	A	(sin IVA)	
1	20	16.00	Q. 1.12/m <sup>3</sup>
21	40	16.00	Q. 1.76/m <sup>3</sup>
41	60	16.00	Q. 2.24/m <sup>3</sup>
61	120	16.00	Q. 4.48/m <sup>3</sup>
121	en adelante	16.00	Q. 5.60/m <sup>3</sup>

Fuente: Godínez, 2009, con datos de acuerdo municipal, 16 diciembre de 2003



## COSTOS DE OPERACIÓN

Para el año fiscal 2007 EMPAGUA registro:

Un presupuesto de operación de 380 millones de quetzales,

Los ingresos percibidos fueron de 290 millones de quetzales

A la diferencia de estos rubros se le llama déficit presupuestario el cual ascendió a 90 millones de quetzales.

Y los volúmenes de agua tanto producidos (10,746,950 m<sup>3</sup>/mes equivalentes a 128,963,400 m<sup>3</sup>/año) como los facturados (5,909,806 m<sup>3</sup>/mes equivalentes a 70,917,672 m<sup>3</sup>/año) registraron un costo de operación promedio de:

$Q. 380,000,000 / 128,963,400 \text{ m}^3/\text{año} = Q.2.98 / \text{m}^3$  de agua producido y

$Q. 380,000,000 / 70,917,672 \text{ m}^3/\text{año} = Q.5.04 / \text{m}^3$  de agua facturado.

La diferencia de Q.2.06 (Q.5.04 – Q.2.98) entre el costo por metro cúbico facturado contra el costo por metro cúbico producido se debe al índice de agua no contabilizada con el que EMPAGUA opera.

Lo anterior indica que para conocer los costos de 1 m<sup>3</sup> de agua es necesario conocer los presupuestos, pues no fue posible capturar los costos de primera mano.

Tabla 150. Ejecución del presupuesto al año 2006 en millones de Quetzales

	Grupo de gasto	Asignado anual	Compromiso saldo	Gasto acumulado	Saldo al final
0	Servicios personales	77.37	0.00	73.82	3.55
1	Servicios no personales	146.30	2.29	138.88	5.13
2	Materiales y suministros	30.40	2.82	21.03	6.55
3	Propiedad, planta y equipo	21.39	4.70	12.96	3.73
4	Transferencias corrientes	12.00	0.16	11.37	0.47
7	Servicios de la deuda pública	37.51	0.00	34.70	2.81
9	Asignaciones globales	0.03	0.00	0.00	0.03
	<b>Totales.....</b>	<b>325.00</b>	<b>9.97</b>	<b>292.76</b>	<b>22.27</b>

Fuente: Unidad presupuestaria. Dirección de finanzas, EMPAGUA, 2014

Tabla 151. Estados financieros de EMPAGUA de 1980 a 1990

EMPAGUA. RESULTADOS FINANCIEROS 1980-90											
(en miles de quetzales)											
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Productos	7196	11608	11372	10154	11515	12872	17905	25338	25245	29815	45301
Servicios de agua	4719	8098	9613	8881	9685	10080	12991	21150	20447	24745	38857
Venta de Títulos de Agua	2070	3210	3605	1594	1531	2119	3639	3127	533	4405	6010
Dotación Servicio de Agua	319	170	179	222	—	—	380	361	—	332	891
Varios	178	130	75	47	298	673	696	500	—	133	133
Gastos de Operación <sup>1/</sup>	8587	11852	8464	9076	9854	11400	11086	16399	15247	19026	21470
Sueldos y Salarios	—	—	1894	1450	1914	2247	2519	2782	3118	3042	3384
Energía Eléctrica	—	—	4924	5229	5150	4882	5070	6270	6546	6470	8482
Otros	—	—	1645	1897	2790	4171	3497	7847	5788	9514	9604
Sop. o Def. Operación	(1401)	(344)	2905	1108	1861	1472	6820	8938	9998	10782	23921
Gastos de Administración	2145	389	3651	3432	3749	4556	7172	10012	13331	14117	17894
Sueldos y Salarios <sup>2/</sup>	—	—	1224	1278	1418	1569	2426	3971	5088	4500	6094
Protección laboral	—	—	435	460	527	978	2129	2821	4291	4513	5724
Gastos generales	—	—	819	548	267	650	968	1578	—	3281	2934
Otros gastos	—	—	1772	1131	1537	1308	1658	1847	—	1843	3142
Ajustes varios	—	—	(177)	(405)	(211)	217	1403	1926	26578	(3737)	(3631)
Total de Gastos y Costos	10752	12241	12292	12978	13814	15759	16795	24682	—	26800	42996
Pérdida Neta	(3,546)	(633)	(920)	(2789)	(2299)	(2867)	1111	656	(929)	(7062)	2396

<sup>1/</sup> No se dispuso de información para distribuir los gastos por rubro, en 1980 y 1981.  
FUENTE: Informes de auditoría, EMPAGUA.

Fuente: EMPAGUA, 2014

Tabla 152. Estados financieros de EMPAGUA en millones de Quetzales

	2005	2006	2007
<b>INGRESOS</b>			
Venta de derechos y otros servicios	Q 41,503,392	Q 46,966,992	Q 53,561,248
Venta de agua domesticos	Q 228,373,981	Q 187,747,177	Q 193,192,215
Venta de agua gobierno y municipal	Q 115,725,035	Q 43,750,816	Q 30,136,518
Títulos de agua	Q (11,578)	Q 1,335	Q 6,954
Otros productos	Q 3,148,636	Q 3,736,276	Q 7,266,293
Alcantarillado y drenajes	Q 895,602	Q 888,710	Q 394,463
Contribución por mejoras	Q 3,170,996	Q 4,605,766	Q 5,233,419
<b>Total Ingresos</b>	<b>Q 392,806,064</b>	<b>Q 287,697,072</b>	<b>Q 289,791,110</b>
<b>EGRESOS</b>			
Gastos de funcionamiento	Q 312,573,966	Q 211,428,822	Q 212,828,264
Prestaciones	Q 15,862,381	Q 14,079,884	Q 14,251,917
Transferencias corrientes	Q 178,571	Q 200,000	Q 400,000
Depreciaciones y amortizaciones	Q 79,597,737	Q 60,536,810	Q 43,611,143
Otros gastos	Q 16,143,436	Q 16,209,810	Q 16,420,630
<b>Total Egresos</b>	<b>Q 424,356,091</b>	<b>Q 302,455,326</b>	<b>Q 287,511,954</b>
<b>PRODUCTOS Y GASTOS FINANCIEROS</b>			
Gastos financieros	Q 38,544,446	Q (10,353,647)	Q (26,847,481)
<b>Total Gastos</b>	<b>Q 385,811,645</b>	<b>Q 312,808,973</b>	<b>Q 314,359,435</b>
<b>RESULTADO DEL PERIODO</b>	<b>Q 6,994,419</b>	<b>Q (25,111,901)</b>	<b>Q (24,568,325)</b>
<b>EJERCICIOS ANTERIORES</b>			
Rectificación a ingresos	Q 7,764,597.00	Q 4,100,351.00	Q (17,571,214.31)
Rectificación a egresos	Q 1,946,825.00	Q (1,189,732.00)	Q 20,400,680.74
<b>Total Rectificaciones</b>	<b>Q 9,711,422.00</b>	<b>Q 2,910,619.00</b>	<b>Q 2,829,466.43</b>
<b>RESULTADO NETO DEL PERIODO</b>	<b>Q 16,705,841.00</b>	<b>Q (22,201,282.00)</b>	<b>Q (21,738,858.70)</b>

Fuente: Estados Financieros Auditados de EMPAGUA, año 2005, 2006 y 2007.

Tabla 153. Costos de operación de EMPAGUA al año 2007

Costos de Operación	Proporción	Presupuesto 2007 (en millones de quetzales)
Sueldos y salarios	25.35%	96.33
Dietas, bonos y prestaciones	3.84%	14.59
Energía eléctrica	40.92%	155.50
Químicos	4.26%	16.19
Mobiliario y equipo	2.87%	10.91
Reparaciones y servicios	4.07%	15.48
Seguros	0.12%	0.47
Impuestos	2.21%	8.41
Arrendamientos	0.64%	2.42
Miscelaneos	1.45%	5.52
Servicio de deuda	8.17%	31.03
Inversiones	6.09%	23.15
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>	<b>380.00</b>

Fuente: Presupuesto de EMPAGUA. 2007

Obsérvese que el 70% del costo de operación son sueldos y Energía Eléctrica.

Tabla 154. Cálculo del agua con la tarifa actual

FORMULA DE CÁLCULO TARIFARIO ACTUAL (SIN IVA)	
A partir de 1m <sup>3</sup> / mes	Cargo fijo + (Volumen Consumido * Precio Unitario por m <sup>3</sup> en el rango mayor) * 1.20 de alcantarillado

EJEMPLOS DE CÁLCULO A PARTICULARES (SIN IVA)		
m <sup>3</sup> /mes	Importe en Quetzales	Precio Unitario por Rango (en Quetzales)
5	$16 + (5 * 1.12) * 1.20 = 22.72$	$22.72/5 = 4.54$
20	$16 + (20 * 1.12) * 1.20 = 42.88$	$42.88/20 = 2.14$
30	$16 + (30 * 1.76) * 1.20 = 79.36$	$79.36/30 = 2.64$
100	$16 + (100 * 4.48) * 1.20 = 553.60$	$553.60/100 = 5.54$
200	$16 + (200 * 5.60) * 1.20 = 1,360.00$	$1,360.00/200 = 6.80$

Fuente: Godínez, 2009, con datos de EMPAGUA

Con la información de los presupuestos, obtenidos en EMPAGUA, se construyen las siguientes tablas:

Según Godínez, 2009 estableció que el 81.2% de los usuarios de EMPAGUA son del tipo particulares consumiendo hasta 40 metros cúbicos mensuales en promedio.

Tabla 155. *Principales consumidores de agua de EMPAGUA*

Tipo de Usuario	0 a 20	21 a 40	41a 60	61 a 120	121 o más	Total
Particulares	47.6%	33.6%	11.9%	5.5%	1.4%	100.0%
Gobierno	12.6%	10.2%	9.0%	19.6%	48.6%	100.0%
<b>Acum. Particulares</b>	<b>47.6%</b>	<b>81.2%</b>	<b>93.1%</b>	<b>98.6%</b>	<b>100.0%</b>	
<b>Acum. Gobierno</b>	<b>12.6%</b>	<b>22.8%</b>	<b>31.8%</b>	<b>51.4%</b>	<b>100.0%</b>	

Fuente: Godínez, 2009, con datos de EMPAGUA

Y además este mismo tipo de usuario en el rango de los 40 m<sup>3</sup> tan solo representan el 52.1 % del agua facturada y el 30.2 % de los ingresos.

Tabla 156. *Volumen de agua facturada por EMPAGUA*

Tipo de Usuario	0 a 20	21 a 40	41a 60	61 a 120	121 o más	Total
Particulares	18.5%	33.6%	20.0%	14.8%	13.1%	100.0%
Gobierno	0.3%	0.5%	1.0%	2.8%	95.4%	100.0%
<b>Acum. Particulares</b>	<b>18.5%</b>	<b>52.1%</b>	<b>72.1%</b>	<b>86.9%</b>	<b>100.0%</b>	
<b>Acum. Gobierno</b>	<b>0.3%</b>	<b>0.8%</b>	<b>1.8%</b>	<b>4.6%</b>	<b>100.0%</b>	

Fuente: Godínez, 2009, con datos de EMPAGUA

Tabla 157. *Montos facturados del total de ingresos de EMPAGUA*

Tipo de Usuario	0 a 20	21 a 40	41a 60	61 a 120	121 o más	Total
Particulares	7.8%	22.4%	17.0%	25.1%	27.7%	100.0%
Gobierno	0.04%	0.15%	0.30%	2.11%	97.4%	100.0%
<b>Acum. Particulares</b>	<b>7.8%</b>	<b>30.2%</b>	<b>47.2%</b>	<b>72.3%</b>	<b>100.0%</b>	
<b>Acum. Gobierno</b>	<b>0.04%</b>	<b>0.19%</b>	<b>0.49%</b>	<b>2.60%</b>	<b>100.0%</b>	

Fuente: Godínez, 2009, con datos de EMPAGUA

Tabla 158. *Tipos de usuarios de EMPAGUA*

Tipo de Usuario	Año 2003		Año 2007 (proyectado)
	Total	Porcentaje	Total
Doméstico	129,659	69.4%	136,474
Comercial	21,872	11.7%	23,022
Industrial	556	0.3%	585
Gobierno	453	0.2%	477
Otros	34,167	18.3%	35,963
<b>Total</b>	<b>186,707</b>	<b>100.0%</b>	<b>196,521</b>

Fuente: Godínez, 2009, con datos del catastro de usuarios al 2003

A parte de todas las tarifas anteriormente referenciadas debe hacerse una anotación especial en cuanto al cobro por el servicio de alcantarillado, el cual fue autorizado a cobrar por EMPAGUA, a partir del 7 de septiembre de 1994 por acuerdo municipal, y modificado en varias ocasiones, tal es el caso, al publicado el 23 de diciembre del 2003, según Acuerdo Municipal COM-036-03 de nombre "Modificaciones en la forma que se indica el cobro por servicio público de agua potable y alcantarillado, cobros por diversos servicios y venta de derechos por servicios de agua a un inmueble, en la ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia" y en sus artículos 5 y 6, se reproducen textualmente:

**Artículo 5.** Las personas individuales o jurídicas que operen un servicio propio o sean usuarios de un servicio de agua privado que utilicen la red de alcantarillado y drenajes de EMPAGUA, se les cobrará el veinte por ciento (20%) de la factura de consumo de agua que le emiten, más cargo fijo de DIECISEIS QUETZALES (Q 16.00); en aquellos casos que no se cuente con la referida factura, EMPAGUA podrá instalar un sistema de medición a costa del usuario y si esto no es factible, se le calculará el consumo, únicamente para efecto de cobro de tasa de alcantarillado y drenajes a que esta obligado a pagar por su uso.

**Artículo 6.** Para los usuarios de EMPAGUA, la tarifa por servicio de alcantarillado será el veinte por ciento (20%) sobre el valor facturado por EMPAGUA del consumo de agua potable, y para los usuarios del servicio de agua de la Empresa Mariscal S.A. será de DIECISEIS QUETZALES (Q. 16.00), por mes.

Figura 85. Autorización cobro alcantarillado. Fuente: Diario de Centro America, No.22, 2003

Tabla 159. *Estimación de los usuarios de EMPAGUA por sector*

Año	Total de usuarios	Distribución porcentual de los usuarios por sector de facturación					Suma todos los sectores
		Sector Marginal	Sector Económico	Sector Normal	Sector Intermedio	Sector Alto consumo	
1977	97,653.00	11.00	55.00	28.00	3.20	2.80	100.00
1978	98,200.00	11.00	55.00	28.00	3.20	2.80	100.00
1979	99,101.00	12.67	55.83	25.50	3.45	2.55	100.00
1980	100,520.00	13.00	56.00	25.00	3.50	2.50	100.00
1981	101,252.00	13.00	56.00	25.00	3.50	2.50	100.00
1982	102,549.00	12.42	58.33	23.25	3.21	2.79	100.00
1983	103,509.00	12.00	60.00	22.00	3.00	3.00	100.00
1984	105,250.00	12.00	60.00	22.00	3.00	3.00	100.00
1985	108,660.00	12.00	60.00	22.00	3.00	3.00	100.00
1986	111,854.00	12.00	60.42	21.75	2.94	2.90	100.00
1987	114,256.00	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	100.00
1988	116,490.00	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	100.00
1989	120,936.00	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	100.00
1990	125,471.00	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	100.00
1991	129,536.00	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	100.00
1992	133,813.00	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	100.00
1993	136,626.00	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	100.00
1994	141,537.00	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	100.00
1995	146,662.00	12.00	66.25	17.81	2.35	1.58	100.00
1996	153,881.00	12.00	68.00	16.50	2.50	1.00	100.00
1997	160,881.00	12.00	68.00	16.50	2.50	1.00	100.00
1998	168,235.00	12.00	68.00	16.50	2.50	1.00	100.00
1999	175,356.00	11.17	69.67	16.08	2.08	1.00	100.00
2000	182,197.72	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	100.00
2001	183,800.00	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	100.00
2002	185,887.00	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	100.00
2003	186,800.00	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	100.00
2004	188,655.00	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	100.00
2005	191,107.00	10.58	71.15	15.17	2.10	1.00	100.00
2006	194,082.00	10.00	72.75	14.00	2.25	1.00	100.00
2007	196,521.00	10.00	72.75	14.00	2.25	1.00	100.00
2008	198,200.00	9.92	72.98	13.83	2.27	1.00	100.00
2009	201,787.00	9.00	75.50	12.00	2.50	1.00	100.00
2010	204,649.00	9.00	75.50	12.00	2.50	1.00	100.00
2011	208,662.00	9.00	75.50	12.00	2.50	1.00	100.00
2012	210,828.00	8.33	76.50	11.33	2.83	1.00	100.00
2013	212,397.00	8.00	77.00	11.00	3.00	1.00	100.00
2014	215,210.00	7.00	80.00	10.00	2.00	1.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 160. Total de ingresos percibidos por el sector Marginal

Año	Usuarios del sector	Canon Marginal	Vol. Prom entregado m <sup>3</sup>	Cargos por Consumo H <sub>2</sub> O	Cargos Fijos	Cargos por Alcantarillado	Ingresos sector Marginal
1,977	10,742	1.13	Rango de consumo: de 1977 a la fecha de 1 a 20 m <sup>3</sup> , mayor a este se cobra exceso por el total de la factura	12,138.27	No establecidos en esa época	No establecidos en esa época	12,138.27
1,978	10,802	1.13		12,206.26			12,206.26
1,979	12,553	1.13		14,184.66			14,184.66
1,980	13,068	1.13		14,766.39			14,766.39
1,981	13,163	1.49		19,645.42			19,645.42
1,982	12,733	2.00		25,466.34			25,466.34
1,983	12,421	2.00		24,842.16			24,842.16
1,984	12,630	2.00		25,260.00			25,260.00
1,985	13,039	2.00		26,078.40			26,078.40
1,986	13,422	2.00		26,844.96			26,844.96
1,987	13,711	2.00		27,421.44			27,421.44
1,988	13,979	2.00		27,421.44			27,421.44
1,989	14,512	2.00		29,024.64			29,024.64
1,990	15,057	2.00		30,113.04			30,113.04
1,991	15,544	2.00	31,088.64	31,088.64			
1,992	16,058	0.20	10	32,115.12	32,115.12	64,230.24	
1,993	16,395	0.20	10	32,790.24	32,790.24	65,580.48	
1,994	16,984	0.50	10	84,922.20	169,844.40	16,984.44	271,751.04
1,995	17,599	0.50	10	87,997.20	175,994.40	17,599.44	281,591.04
1,996	18,466	0.50	10	92,328.60	184,657.20	18,465.72	295,451.52
1,997	19,306	0.50	10	96,528.60	193,057.20	19,305.72	308,891.52
1,998	20,188	0.50	10	100,941.00	201,882.00	20,188.20	323,011.20
1,999	19,581	0.50	10	97,907.10	195,814.20	19,581.42	313,302.72
2,000	20,042	0.50	10	100,208.75	200,417.50	20,041.75	320,667.99
2,001	20,218	0.70	10	141,526.00	202,180.00	28,305.20	372,011.20
2,002	20,448	0.70	10	143,132.99	204,475.70	28,626.60	376,235.29
2,003	20,548	0.70	10	143,836.00	205,480.00	28,767.20	378,083.20
2,004	20,752	1.12	10	232,422.96	332,032.80	46,484.59	610,940.35
2,005	20,225	1.12	10	226,525.50	323,607.85	45,305.10	595,438.45
2,006	19,408	1.12	10	217,371.84	310,531.20	43,474.37	571,377.41
2,007	19,652	1.12	10	220,103.52	314,433.60	44,020.70	578,557.82
2,008	19,655	1.12	10	220,134.13	314,477.33	44,026.83	578,638.29
2,009	18,161	1.12	10	203,401.30	290,573.28	40,680.26	534,654.84
2,010	18,418	1.12	10	206,286.19	294,694.56	41,257.24	542,237.99
2,011	18,780	1.12	10	210,331.30	300,473.28	42,066.26	552,870.84
2,012	17,569	1.12	10	196,772.80	281,104.00	39,354.56	517,231.36
2,013	16,992	1.12	10	190,307.71	271,868.16	38,061.54	500,237.41
2,014	15,065	1.12	10	168,724.64	241,035.20	33,744.93	443,504.77

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016



Tabla 161. Total de ingresos percibidos por el sector Económico.

Año	Usuarios del sector	Canon Económico	Vol. Prom entregado m <sup>3</sup>	Cargos por Consumo H <sub>2</sub> O	Cargos Fijos	Cargos por Alcantarillado	Ingresos sector Económico
1,977	53,709	2.00	Rango de consumo: de 1977 a 1991 21 a 30 m <sup>3</sup> y de 1992 a la fecha de 21 a 40 m <sup>3</sup> , mayor a este se cobra exceso por el total de la factura	107,418.30	No establecidos en esa epoca	No establecidos en esa epoca	107,418.30
1,978	54,010	2.00		108,020.00			108,020.00
1,979	55,331	2.00		110,662.78			110,662.78
1,980	56,291	2.00		112,582.40			112,582.40
1,981	56,701	2.63		148,840.44			148,840.44
1,982	59,820	3.50		209,370.88			209,370.88
1,983	62,105	3.50		217,368.90			217,368.90
1,984	63,150	3.50		221,025.00			221,025.00
1,985	65,196	3.50		228,186.00			228,186.00
1,986	67,578	4.23		286,276.33			286,276.33
1,987	74,266	5.25		389,898.60			389,898.60
1,988	75,719	5.25		389,898.60			389,898.60
1,989	78,608	5.25		412,694.10			412,694.10
1,990	81,556	7.44		606,573.87			606,573.87
1,991	84,198	10.50	884,083.20	884,083.20			
1,992	86,978	0.60	30	1,565,612.10	173,956.90		1,739,569.00
1,993	88,807	0.60	30	1,598,524.20	177,613.80		1,776,138.00
1,994	91,999	0.80	30	2,207,977.20	919,990.50	441,595.44	3,569,563.14
1,995	97,164	0.80	30	2,331,925.80	971,635.75	466,385.16	3,769,946.71
1,996	104,639	0.80	30	2,511,337.92	1,046,390.80	502,267.58	4,059,996.30
1,997	109,399	0.80	30	2,625,577.92	1,093,990.80	525,115.58	4,244,684.30
1,998	114,400	0.80	30	2,745,595.20	1,143,998.00	549,119.04	4,438,712.24
1,999	122,165	0.80	30	2,931,952.32	1,221,646.80	586,390.46	4,739,989.58
2,000	127,538	0.80	30	3,060,921.76	1,275,384.07	612,184.35	4,948,490.18
2,001	128,660	1.10	30	4,245,780.00	1,286,600.00	849,156.00	6,381,536.00
2,002	130,121	1.10	30	4,293,989.70	1,301,209.00	858,797.94	6,453,996.64
2,003	130,760	1.10	30	4,315,080.00	1,307,600.00	863,016.00	6,485,696.00
2,004	132,059	1.76	30	6,972,688.80	2,112,936.00	1,394,537.76	10,480,162.56
2,005	135,965	1.76	30	7,178,934.46	2,175,434.68	1,435,786.89	10,790,156.03
2,006	141,195	1.76	30	7,455,077.78	2,259,114.48	1,491,015.56	11,205,207.82
2,007	142,969	1.76	30	7,548,764.65	2,287,504.44	1,509,752.93	11,346,022.02
2,008	144,645	1.76	30	7,637,240.60	2,314,315.33	1,527,448.12	11,479,004.05
2,009	152,349	1.76	30	8,044,036.97	2,437,586.96	1,608,807.39	12,090,431.32
2,010	154,510	1.76	30	8,158,127.74	2,472,159.92	1,631,625.55	12,261,913.20
2,011	157,540	1.76	30	8,318,101.97	2,520,636.96	1,663,620.39	12,502,359.32
2,012	161,283	1.76	30	8,515,764.58	2,580,534.72	1,703,152.92	12,799,452.21
2,013	163,546	1.76	30	8,635,212.43	2,616,731.04	1,727,042.49	12,978,985.96
2,014	172,168	1.76	30	9,090,470.40	2,754,688.00	1,818,094.08	13,663,252.48

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 162. Total de ingresos percibidos por el sector Normal.

Año	Usuarios del sector	Canon Normal	Vol. Prom entregado m <sup>3</sup>	Cargos por Consumo H <sub>2</sub> O	Cargos Fijos	Cargos por Alcantarillado	Ingresos sector Normal
1,977	27,343	4.66	Rango de consumo: de 1977 a 1991 31 a 60 m <sup>3</sup> y de 1992 a la fecha de 41 a 60 m <sup>3</sup> , mayor a este se cobra exceso por el total de la factura	127,417.63	No establecidos en esa época	No establecidos en esa época	127,417.63
1,978	27,496	4.66		128,131.36			128,131.36
1,979	25,271	4.66		117,761.72			117,761.72
1,980	25,130	4.66		117,105.80			117,105.80
1,981	25,313	6.16		155,822.61			155,822.61
1,982	23,843	8.25		196,701.80			196,701.80
1,983	22,772	8.25		187,868.84			187,868.84
1,984	23,155	8.25		191,028.75			191,028.75
1,985	23,905	8.25		197,217.90			197,217.90
1,986	24,324	10.85		262,975.74			262,975.74
1,987	21,652	14.50		313,946.92			313,946.92
1,988	22,075	14.50		313,946.92			313,946.92
1,989	22,917	14.50		332,301.89			332,301.89
1,990	23,777	20.96	498,321.15	498,321.15			
1,991	24,288	30.00	728,640.00	728,640.00			
1,992	25,090	0.80	52	1,043,741.40	50,179.88		1,093,921.28
1,993	25,617	0.80	52	1,065,682.80	51,234.75		1,116,917.55
1,994	26,538	1.00	52	1,379,985.75	265,381.88	275,997.15	1,921,364.78
1,995	26,124	1.00	52	1,358,456.78	261,241.69	271,691.36	1,891,389.82
1,996	25,390	1.00	52	1,320,298.98	253,903.65	264,059.80	1,838,262.43
1,997	26,545	1.00	52	1,380,358.98	265,453.65	276,071.80	1,921,884.43
1,998	27,759	1.00	52	1,443,456.30	277,587.75	288,691.26	2,009,735.31
1,999	28,203	1.00	52	1,466,560.68	282,030.90	293,312.14	2,041,903.72
2,000	29,152	1.00	52	1,515,885.06	291,516.36	303,177.01	2,110,578.43
2,001	29,408	1.40	52	2,140,902.40	294,080.00	428,180.48	2,863,162.88
2,002	29,742	1.40	52	2,165,211.78	297,419.20	433,042.36	2,895,673.33
2,003	29,888	1.40	52	2,175,846.40	298,880.00	435,169.28	2,909,895.68
2,004	30,185	2.24	52	3,515,925.50	482,956.80	703,185.10	4,702,067.40
2,005	28,985	2.24	52	3,376,121.74	463,752.99	675,224.35	4,515,099.08
2,006	27,171	2.24	52	3,164,933.99	434,743.68	632,986.80	4,232,664.47
2,007	27,513	2.24	52	3,204,707.25	440,207.04	640,941.45	4,285,855.74
2,008	27,418	2.24	52	3,193,609.81	438,682.67	638,721.96	4,271,014.44
2,009	24,214	2.24	52	2,820,497.97	387,431.04	564,099.59	3,772,028.61
2,010	24,558	2.24	52	2,860,501.86	392,926.08	572,100.37	3,825,528.31
2,011	25,039	2.24	52	2,916,593.97	400,631.04	583,318.79	3,900,543.81
2,012	23,894	2.24	52	2,783,154.48	382,301.44	556,630.90	3,722,086.82
2,013	23,364	2.24	52	2,721,400.28	373,818.72	544,280.06	3,639,499.06
2,014	21,521	2.24	52	2,506,766.08	344,336.00	501,353.22	3,352,455.30

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 163. Total de ingresos percibidos por el sector Intermedio.

Año	Usuarios del sector	Canon Intermedio	Vol. Prom entregado m <sup>3</sup>	Cargos por Consumo H <sub>2</sub> O	Cargos Fijos	Cargos por Alcantarillado	Ingresos sector Intermedio
1,977	3,125	6.98	Rango de consumo: de 1977 a 1991 61 a 240 m <sup>3</sup> y de 1992 a la fecha de 61 a 120 m <sup>3</sup> , mayor a este se cobra exceso por el total de la factura	21,811.77	No establecidos en esa época	No establecidos en esa época	21,811.77
1,978	3,142	6.98		21,933.95			21,933.95
1,979	3,419	6.98		23,864.51			23,864.51
1,980	3,518	6.98		24,557.04			24,557.04
1,981	3,544	9.22		32,665.16			32,665.16
1,982	3,290	12.35		40,632.90			40,632.90
1,983	3,105	12.35		38,350.08			38,350.08
1,984	3,158	12.35		38,995.13			38,995.13
1,985	3,260	12.35		40,258.53			40,258.53
1,986	3,286	15.95		52,068.04			52,068.04
1,987	2,571	21.00		53,985.96			53,985.96
1,988	2,621	21.00		53,985.96			53,985.96
1,989	2,721	21.00		57,142.26			57,142.26
1,990	2,823	26.00		73,400.54			73,400.54
1,991	2,915	33.00	96,180.48	96,180.48			
1,992	3,011	1.30	87.9	343,947.71	6,021.59	349,969.29	
1,993	3,074	1.30	87.9	351,178.13	6,148.17	357,326.30	
1,994	3,185	2.00	87.9	559,694.12	31,845.83	111,938.82	703,478.77
1,995	3,453	2.00	87.9	606,810.45	34,526.68	121,362.09	762,699.21
1,996	3,847	2.00	87.9	676,119.17	38,470.25	135,223.83	849,813.25
1,997	4,022	2.00	87.9	706,875.62	40,220.25	141,375.12	888,471.00
1,998	4,206	2.00	87.9	739,187.48	42,058.75	147,837.50	929,083.72
1,999	3,653	2.00	87.9	642,062.98	36,532.50	128,412.60	807,008.08
2,000	3,644	2.00	87.9	640,429.28	36,439.54	128,085.86	804,954.68
2,001	3,676	2.80	87.9	904,485.85	36,760.00	180,897.17	1,122,143.02
2,002	3,718	2.80	87.9	914,756.05	37,177.40	182,951.21	1,134,884.66
2,003	3,736	2.80	87.9	919,248.95	37,360.00	183,849.79	1,140,458.74
2,004	3,773	4.48	87.9	1,485,403.95	60,369.60	297,080.79	1,842,854.33
2,005	4,021	4.48	87.9	1,583,080.46	64,339.36	316,616.09	1,964,035.91
2,006	4,367	4.48	87.9	1,719,151.04	69,869.52	343,830.21	2,132,850.77
2,007	4,422	4.48	87.9	1,740,755.36	70,747.56	348,151.07	2,159,653.99
2,008	4,501	4.48	87.9	1,771,883.52	72,012.67	354,376.70	2,198,272.89
2,009	5,045	4.48	87.9	1,986,000.94	80,714.80	397,200.19	2,463,915.93
2,010	5,116	4.48	87.9	2,014,168.93	81,859.60	402,833.79	2,498,862.32
2,011	5,217	4.48	87.9	2,053,665.14	83,464.80	410,733.03	2,547,862.97
2,012	5,973	4.48	87.9	2,351,647.47	95,575.36	470,329.49	2,917,552.32
2,013	6,372	4.48	87.9	2,508,510.31	101,950.56	501,702.06	3,112,162.93
2,014	4,304	4.48	87.9	1,694,488.79	68,867.20	338,897.76	2,102,253.75

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 164. Total de ingresos percibidos por el sector Alto consumo.

Año	Usuarios del sector	Canon Alto consumo	Vol. Prom entregado m <sup>3</sup>	Cargos por Consumo H <sub>2</sub> O	Cargos Fijos	Cargos por Alcantarillado	Ingresos sector Alto consumo
1,977	2,734	9.31	Rango de consumo: de 1977 a 1991 241 a 300 m <sup>3</sup> y de 1992 a la fecha de 121 a 300 m <sup>3</sup> , mayor a este se cobra exceso por el total de la factura	25,456.18	No establecidos en esa época	No establecidos en esa época	25,456.18
1,978	2,750	9.31		25,598.78			25,598.78
1,979	2,527	9.31		23,527.07			23,527.07
1,980	2,513	9.31		23,396.03			23,396.03
1,981	2,531	12.29		31,097.02			31,097.02
1,982	2,863	16.45		47,093.49			47,093.49
1,983	3,105	16.45		51,081.69			51,081.69
1,984	3,158	16.45		51,940.88			51,940.88
1,985	3,260	16.45		53,623.71			53,623.71
1,986	3,244	19.60		63,071.67			63,071.67
1,987	2,057	24.00		49,358.59			49,358.59
1,988	2,097	24.00		49,358.59			49,358.59
1,989	2,177	24.00		52,244.35			52,244.35
1,990	2,258	27.75		62,672.76			62,672.76
1,991	2,591	33.00	85,493.76	85,493.76			
1,992	2,676	1.50	234	939,367.26	5,352.52	944,719.78	
1,993	2,733	1.50	234	959,114.52	5,465.04	964,579.56	
1,994	2,831	2.50	234	1,655,982.90	28,307.40	331,196.58	2,015,486.88
1,995	2,322	2.50	234	1,358,456.78	23,221.48	271,691.36	1,653,369.61
1,996	1,539	2.50	234	900,203.85	15,388.10	180,040.77	1,095,632.72
1,997	1,609	2.50	234	941,153.85	16,088.10	188,230.77	1,145,472.72
1,998	1,682	2.50	234	984,174.75	16,823.50	196,834.95	1,197,833.20
1,999	1,754	2.50	234	1,025,832.60	17,535.60	205,166.52	1,248,534.72
2,000	1,822	2.50	234	1,065,856.68	18,219.77	213,171.34	1,297,247.79
2,001	1,838	3.50	234	1,505,322.00	18,380.00	301,064.40	1,824,766.40
2,002	1,859	3.50	234	1,522,414.53	18,588.70	304,482.91	1,845,486.14
2,003	1,868	3.50	234	1,529,892.00	18,680.00	305,978.40	1,854,550.40
2,004	1,887	5.60	234	2,472,135.12	30,184.80	494,427.02	2,996,746.94
2,005	1,911	5.60	234	2,504,266.13	30,577.12	500,853.23	3,035,696.47
2,006	1,941	5.60	234	2,543,250.53	31,053.12	508,650.11	3,082,953.75
2,007	1,965	5.60	234	2,575,211.18	31,443.36	515,042.24	3,121,696.78
2,008	1,982	5.60	234	2,597,212.80	31,712.00	519,442.56	3,148,367.36
2,009	2,018	5.60	234	2,644,216.85	32,285.92	528,843.37	3,205,346.14
2,010	2,046	5.60	234	2,681,720.50	32,743.84	536,344.10	3,250,808.44
2,011	2,087	5.60	234	2,734,306.85	33,385.92	546,861.37	3,314,554.14
2,012	2,108	5.60	234	2,762,690.11	33,732.48	552,538.02	3,348,960.61
2,013	2,124	5.60	234	2,783,250.29	33,983.52	556,650.06	3,373,883.87
2,014	2,152	5.60	234	2,820,111.84	34,433.60	564,022.37	3,418,567.81

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 165. Resumen de todos los sectores por rubro de ingresos percibidos

Año	Total de Cargos Fijos	Total cargos Consumo H <sub>2</sub> O	Total cargos Alcantarillado	Total Ingresos sin multa	% promedio de Multas	Ingresos por Multas	Total ingresos por H <sub>2</sub> O
1977	0.00	294,242.16	0.00	294,242.16	78.75	231,715.70	525,957.86
1978	0.00	295,890.35	0.00	295,890.35	87.00	257,424.60	553,314.95
1979	0.00	290,000.74	0.00	290,000.74	80.17	232,549.90	522,550.64
1980	0.00	292,407.65	0.00	292,407.65	76.25	222,960.84	515,368.49
1981	0.00	388,070.65	0.00	388,070.65	66.25	254,992.30	643,062.95
1982	0.00	519,265.41	0.00	519,265.41	59.17	307,270.13	826,535.54
1983	0.00	519,511.67	0.00	519,511.67	52.50	272,743.63	792,255.30
1984	0.00	528,249.75	0.00	528,249.75	47.08	248,717.59	776,967.34
1985	0.00	545,364.54	0.00	545,364.54	40.83	222,690.52	768,055.06
1986	0.00	691,236.75	0.00	691,236.75	38.17	263,605.62	954,842.37
1987	0.00	834,611.52	0.00	834,611.52	35.00	292,114.03	1,126,725.55
1988	0.00	834,611.52	0.00	834,611.52	35.00	292,114.03	1,126,725.55
1989	0.00	883,407.25	0.00	883,407.25	32.25	284,898.84	1,168,306.08
1990	0.00	1,271,081.35	0.00	1,271,081.35	30.00	381,324.41	1,652,405.76
1991	0.00	1,825,486.08	0.00	1,825,486.08	40.00	730,194.43	2,555,680.51
1992	267,626.00	3,885,624.43	0.00	4,153,250.43	20.00	830,650.09	4,983,900.51
1993	273,252.00	3,967,307.53	0.00	4,240,559.53	20.00	848,111.91	5,088,671.44
1994	1,415,370.00	5,818,402.07	1,163,680.41	8,397,452.49	20.00	1,679,490.50	10,076,942.98
1995	1,466,620.00	5,689,662.46	1,137,932.49	8,294,214.95	20.00	1,658,842.99	9,953,057.94
1996	1,538,810.00	5,471,138.93	1,094,227.79	8,104,176.72	20.00	1,620,835.34	9,725,012.06
1997	1,608,810.00	5,720,019.38	1,144,003.88	8,472,833.26	20.00	1,694,566.65	10,167,399.91
1998	1,682,350.00	5,981,486.07	1,196,297.21	8,860,133.29	20.00	1,772,026.66	10,632,159.94
1999	1,753,560.00	6,127,993.70	1,225,598.74	9,107,152.44	20.00	1,821,430.49	10,928,582.93
2000	1,821,977.24	6,344,917.30	1,268,983.46	9,435,878.00	20.00	1,887,175.60	11,323,053.59
2001	1,838,000.00	8,883,805.74	1,776,761.15	12,498,566.89	20.00	2,499,713.38	14,998,280.27
2002	1,858,870.00	8,984,678.99	1,796,935.80	12,640,484.79	20.00	2,528,096.96	15,168,581.74
2003	1,868,000.00	9,028,808.01	1,805,761.60	12,702,569.61	20.00	2,540,513.92	15,243,083.54
2004	3,018,480.00	14,589,548.40	2,917,909.68	20,525,938.08	20.00	4,105,187.62	24,631,125.69
2005	3,057,712.00	14,780,637.85	2,956,127.57	20,794,477.42	20.00	4,158,895.48	24,953,372.91
2006	3,105,312.00	15,012,814.08	3,002,562.82	21,120,688.89	20.00	4,224,137.78	25,344,826.67
2007	3,144,336.00	15,201,477.91	3,040,295.58	21,386,109.49	20.00	4,277,221.90	25,663,331.39
2008	3,171,200.00	15,331,657.41	3,066,331.48	21,569,188.89	20.00	4,313,837.78	25,883,026.67
2009	3,228,592.00	15,612,531.39	3,122,506.28	21,963,629.67	20.00	4,392,725.93	26,356,355.60
2010	3,274,384.00	15,833,968.18	3,166,793.64	22,275,145.81	20.00	4,455,029.16	26,730,174.98
2011	3,338,592.00	16,144,459.38	3,228,891.88	22,711,943.26	20.00	4,542,388.65	27,254,331.91
2012	3,373,248.00	16,527,258.94	3,305,451.79	23,205,958.72	20.00	4,641,191.74	27,847,150.47
2013	3,398,352.00	16,758,663.64	3,351,732.73	23,508,748.37	20.00	4,701,749.67	28,210,498.04
2014	3,443,360.00	16,179,002.29	3,235,800.46	22,858,162.74	20.00	4,571,632.55	27,429,795.29

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 166. Promedio mensual de agua real, producida y entregada al consumidor

Año	A1	Ao	Ao (m <sup>3</sup> /s)	a	p1	pa	Xrp
1977	4,554,436	5,416,667	2.09	3,917,767	1,498,900	862,231	15.92
1978	4,598,557	5,485,083	2.12	3,843,565	1,641,518	886,527	16.14
1979	4,552,200	5,586,667	2.16	3,580,423	2,006,244	1,034,467	18.52
1980	4,593,742	5,693,833	2.20	3,701,761	1,992,073	1,100,092	19.33
1981	4,723,932	5,939,167	2.29	3,746,781	2,192,386	1,215,235	20.46
1982	5,265,277	6,692,000	2.58	4,294,193	2,397,807	1,426,724	21.32
1983	5,108,256	6,600,833	2.55	3,960,579	2,640,254	1,492,578	22.61
1984	5,078,327	6,618,833	2.55	4,175,577	2,443,257	1,540,506	23.28
1985	5,143,564	6,737,667	2.60	4,110,290	2,627,377	1,594,102	23.66
1986	5,092,434	6,742,667	2.60	3,506,578	3,236,089	1,650,233	24.48
1987	5,360,188	7,119,250	2.75	3,922,174	3,197,076	1,759,062	24.71
1988	5,360,188	7,119,250	2.75	3,922,174	3,197,076	1,759,062	24.71
1989	5,669,524	7,816,750	3.02	4,221,187	3,595,563	2,147,226	27.47
1990	5,801,000	8,099,471	3.12	4,456,349	3,643,122	2,298,471	28.38
1991	5,332,058	7,543,083	2.91	4,224,804	3,318,279	2,211,026	29.31
1992	5,376,198	7,653,181	2.95	4,363,162	3,290,019	2,276,983	29.75
1993	5,558,172	8,234,893	3.18	4,777,247	3,457,646	2,676,721	32.50
1994	5,341,063	8,134,010	3.14	4,556,222	3,577,789	2,792,947	34.33
1995	5,804,184	8,970,061	3.46	4,665,046	4,305,015	3,165,877	35.29
1996	5,743,770	8,978,213	3.46	5,118,399	3,859,814	3,234,443	36.03
1997	5,720,626	8,980,575	3.46	5,120,073	3,860,501	3,259,949	36.30
1998	5,562,942	8,830,066	3.41	5,034,369	3,795,698	3,267,125	37.00
1999	5,768,994	9,245,183	3.57	5,548,456	3,696,727	3,476,189	37.60
2000	5,810,431	9,376,780	3.62	5,539,893	3,836,887	3,566,349	38.03
2001	6,297,381	10,223,021	3.94	5,019,795	5,203,226	3,925,640	38.40
2002	6,247,890	10,310,670	3.98	4,744,266	5,566,405	4,062,780	39.40
2003	6,089,476	10,174,416	3.93	4,681,729	5,492,686	4,084,940	40.15
2004	6,141,805	10,425,951	4.02	4,595,038	5,830,914	4,284,147	41.09
2005	6,001,893	10,340,510	3.99	4,867,433	5,473,077	4,338,617	41.96
2006	6,078,378	10,726,693	4.14	5,373,667	5,353,027	4,648,316	43.33
2007	5,909,806	10,746,950	4.15	5,384,940	5,362,010	4,837,144	45.00
2008	5,803,601	10,812,500	4.17	5,514,033	5,298,467	5,008,899	46.33
2009	5,512,209	10,636,000	4.10	5,328,333	5,307,668	5,123,791	48.17
2010	5,455,215	10,696,500	4.13	5,227,377	5,469,123	5,241,285	49.00
2011	5,593,386	10,824,250	4.18	5,538,673	5,285,578	5,230,864	48.33
2012	5,652,827	10,967,333	4.23	5,708,005	5,259,328	5,314,507	48.46
2013	5,783,882	11,191,000	4.32	5,375,813	5,815,187	5,407,118	48.32
2014	5,578,487	10,950,667	4.22	5,252,830	5,697,837	5,372,180	49.06

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 167. *Determinación de la Sostenibilidad hídrica económica 1*

Año	Presupuesto de EMPAGUA		% de gastos no Presupuestad	Gv = Gastos no presupuestado	Ca = canon promedio real	Cp1 = Costo de 1 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	F (CE1)
	Anual (millones)	Mensual (Q)					
1977	55.00	4,583,333.33	3.32	152,013.89	0.12	0.85	0.11
1978	59.00	4,916,666.67	4.20	206,500.00	0.12	0.90	0.11
1979	64.00	5,333,333.33	4.80	256,000.00	0.11	0.96	0.09
1980	69.80	5,816,666.67	5.10	296,650.00	0.11	1.02	0.08
1981	71.00	5,916,666.67	4.30	254,416.67	0.14	1.00	0.10
1982	73.00	6,083,333.33	5.60	340,666.67	0.16	0.91	0.13
1983	75.00	6,250,000.00	4.30	268,750.00	0.16	0.95	0.12
1984	80.00	6,666,666.67	6.10	406,666.67	0.15	1.01	0.11
1985	87.00	7,250,000.00	7.30	529,250.00	0.15	1.08	0.10
1986	98.00	8,166,666.67	4.60	375,666.67	0.19	1.21	0.11
1987	108.00	9,000,000.00	8.20	738,000.00	0.21	1.27	0.12
1988	108.00	9,000,000.00	8.20	738,000.00	0.21	1.27	0.12
1989	130.00	10,833,333.33	6.60	715,000.00	0.21	1.39	0.10
1990	150.00	12,500,000.00	5.50	687,500.00	0.28	1.54	0.13
1991	180.00	15,000,000.00	7.30	1,095,000.00	0.48	1.99	0.16
1992	230.00	19,166,666.67	8.20	1,571,666.67	0.93	2.51	0.24
1993	238.00	19,833,333.33	7.50	1,487,500.00	0.92	2.41	0.24
1994	246.00	20,500,000.00	8.60	1,763,000.00	1.89	2.52	0.45
1995	250.00	20,833,333.33	9.20	1,916,666.67	1.72	2.32	0.44
1996	250.00	20,833,333.33	6.60	1,375,000.00	1.69	2.32	0.44
1997	255.00	21,250,000.00	9.50	2,018,750.00	1.78	2.37	0.44
1998	260.00	21,666,666.67	8.20	1,776,666.67	1.91	2.46	0.45
1999	280.00	23,333,333.33	8.40	1,960,000.00	1.90	2.53	0.43
2000	290.00	24,166,666.67	7.00	1,691,666.67	1.95	2.58	0.44
2001	298.00	24,833,333.33	7.30	1,812,833.33	2.38	2.43	0.56
2002	305.00	25,416,666.67	6.80	1,728,333.33	2.43	2.47	0.56
2003	315.00	26,250,000.00	7.30	1,916,250.00	2.51	2.58	0.54
2004	325.00	27,083,333.33	8.20	2,220,833.33	4.01	2.60	0.84
2005	360.00	30,000,000.00	7.50	2,250,000.00	4.16	2.90	0.77
2006	325.00	27,083,333.33	8.80	2,383,333.33	4.17	2.53	0.86
2007	380.00	31,666,666.67	9.30	2,945,000.00	4.35	2.95	0.74
2008	395.00	32,916,666.67	5.50	1,810,416.67	4.46	3.05	0.75
2009	405.00	33,750,000.00	7.60	2,565,000.00	4.79	3.18	0.73
2010	415.00	34,583,333.33	10.20	3,527,500.00	4.90	3.24	0.70
2011	425.00	35,416,666.67	11.00	3,895,833.33	4.88	3.28	0.69
2012	460.60	38,383,333.33	9.60	3,684,800.00	4.93	3.50	0.66
2013	480.00	40,000,000.00	10.10	4,040,000.00	4.88	3.57	0.64
2014	500.00	41,666,666.67	9.20	3,833,333.33	4.92	3.81	0.60

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Ahora para determinar si esta simulación económica es congruente con los volúmenes de agua facturados, se presentan los siguientes cuadros.

Tabla 168. *Balance de agua entregada al consumidor final por sector*

Año	Volumen promedio mensual de agua entregado por sector en m <sup>3</sup> /mes.					Total de Volumen H2O Simulado = (V simulado)
	Sector Marginal 10 m <sup>3</sup> /usuario	Sector Económico 30 m <sup>3</sup> /usuario	Sector Normal 52 m <sup>3</sup> /usuario	Sector Intermedio 84.9 m <sup>3</sup> /usuario	Sector Alto consumo 234 m <sup>3</sup> /usuario	
1977	107,418.30	1,611,274.50	1,421,827.68	274,602.07	639,822.46	4,054,945.01
1978	108,020.00	1,620,300.00	1,429,792.00	276,140.25	643,406.40	4,077,658.65
1979	125,527.93	1,659,941.75	1,314,079.26	300,445.27	591,335.67	3,991,329.88
1980	130,676.00	1,688,736.00	1,306,760.00	309,163.89	588,042.00	4,023,377.89
1981	131,627.60	1,701,033.60	1,316,276.00	311,415.27	592,324.20	4,052,676.67
1982	127,331.68	1,794,607.50	1,239,817.41	289,120.68	669,901.34	4,120,778.61
1983	124,210.80	1,863,162.00	1,184,142.96	272,877.43	726,633.18	4,171,026.37
1984	126,300.00	1,894,500.00	1,204,060.00	277,467.17	738,855.00	4,241,182.17
1985	130,392.00	1,955,880.00	1,243,070.40	286,456.84	762,793.20	4,378,592.44
1986	134,224.80	2,027,353.75	1,264,826.39	288,733.81	759,041.24	4,474,179.99
1987	137,107.20	2,227,992.00	1,125,878.62	225,907.05	481,246.27	4,198,131.14
1988	137,107.20	2,227,992.00	1,125,878.62	230,324.11	490,655.88	4,280,215.45
1989	145,123.20	2,358,252.00	1,191,703.34	239,114.75	509,382.43	4,443,575.72
1990	150,565.20	2,446,684.50	1,236,391.23	248,081.35	528,483.85	4,610,206.14
1991	155,443.20	2,525,952.00	1,262,976.00	256,118.67	606,228.48	4,806,718.35
1992	160,575.60	2,609,353.50	1,304,676.75	264,575.16	626,244.84	4,965,425.85
1993	163,951.20	2,664,207.00	1,332,103.50	270,137.03	639,409.68	5,069,808.41
1994	169,844.40	2,759,971.50	1,379,985.75	279,847.06	662,393.16	5,252,041.87
1995	175,994.40	2,914,907.25	1,358,456.78	303,405.22	543,382.71	5,296,146.36
1996	184,657.20	3,139,172.40	1,320,298.98	338,059.58	360,081.54	5,342,269.70
1997	193,057.20	3,281,972.40	1,380,358.98	353,437.81	376,461.54	5,585,287.93
1998	201,882.00	3,431,994.00	1,443,456.30	369,593.74	393,669.90	5,840,595.94
1999	195,814.20	3,664,940.40	1,466,560.68	321,031.49	410,333.04	6,058,679.81
2000	200,417.50	3,826,152.20	1,515,885.06	320,214.64	426,342.67	6,289,012.07
2001	202,180.00	3,859,800.00	1,529,216.00	323,030.66	430,092.00	6,344,318.66
2002	204,475.70	3,903,627.00	1,546,579.84	326,698.59	434,975.58	6,416,356.71
2003	205,480.00	3,922,800.00	1,554,176.00	328,303.20	437,112.00	6,447,871.20
2004	207,520.50	3,961,755.00	1,569,609.60	331,563.38	441,452.70	6,511,901.18
2005	202,254.91	4,078,940.03	1,507,197.21	353,366.17	447,190.38	6,588,948.70
2006	194,082.00	4,235,839.65	1,412,916.96	383,739.07	454,151.88	6,680,729.56
2007	196,521.00	4,289,070.83	1,430,672.88	388,561.46	459,859.14	6,764,685.31
2008	196,548.33	4,339,341.25	1,425,718.67	395,509.71	463,788.00	6,820,905.96
2009	181,608.30	4,570,475.55	1,259,150.88	443,303.78	472,181.58	6,926,720.09
2010	184,184.10	4,635,299.85	1,277,009.76	449,591.28	478,878.66	7,024,963.65
2011	187,795.80	4,726,194.30	1,302,050.88	458,407.40	488,269.08	7,162,717.46
2012	175,690.00	4,838,502.60	1,242,479.68	524,921.31	493,337.52	7,274,931.11
2013	169,917.60	4,906,370.70	1,214,910.84	559,935.34	497,008.98	7,348,143.46
2014	150,647.00	5,165,040.00	1,119,092.00	378,234.11	503,591.40	7,316,604.51

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016



Tabla 169. *Estimación del error en la Simulación económica del agua.*

Año	A1 = Volumen H <sub>2</sub> O real Facturado	A2 = Volumen H <sub>2</sub> O (V simulado)	Error = A1 - A2	% Error Estandar = (Error/A1)*100	Error Std <sup>2</sup>
1977	4,554,435.50	4,054,945.01	499,490	10.88	0.013
1978	4,598,556.75	4,077,658.65	520,898	11.07	0.014
1979	4,552,199.83	3,991,329.88	560,870	12.22	0.016
1980	4,593,741.50	4,023,377.89	570,364	12.34	0.016
1981	4,723,932.00	4,052,676.67	671,255	14.12	0.021
1982	5,265,276.50	4,120,778.61	1,144,498	21.67	0.048
1983	5,108,255.58	4,171,026.37	937,229	18.27	0.034
1984	5,078,326.92	4,241,182.17	837,145	16.43	0.027
1985	5,143,564.33	4,378,592.44	764,972	14.78	0.023
1986	5,092,433.83	4,474,179.99	618,254	12.04	0.016
1987	5,360,188.17	4,198,131.14	1,162,057	21.63	0.047
1988	5,360,188.17	4,280,215.45	1,267,335	22.79	0.052
1989	5,669,524.17	4,443,575.72	1,225,948	21.57	0.047
1990	5,800,999.66	4,610,206.14	1,190,794	20.46	0.042
1991	5,332,057.60	4,806,718.35	525,339	9.78	0.010
1992	5,376,198.03	4,965,425.85	410,772	7.59	0.006
1993	5,558,172.44	5,069,808.41	488,364	8.70	0.008
1994	5,341,063.13	5,252,041.87	89,021	1.58	0.001
1995	5,804,184.31	5,296,146.36	508,038	8.66	0.009
1996	5,743,770.19	5,342,269.70	401,500	6.94	0.005
1997	5,720,625.98	5,585,287.93	135,338	2.28	0.001
1998	5,562,941.85	5,840,595.94	-277,654	-5.10	0.004
1999	5,768,994.11	6,058,679.81	-289,686	-5.12	0.004
2000	5,810,431.18	6,289,012.07	-478,581	-8.30	0.008
2001	6,297,380.98	6,344,318.66	-46,938	-0.84	0.001
2002	6,247,890.43	6,416,356.71	-168,466	-2.78	0.002
2003	6,089,475.97	6,447,871.20	-358,395	-5.99	0.005
2004	6,141,804.65	6,511,901.18	-370,097	-6.08	0.004
2005	6,001,893.46	6,588,948.70	-587,055	-9.89	0.011
2006	6,078,377.54	6,680,729.56	-602,352	-10.01	0.011
2007	5,909,805.88	6,764,685.31	-854,879	-14.55	0.022
2008	5,803,601.25	6,820,905.96	-1,017,305	-17.60	0.032
2009	5,512,209.00	6,926,720.09	-1,414,511	-25.76	0.068
2010	5,455,215.00	7,024,963.65	-1,569,749	-28.89	0.085
2011	5,593,385.83	7,162,717.46	-1,569,332	-28.26	0.083
2012	5,652,826.67	7,274,931.11	-1,622,104	-28.76	0.084
2013	5,783,881.83	7,348,143.46	-1,564,262	-27.05	0.073
2014	5,578,487.08	7,316,604.51	-1,738,117	-31.27	0.099
			<b>-0.0002</b>	<b>0.5148</b>	<b>1.0529</b>
			<b>Prom (E std)</b>	<b>Prom (% E std)</b>	<b>SSE</b>

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Lo anterior implica que EMPAGUA para mantener este equilibrio económico debe seguir restringiendo (racionando el agua por sectores), pues no puede facturar más de lo que entrega, de lo contrario sería inmoral, e ilegal hacerlo,

En cuanto a los volúmenes mensuales por sector se determinó en esta simulación económica que EMPAGUA no puede entregar más agua a otros sectores sin tener que afectarlos, y en promedio estos volúmenes no pueden ser mayores a:

- Al sector Marginal 10 m<sup>3</sup>/usuario,
- Al sector Económico 30 m<sup>3</sup>/usuario,
- Al sector Normal 52 m<sup>3</sup>/usuario,
- Al sector Intermedio 85 m<sup>3</sup>/usuario y
- Al sector de Alto consumo 234 m<sup>3</sup>/usuario.

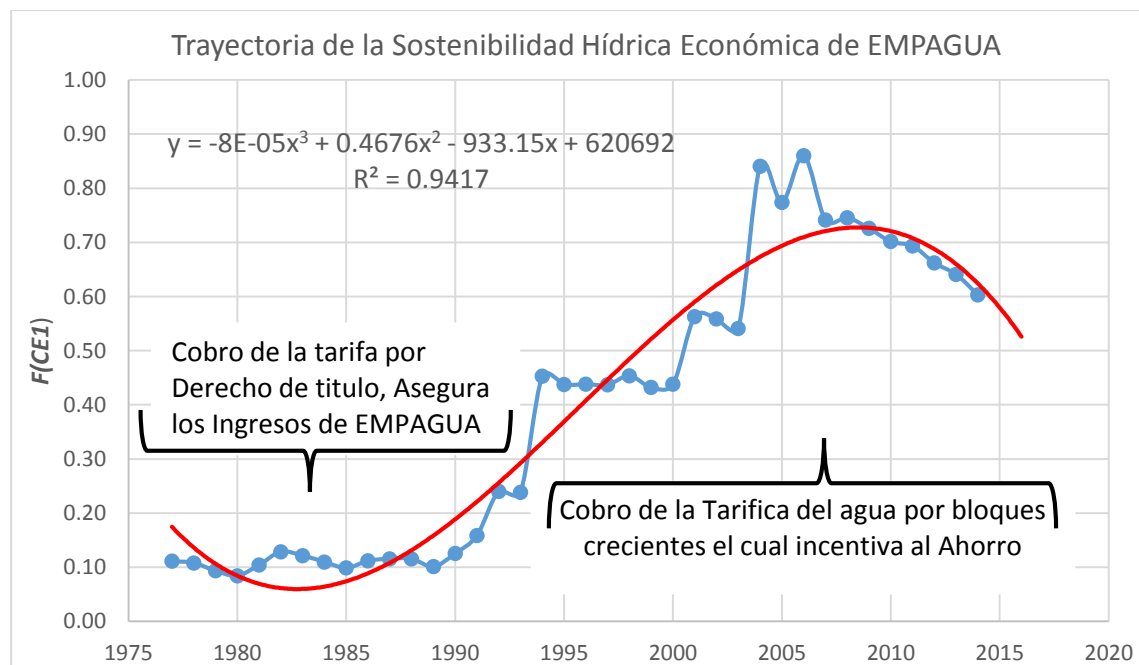


Figura 86. Trayectoria de la sostenibilidad económica.1 Fuente elaboración propia, 2016

Tabla 170. Principales variables que definen la Sostenibilidad hídrica económica

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Año	F (CE1)	Total de Usuarios	% de usuarios por cada sector autorizado					Canon de agua autorizado a cada sector				
			Marginal	Económico	Normal	Intermedio	Alto consumo	Sector Marginal	Sector Económico	Sector Normal	Sector Intermedio	Sector Alto consumo
1977	0.11	97653	11.00	55.00	28.00	3.20	2.80	1.13	2.00	4.66	6.98	9.31
1978	0.11	98200	11.00	55.00	28.00	3.20	2.80	1.13	2.00	4.66	6.98	9.31
1979	0.09	99101	12.67	55.83	25.50	3.45	2.55	1.13	2.00	4.66	6.98	9.31
1980	0.08	100520	13.00	56.00	25.00	3.50	2.50	1.13	2.00	4.66	6.98	9.31
1981	0.10	101252	13.00	56.00	25.00	3.50	2.50	1.49	2.63	6.16	9.22	12.29
1982	0.13	102549	12.42	58.33	23.25	3.21	2.79	2.00	3.50	8.25	12.35	16.45
1983	0.12	103509	12.00	60.00	22.00	3.00	3.00	2.00	3.50	8.25	12.35	16.45
1984	0.11	105250	12.00	60.00	22.00	3.00	3.00	2.00	3.50	8.25	12.35	16.45
1985	0.10	108660	12.00	60.00	22.00	3.00	3.00	2.00	3.50	8.25	12.35	16.45
1986	0.11	111854	12.00	60.42	21.75	2.94	2.90	2.00	4.23	10.85	15.95	19.60
1987	0.12	114256	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	2.00	5.25	14.50	21.00	24.00
1988	0.12	116490	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	2.00	5.25	14.50	21.00	24.00
1989	0.10	120936	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	2.00	5.25	14.50	21.00	24.00
1990	0.13	125471	12.00	65.00	18.95	2.25	1.80	2.00	7.44	20.96	26.00	27.75
1991	0.16	129536	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	2.00	10.50	30.00	33.00	33.00
1992	0.24	133813	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	0.20	0.60	0.80	1.30	1.50
1993	0.24	136626	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	0.20	0.60	0.80	1.30	1.50
1994	0.45	141537	12.00	65.00	18.75	2.25	2.00	0.50	0.80	1.00	2.00	2.50
1995	0.44	146662	12.00	66.25	17.81	2.35	1.58	0.50	0.80	1.00	2.00	2.50
1996	0.44	153881	12.00	68.00	16.50	2.50	1.00	0.50	0.80	1.00	2.00	2.50
1997	0.44	160881	12.00	68.00	16.50	2.50	1.00	0.50	0.80	1.00	2.00	2.50
1998	0.45	168235	12.00	68.00	16.50	2.50	1.00	0.50	0.80	1.00	2.00	2.50
1999	0.43	175356	11.17	69.67	16.08	2.08	1.00	0.50	0.80	1.00	2.00	2.50
2000	0.44	182198	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	0.50	0.80	1.00	2.00	2.50
2001	0.56	183800	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	0.70	1.10	1.40	2.80	3.50
2002	0.56	185887	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	0.70	1.10	1.40	2.80	3.50
2003	0.54	186800	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	0.70	1.10	1.40	2.80	3.50
2004	0.84	188655	11.00	70.00	16.00	2.00	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2005	0.77	191107	10.58	71.15	15.17	2.10	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2006	0.86	194082	10.00	72.75	14.00	2.25	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2007	0.74	196521	10.00	72.75	14.00	2.25	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2008	0.75	198200	9.92	72.98	13.83	2.27	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2009	0.73	201787	9.00	75.50	12.00	2.50	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2010	0.70	204649	9.00	75.50	12.00	2.50	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2011	0.69	208662	9.00	75.50	12.00	2.50	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2012	0.66	210828	8.33	76.50	11.33	2.83	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2013	0.64	212397	8.00	77.00	11.00	3.00	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60
2014	0.60	215210	7.00	80.00	10.00	2.00	1.00	1.12	1.76	2.24	4.48	5.60

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Tabla 171. Principales variables que definen la Sostenibilidad hídrica económica

	Y	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25
Año	F (CE1)	Volumen de agua Promedio entregado por sector en m <sup>3</sup> /mes					Ingresos involucrados							Totales de Volumenes H2O	
		Sector Marginal	Sector Económico	Sector Normal	Sector Intermedio	Sector Alto consumo	Cargos Fijos por usuario	% de cargos por Alcantarillado al total de	% promedio de Multas	Presupuesto Anual (millones Q.)	% de gastos no Presupuestados	Ca = canon venta real Q/m3	Cp1 = Costo de 1 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O en Q.	A1 = Vol. H2O Facturado m3	Ao = Vol. H2O Producido m3
1977	0.11	1	1	1	1	1	0	0	78.75	55.00	3.32	0.12	0.85	4,554,436	5,416,667
1978	0.11	1	1	1	1	1	0	0	87.00	59.00	4.20	0.12	0.90	4,598,557	5,485,083
1979	0.09	1	1	1	1	1	0	0	80.17	64.00	4.80	0.11	0.96	4,552,200	5,586,667
1980	0.08	1	1	1	1	1	0	0	76.25	69.80	5.10	0.11	1.02	4,593,742	5,693,833
1981	0.10	1	1	1	1	1	0	0	66.25	71.00	4.30	0.14	1.00	4,723,932	5,939,167
1982	0.13	1	1	1	1	1	0	0	59.17	73.00	5.60	0.16	0.91	5,265,277	6,692,000
1983	0.12	1	1	1	1	1	0	0	52.50	75.00	4.30	0.16	0.95	5,108,256	6,600,833
1984	0.11	1	1	1	1	1	0	0	47.08	80.00	6.10	0.15	1.01	5,078,327	6,618,833
1985	0.10	1	1	1	1	1	0	0	40.83	87.00	7.30	0.15	1.08	5,143,564	6,737,667
1986	0.11	1	1	1	1	1	0	0	38.17	98.00	4.60	0.19	1.21	5,092,434	6,742,667
1987	0.12	1	1	1	1	1	0	0	35.00	108.00	8.20	0.21	1.27	5,360,188	7,119,250
1988	0.12	1	1	1	1	1	0	0	35.00	108.00	8.20	0.21	1.27	5,360,188	7,119,250
1989	0.10	1	1	1	1	1	0	0	32.25	130.00	6.60	0.21	1.39	5,669,524	7,816,750
1990	0.13	1	1	1	1	1	0	0	30.00	150.00	5.50	0.28	1.54	5,801,000	8,099,471
1991	0.16	1	1	1	1	1	0	0	40.00	180.00	7.30	0.48	1.99	5,332,058	7,543,083
1992	0.24	10	30	52	87.9	234	2	0	20.00	230.00	8.20	0.93	2.51	5,376,198	7,653,181
1993	0.24	10	30	52	87.9	234	2	0	20.00	238.00	7.50	0.92	2.41	5,558,172	8,234,893
1994	0.45	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	246.00	8.60	1.89	2.52	5,341,063	8,134,010
1995	0.44	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	250.00	9.20	1.72	2.32	5,804,184	8,970,061
1996	0.44	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	250.00	6.60	1.69	2.32	5,743,770	8,978,213
1997	0.44	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	255.00	9.50	1.78	2.37	5,720,626	8,980,575
1998	0.45	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	260.00	8.20	1.91	2.46	5,562,942	8,830,066
1999	0.43	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	280.00	8.40	1.90	2.53	5,768,994	9,245,183
2000	0.44	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	290.00	7.00	1.95	2.58	5,810,431	9,376,780
2001	0.56	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	298.00	7.30	2.38	2.43	6,297,381	10,223,021
2002	0.56	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	305.00	6.80	2.43	2.47	6,247,890	10,310,670
2003	0.54	10	30	52	87.9	234	10	20	20.00	315.00	7.30	2.51	2.58	6,089,476	10,174,416
2004	0.84	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	325.00	8.20	4.01	2.60	6,141,805	10,425,951
2005	0.77	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	360.00	7.50	4.16	2.90	6,001,893	10,340,510
2006	0.86	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	325.00	8.80	4.17	2.53	6,078,378	10,726,693
2007	0.74	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	380.00	9.30	4.35	2.95	5,909,806	10,746,950
2008	0.75	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	395.00	5.50	4.46	3.05	5,803,601	10,812,500
2009	0.73	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	405.00	7.60	4.79	3.18	5,512,209	10,636,000
2010	0.70	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	415.00	10.20	4.90	3.24	5,455,215	10,696,500
2011	0.69	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	425.00	11.00	4.88	3.28	5,593,386	10,824,250
2012	0.66	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	460.60	9.60	4.93	3.50	5,652,827	10,967,333
2013	0.64	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	480.00	10.10	4.88	3.57	5,783,882	11,191,000
2014	0.60	10	30	52	87.9	234	16	20	20.00	500.00	9.20	4.92	3.81	5,578,487	10,950,667

Fuente: Elaboración propia, con datos de EMPAGUA, 2016

Y el modelo matemático que describe la F (CE1) sostenibilidad hídrica económica

$$1 \text{ es: } F(CE1) = -2.7558 \times [10]^{12} + 2.0321 \times [10]^{(-6)}(X1) + 2.5443 \times$$

$$\begin{aligned}
& \beta_{10}^{10} (X10) - 3.5362 \times \beta_{10}^{10} (X11) + 6.7562 \times \beta_{10}^{11} (X12) - \\
& 2.7110 \times \beta_{10}^{11} (X13) - 5.6458 \times \beta_{10}^{10} (X14) + 6.3966 \times \beta_{10}^{10} (X15) - \\
& 3.7821 \times \beta_{10}^9 (X16) + 5.6797 \times \beta_{10}^8 (X17) - 1.1089 \times \\
& \beta_{10}^9 (X18) + 8.8615 \times \beta_{10}^{-4} (X19) + 2.3547 \times \beta_{10}^{10} (X2) - \\
& 0.001743(X20) - 0.00328(X21) + 0.02138(X22) + 0.01387(X23) + 6.0769 \times \\
& \beta_{10}^{-8} (X24) - 1.9381 \times \beta_{10}^{-8} (X25) + 2.3547 \times \beta_{10}^{10} (X3) + \\
& 2.3547 \times \beta_{10}^{10} (X4) + 2.3547 \times \beta_{10}^{10} (X5) + 2.3547 \times \\
& \beta_{10}^{10} (X6) + 1.6681 \times \beta_{10}^{11} (X7) - 1.1359 \times \beta_{10}^{11} (X8) + \\
& 3.93098 \times \beta_{10}^{10} (X9)
\end{aligned}$$

El orden de las variables independientes ( $X_n$ ) se colocó de acuerdo a su peso en la regresión Lineal Múltiple, y el nombre de las variables independientes es:

X1 = Total de usuarios al mes en número de hogares

X2 = Usuarios del sector Marginal en %

X3 = Usuarios del sector Económico en %

X4 = Usuarios del sector Normal en %

X5 = Usuarios del sector Intermedio en %

X6 = Usuarios del sector Alto consumo en %

X7 = Canon de agua autorizado al sector Marginal en Q. / m<sup>3</sup>

X8 = Canon de agua autorizado al sector Económico en Q. / m<sup>3</sup>

X9 = Canon de agua autorizado al sector Normal en Q. / m<sup>3</sup>

X10 = Canon de agua autorizado al sector Intermedio en Q. / m<sup>3</sup>

X11 = Canon de agua autorizado al sector Alto consumo en Q. / m<sup>3</sup>

X12 = Volumen de agua promedio entregado al sector Marginal en m<sup>3</sup> / mes

X13 = Volumen de agua promedio entregado al sector Económico en m<sup>3</sup> / mes

X14 = Volumen de agua promedio entregado al sector Normal en m<sup>3</sup> / mes

X15 = Volumen de agua promedio entregado al sector Intermedio en m<sup>3</sup> / mes

X16 = Volumen de agua promedio entregado al sector Alto consumo en m<sup>3</sup> / mes

X17 = Cargos Fijos por usuario en Q.

X18 = Cargos por Alcantarillado aplicados al total de la factura en %.

X19 = Promedio de Multas aplicado al total de la factura en %

X20 = Presupuesto anual de EMPAGUA en millones de Q.

X21 = Total de gastos no contemplados en el Presupuesto en %

X22 = Canon de venta real = Total ingresos percibidos / Volumen facturas en un mes en Q. / m<sup>3</sup> también llamado Ca

X23 = Costo de producción de 1 m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O = Presupuesto mensual de EMPAGUA / Volumen total producido durante un mes también llamado Cp1 en Q. / m<sup>3</sup>

X24 = Volumen de H<sub>2</sub>O Facturado en un mes también llamado A1 en m<sup>3</sup> / mes

X25 = Volumen de H<sub>2</sub>O Producido en un mes también llamado Ao en m<sup>3</sup> / mes

$F(CE1) = (X24) (X22) / [(X25)*(X23) + (X20/12)*(X21/100)]$

$F(CE1) = 1$  si es totalmente sostenible económicamente.

#### 4.6.6 Índice de criterio económico 2 $f(CE2)$

Según el segundo criterio de sostenibilidad económica  $F(CE2)$  dice: Para que un sistema privado de abastecimiento de agua pueda funcionar, como mínimo todos los gastos de inversión, operación y mantenimiento deben ser cubiertos por los usuarios. De forma matemática se escribe así:

$$F(CE2) \geq 1 \geq \frac{(Pv * p2d)}{(Cp2 * p2)} = \frac{Q}{Q} = \text{adimensional}$$

Pv = Canon del agua privada en colonias o el precio de venta al consumidor final por el derecho de consumir 30 m<sup>3</sup> de agua al mes.

p2d = Agua subterránea disponible (en la puerta del vecino) por el sector privado para colonias y condóminos en m<sup>3</sup>/mes, también definida como:

$p2d = p2 - pb$

$p_2$  = Agua subterránea extraída por el sector privado para colonias y condóminos de toda la ciudad en  $m^3/mes$ , se consideró tomar a toda la ciudad pues la obtención de información está más accesible.

$$P_2 = A_o * z_2$$

$A_o$  = Toda el agua producida por EMPAGUA superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras para toda la ciudad en  $m^3 / mes$

$Z_2$  = Porcentaje de demanda de agua insatisfecha por EMPAGUA

$P_b$  = pérdidas en la red de distribución privada de toda la ciudad en  $m^3 /mes$

$$P_b = (p_2) (X_{rpv} / 100)$$

$X_{rpv}$  = porcentaje (%) de pérdidas de agua en la red de distribución privada

$C_{p2}$  = Costo de extraer un  $m^3$  de agua en las colonias y condominios Q. / $m^3$

Dentro de la cuenca de la ciudad existe un sector que no puede ser abastecido por EMPAGUA, pero también consumen agua, el cual está integrado por todas las colonias privadas y condominios que han ido surgiendo, y los empresarios de estos proyectos habitacionales, como una estrategia comercial de mercadeo, se han propuesto mejorar el servicio de distribución de agua, para lo cual han perforado pozos y extraer el recurso sin ningún control gubernamental.

Como este sector utiliza la misma agua de la cuenca, conocer los costos con que operan, es importante pues afectan de forma indirecta al sector público, debido a que el servicio de abasto es mejor en cuanto a cantidad de agua como a mayor tiempo de abasto.

Primero, se procederá a conocer el número de hogares de este sector así:

Tabla 172. Total de hogares sin cobertura de agua por EMPAGUA 1

	hab.d	hab.d / Hog	THc	Us	THci	% Hci	Z2
año	hab.d = son los habitantes directos de la ciudad o sea los avocindados en numero de personas	Habitantes por hogar	Total de Hogares en la ciudad según estimaciones del INE	Total de usuarios de EMPAGUA por año.	THci = Total de Hogares de la ciudad no atendidos por EMPAGUA	% Hci = porcentaje de hogares no atendidos por EMPAGUA según pronosticos del INE	% de Demanda de agua insatisfecha por EMPAGUA según datos de EMPAGUA
1977	724,000	7	103,429	97,653	5,776	5.6	5.00
1978	737,000	7	105,286	98,200	7,086	6.7	5.00
1979	742,000	7	106,000	99,101	6,899	6.5	6.00
1980	748,000	7	108,406	100,520	7,886	7.3	7.00
1981	754,243	7	109,311	101,252	8,059	7.4	8.00
1982	773,000	7	112,029	102,549	9,480	8.5	9.00
1983	778,000	7	114,412	103,509	10,903	9.5	10.00
1984	781,000	7	118,333	105,250	13,083	11.1	11.00
1985	791,000	7	121,692	108,660	13,032	10.7	11.00
1986	800,000	6	126,984	111,854	15,130	11.9	12.00
1987	806,000	6	130,000	114,256	15,744	12.1	12.00
1988	814,000	6	135,667	116,490	19,177	14.1	13.00
1989	816,000	6	140,690	120,936	19,754	14.0	13.00
1990	817,300	6	145,946	125,471	20,475	14.0	14.00
1991	818,000	5	151,481	129,536	21,945	14.5	14.00
1992	820,000	5	157,692	133,813	23,879	15.1	15.00
1993	821,500	5	161,078	136,626	24,452	15.2	15.00
1994	823,301	5	168,021	141,537	26,484	15.8	15.00
1995	832,000	5	173,333	146,662	26,671	15.4	16.00
1996	842,000	5	183,043	153,881	29,162	15.9	16.00
1997	850,000	4	193,182	160,881	32,301	16.7	16.00
1998	866,000	4	196,818	168,235	28,583	14.5	16.00
1999	880,000	4	209,524	175,356	34,168	16.3	17.00
2000	901,000	4	219,756	182,198	37,558	17.1	17.00
2001	912,000	4	222,439	183,800	38,639	17.4	17.00
2002	923,184	4	225,167	185,887	39,280	17.4	18.00
2003	933,408	4	227,660	186,800	40,860	17.9	18.00
2004	943,632	4	230,154	188,655	41,499	18.0	18.00
2005	953,856	4	232,648	191,107	41,541	17.9	18.00
2006	964,080	4	241,020	194,082	46,938	19.5	19.00
2007	974,304	4	243,576	196,521	47,055	19.3	19.00
2008	980,160	4	245,040	198,200	46,840	19.1	19.00
2009	984,655	4	252,476	201,787	50,689	20.1	19.00
2010	988,150	4	253,372	204,649	48,723	19.2	20.00
2011	990,750	4	260,724	208,662	52,062	20.0	20.00
2012	992,541	4	261,195	210,828	50,367	19.3	20.00
2013	993,552	4	268,528	212,397	56,131	20.9	21.00
2014	993,815	4	276,060	215,210	60,850	22.0	21.00

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE y EMPAGUA, 2016

Como puede observarse, el % de hogares sin cobertura de agua por EMPAGUA, coincide con los datos reportados por el INE, en cuanto a la demanda no satisfecha. Y para el cálculo del agua, se utilizarán los datos de EMPAGUA.



Tabla 173. Total de hogares sin cobertura de agua por EMPAGUA 2

año	Ao	Z2	p2	Q COLONIAS	Xrpv	pb	p2d	THci	C/H	hab.d / Hog	LPD
	Toda el agua Producida por EMPAGUA superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras para toda la ciudad Ao = (a)+(p1) en m3 / mes	% de Demanda insatisfecha por EMPAGUA	Agua Subterránea extraída por el Sector Privado para Colonias y Condominos de toda la ciudad en m3/mes	Agua Subterránea extraída por el Sector Privado para Colonias y Condominos en m3/seg	porcentaje (%) de pérdidas de agua en la red de distribución privada	perdidas en la red de distribución privada de toda la ciudad Pb = (p2) ( Xrpv / 100) en m3 /mes	Agua Subterránea disponible por el Sector Privado para Colonias y Condominos en m3/mes	THci = Total de Hogares de la ciudad no atendidos por EMPAGUA	Consumo promedio por hogar en m3/mes	Habitantes por hogar	Demanda de agua por persona y por día en l/p/d
1977	5,416,667	5	285,088	0.110	1.00	2,851	282,237	5,776	48.9	7	233
1978	5,485,083	5	289,454	0.112	1.05	3,039	286,415	7,086	40.4	7	192
1979	5,586,667	6	357,876	0.138	1.35	4,837	353,039	6,899	51.2	7	244
1980	5,693,833	7	433,226	0.167	1.90	8,231	424,995	7,886	53.9	7	260
1981	5,939,167	8	516,449	0.199	1.90	9,813	506,637	8,059	62.9	7	304
1982	6,692,000	9	664,439	0.256	2.20	14,618	649,821	9,480	68.5	7	331
1983	6,600,833	10	733,426	0.283	2.23	16,323	717,103	10,903	65.8	7	322
1984	6,618,833	11	813,549	0.314	2.50	20,339	793,210	13,083	60.6	7	306
1985	6,737,667	11	832,745	0.321	2.53	21,034	811,711	13,032	62.3	7	319
1986	6,742,667	12	909,124	0.351	2.80	25,455	883,668	15,130	58.4	6	309
1987	7,119,250	12	965,396	0.372	2.80	27,031	938,365	15,744	59.6	6	320
1988	7,472,083	13	1,103,830	0.426	2.90	32,011	1,071,819	19,177	55.9	6	311
1989	7,816,750	13	1,154,747	0.446	3.10	35,797	1,118,950	19,754	56.6	6	326
1990	8,099,471	14	1,299,720	0.501	3.10	40,291	1,259,428	20,475	61.5	6	366
1991	7,543,083	14	1,213,830	0.468	3.20	38,843	1,174,987	21,945	53.5	5	331
1992	7,653,181	15	1,334,857	0.515	3.20	42,715	1,292,142	23,879	54.1	5	347
1993	8,234,893	15	1,436,319	0.554	3.50	50,271	1,386,047	24,452	56.7	5	370
1994	8,134,010	15	1,418,723	0.547	3.50	49,655	1,369,067	26,484	51.7	5	352
1995	8,970,061	16	1,670,511	0.644	3.80	63,479	1,607,032	26,671	60.3	5	418
1996	8,978,213	16	1,690,017	0.652	3.80	64,221	1,625,796	29,162	55.7	5	404
1997	8,980,575	16	1,690,461	0.652	3.90	65,928	1,624,533	32,301	50.3	4	381
1998	8,830,066	16	1,662,130	0.641	3.90	64,823	1,597,307	28,583	55.9	4	423
1999	9,245,183	17	1,849,037	0.713	4.00	73,961	1,775,075	34,168	52.0	4	412
2000	9,376,780	17	1,875,356	0.724	4.23	79,417	1,795,939	37,558	47.8	4	389
2001	10,223,021	17	2,044,604	0.789	4.44	90,831	1,953,774	38,639	50.6	4	411
2002	10,310,670	18	2,187,780	0.844	4.90	107,201	2,080,579	39,280	53.0	4	431
2003	10,174,416	18	2,180,232	0.841	5.08	110,687	2,069,545	40,860	50.6	4	412
2004	10,425,951	18	2,234,132	0.862	5.20	116,175	2,117,958	41,499	51.0	4	415
2005	10,340,510	18	2,231,537	0.861	5.58	124,606	2,106,931	41,541	50.7	4	412
2006	10,726,693	19	2,455,508	0.947	6.00	147,330	2,308,178	46,938	49.2	4	410
2007	10,746,950	19	2,465,162	0.951	6.50	160,276	2,304,886	47,055	49.0	4	408
2008	10,812,500	19	2,505,335	0.967	6.93	173,722	2,331,614	46,840	49.8	4	415
2009	10,636,000	19	2,464,439	0.951	7.63	188,138	2,276,301	50,689	44.9	4	384
2010	10,696,500	20	2,611,625	1.008	8.03	209,823	2,401,802	48,723	49.3	4	421
2011	10,824,250	20	2,672,654	1.031	8.42	224,952	2,447,702	52,062	47.0	4	412
2012	10,967,333	20	2,707,984	1.045	8.60	232,887	2,475,097	50,367	49.1	4	431
2013	11,191,000	21	2,937,638	1.133	9.00	264,387	2,673,250	56,131	47.6	4	429
2014	10,950,667	21	2,874,550	1.109	9.50	273,082	2,601,468	60,850	42.8	4	396

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE y EMPAGUA, 2016

Como puede observarse, el volumen de agua disponible para este sector, mejora para cada hogar, y de hecho este grupo de personas, manifiestan pasar menos o pocas penas, en relación al abasto del vital líquido, pero reconocen que pagan más.

Tabla 174. Principales variables que definen la sostenibilidad económica 2

	Y	X1	X2	X3	X4	X5
	F(CE2)	Cap	Ao	z2	Xrpv	Cp2
año	F(CE2) = Índice de Sostenibilidad Económica 2 $F(CE2) = (Pv * p2d) / (Cp2 * p2) = Q. / Q.$ = adimensional	Cap = Canon del agua privada en colonias por el derecho de consumir 30 m3 de agua en Q. / mes	Toda el agua Producida por EMPAGUA superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras para toda la ciudad $Ao = (a)+ (p1)$ en m3 / mes	% de Demanda insatisfecha por EMPAGUA	porcentaje ( % ) de pérdidas de agua en la red de distribución privada	Costo de extraer un m <sup>3</sup> de agua en las colonias y condominios Q. /m <sup>3</sup>
1977	1.62	30.00	5,416,667	5	1.00	0.61
1978	1.50	30.00	5,485,083	5	1.05	0.66
1979	1.49	30.00	5,586,667	6	1.35	0.66
1980	1.40	30.00	5,693,833	7	1.90	0.70
1981	1.44	33.00	5,939,167	8	1.90	0.75
1982	1.43	33.00	6,692,000	9	2.20	0.75
1983	1.31	33.00	6,600,833	10	2.23	0.82
1984	1.39	35.00	6,618,833	11	2.50	0.82
1985	1.17	35.00	6,737,667	11	2.53	0.97
1986	1.17	35.00	6,742,667	12	2.80	0.97
1987	1.18	40.00	7,119,250	12	2.80	1.10
1988	1.18	40.00	7,472,083	13	2.90	1.10
1989	1.04	50.00	7,816,750	13	3.10	1.55
1990	1.04	50.00	8,099,471	14	3.10	1.55
1991	1.20	65.00	7,543,083	14	3.20	1.75
1992	1.05	65.00	7,653,181	15	3.20	2.00
1993	1.06	80.00	8,234,893	15	3.50	2.42
1994	1.11	90.00	8,134,010	15	3.50	2.61
1995	1.23	100.00	8,970,061	16	3.80	2.61
1996	1.17	100.00	8,978,213	16	3.80	2.75
1997	1.46	125.00	8,980,575	16	3.90	2.75
1998	1.53	125.00	8,830,066	16	3.90	2.62
1999	1.66	130.00	9,245,183	17	4.00	2.50
2000	1.71	130.00	9,376,780	17	4.23	2.43
2001	1.90	145.00	10,223,021	17	4.44	2.43
2002	2.00	145.00	10,310,670	18	4.90	2.30
2003	2.21	150.00	10,174,416	18	5.08	2.15
2004	2.37	150.00	10,425,951	18	5.20	2.00
2005	2.67	155.00	10,340,510	18	5.58	1.83
2006	3.05	175.00	10,726,693	19	6.00	1.80
2007	2.84	175.00	10,746,950	19	6.50	1.92
2008	2.71	175.00	10,812,500	19	6.93	2.00
2009	2.59	185.00	10,636,000	19	7.63	2.20
2010	2.47	185.00	10,696,500	20	8.03	2.30
2011	2.35	185.00	10,824,250	20	8.42	2.40
2012	2.23	185.00	10,967,333	20	8.60	2.53
2013	2.17	190.00	11,191,000	21	9.00	2.65
2014	1.91	190.00	10,950,667	21	9.50	3.00

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE y EMPAGUA, 2016

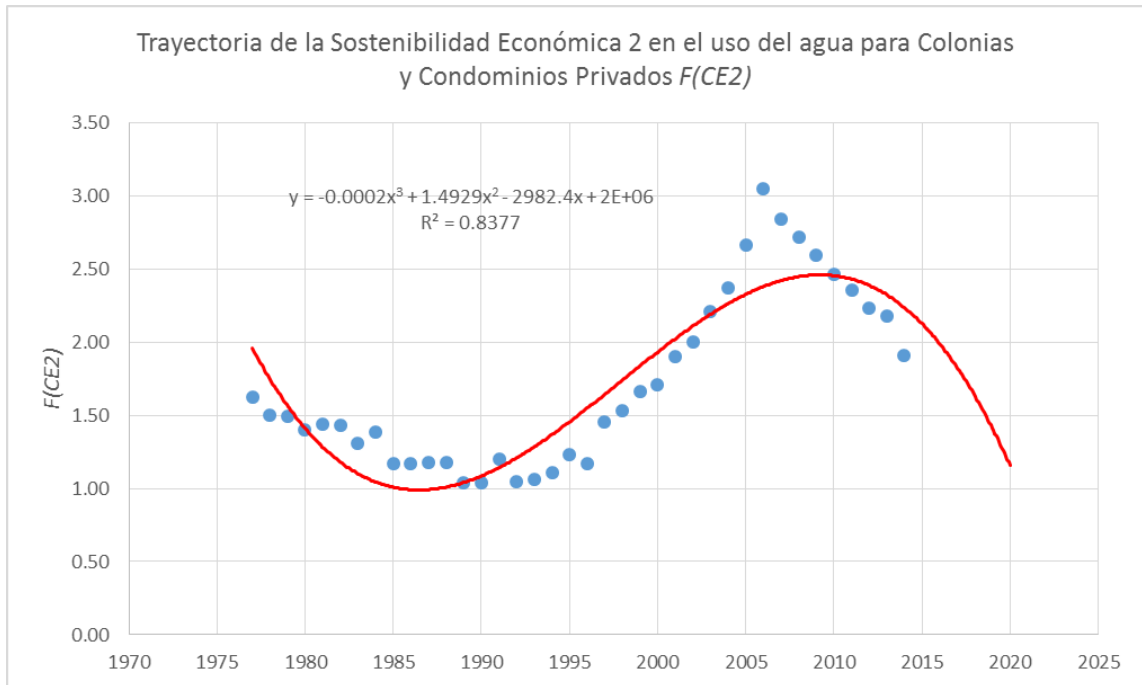


Figura 87. Trayectoria de la sostenibilidad económica.2 Fuente elaboración propia, 2016

Y el modelo matemático que describe este comportamiento es:

$$F(CE2) = 1.5430 + 0.0186(Cap) - 9.00E^{-10}(Ao) + 0.00487(z2) - 0.1145(Xrpv) - 0.7252(Cp2)$$

Tabla 175. Resumen estadístico de ajuste del modelo F (CE2)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99266286637771
Coefficiente de determinación $R^2$	0.98537956628521
$R^2$ ajustado	0.98309512351728
Error típico	0.07654428177080
Observaciones	38

Fuente: elaboración propia, Excel, Microsoft 2013

#### 4.6.7 Índice de criterio económico 3 f (CE3)

Debido a que el agua extraída en la cuenca interna del sistema ciudad por parte del sector privado, para usos de producción y esta supera a la entregada por el sector público (EMPAGUA), debe considerarse que dentro del costo del agua extraída empresarial se incluya un porcentaje para inversión en zonas de recarga hídrica, como parte de su responsabilidad social empresarial. = F (CE3)

El objetivo de este criterio de sostenibilidad es determinar qué tan sostenible es la operación del uso del agua en la industria, y específicamente la utilizada para producir, desde aquellos procesos que incorporan agua a su producto, hasta los que la requieren como su propia materia prima, tales como el embotellado de agua pura para la venta, que es a la que se le dedicara la atención para este análisis, y se propone la siguiente relación:

$$F (CE3) = (Pv/m^3) / (Cpv)$$

$$Pv/m^3 = \text{Precio de venta por vender } 1 \text{ m}^3 \text{ de H}_2\text{O embotellada en Q. / m}^3$$

$$Pv/m^3 = 2000 * Pv$$

$$Pv = \text{Precio de venta de 1 Botella de 500 ml en Q. / unid.}$$

$$Cpv = \text{Costo de } 1 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O empacado en el punto de venta en Q. / m}^3$$

$$Cpv = Cp3 + Cptb + Cemp + Cmo + Cdist$$

$$Cp3 = \text{Costo de extracción de } 1 \text{ m}^3 \text{ de H}_2\text{O en las empresas en Q. / m}^3$$

$$Cptb = \text{Costo de potabilización del agua en Q. / m}^3$$

$$Cptb = 0.25 * Cp3$$

$$Cemp = \text{Costo del empaque en Q. / m}^3$$

$$Cemp = (Cemb / 500) * 1000 * 1000$$

$$Cemb = \text{Costo de un envase PET de 500 ml en Q. / envase}$$

$$Cmo = \text{Costo de la mano de obra en Q. / m}^3 = 0.10 * Cemp$$

$$Cdist = \text{Costo de distribución en Q. / m}^3 = 0.05 * Cemp$$

Tabla 176. Resumen de variables para la modelación de F (CE3)

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y
Año	Cp3	Cptb	Cemp	Cmo	Cdist	Cemb	Cpv	Pv	Pv/m3	F(CE3)
1977	0.28	0.070	3,200.00	320.00	160.00	1.60	3,680.35	2.75	5,500.00	1.49
1978	0.28	0.070	3,000.00	300.00	150.00	1.50	3,450.35	2.80	5,600.00	1.62
1979	0.29	0.073	2,900.00	290.00	145.00	1.45	3,335.36	2.90	5,800.00	1.74
1980	0.29	0.073	2,800.00	280.00	140.00	1.40	3,220.36	2.90	5,800.00	1.80
1981	0.3	0.075	2,700.00	270.00	135.00	1.35	3,105.38	3.00	6,000.00	1.93
1982	0.3	0.075	2,700.00	270.00	135.00	1.35	3,105.38	3.00	6,000.00	1.93
1983	0.31	0.078	2,600.00	260.00	130.00	1.30	2,990.39	3.10	6,200.00	2.07
1984	0.31	0.078	2,600.00	260.00	130.00	1.30	2,990.39	3.10	6,200.00	2.07
1985	0.32	0.080	2,500.00	250.00	125.00	1.25	2,875.40	3.25	6,500.00	2.26
1986	0.32	0.080	2,500.00	250.00	125.00	1.25	2,875.40	3.25	6,500.00	2.26
1987	0.33	0.083	2,400.00	240.00	120.00	1.20	2,760.41	3.30	6,600.00	2.39
1988	0.33	0.083	2,400.00	240.00	120.00	1.20	2,760.41	3.30	6,600.00	2.39
1989	0.34	0.085	2,200.00	220.00	110.00	1.10	2,530.43	3.40	6,800.00	2.69
1990	0.34	0.085	2,200.00	220.00	110.00	1.10	2,530.43	3.40	6,800.00	2.69
1991	0.35	0.088	2,100.00	210.00	105.00	1.05	2,415.44	3.50	7,000.00	2.90
1992	0.35	0.088	2,100.00	210.00	105.00	1.05	2,415.44	3.50	7,000.00	2.90
1993	0.37	0.093	1,960.00	196.00	98.00	0.98	2,254.46	3.55	7,100.00	3.15
1994	0.37	0.093	1,840.00	184.00	92.00	0.92	2,116.46	3.55	7,100.00	3.35
1995	0.38	0.095	1,700.00	170.00	85.00	0.85	1,955.48	3.60	7,200.00	3.68
1996	0.38	0.095	1,500.00	150.00	75.00	0.75	1,725.48	3.60	7,200.00	4.17
1997	0.39	0.098	1,460.00	146.00	73.00	0.73	1,679.49	3.70	7,400.00	4.41
1998	0.39	0.098	1,400.00	140.00	70.00	0.70	1,610.49	3.70	7,400.00	4.59
1999	0.40	0.100	1,300.00	130.00	65.00	0.65	1,495.50	3.75	7,500.00	5.02
2000	0.40	0.100	1,240.00	124.00	62.00	0.62	1,426.50	3.75	7,500.00	5.26
2001	0.41	0.103	1,180.00	118.00	59.00	0.59	1,357.51	3.80	7,600.00	5.60
2002	0.41	0.103	1,160.00	116.00	58.00	0.58	1,334.51	3.80	7,600.00	5.69
2003	0.41	0.103	1,140.00	114.00	57.00	0.57	1,311.51	3.90	7,800.00	5.95
2004	0.43	0.108	1,100.00	110.00	55.00	0.55	1,265.54	3.90	7,800.00	6.16
2005	0.43	0.108	1,060.00	106.00	53.00	0.53	1,219.54	3.95	7,900.00	6.48
2006	0.44	0.110	1,020.00	102.00	51.00	0.51	1,173.55	3.95	7,900.00	6.73
2007	0.44	0.110	1,000.00	100.00	50.00	0.50	1,150.55	4.00	8,000.00	6.95
2008	0.45	0.113	980.00	98.00	49.00	0.49	1,127.56	4.00	8,000.00	7.09
2009	0.45	0.113	960.00	96.00	48.00	0.48	1,104.56	4.09	8,183.33	7.41
2010	0.46	0.115	920.00	92.00	46.00	0.46	1,058.58	4.10	8,200.00	7.75
2011	0.47	0.118	900.00	90.00	45.00	0.45	1,035.59	4.20	8,400.00	8.11
2012	0.47	0.118	860.00	86.00	43.00	0.43	989.59	4.20	8,400.00	8.49
2013	0.48	0.120	840.00	84.00	42.00	0.42	966.60	4.25	8,500.00	8.79
2014	0.49	0.123	800.00	80.00	40.00	0.40	920.61	4.25	8,500.00	9.23

Fuente: Elaboración propia, con datos de Producción más limpia. 2016

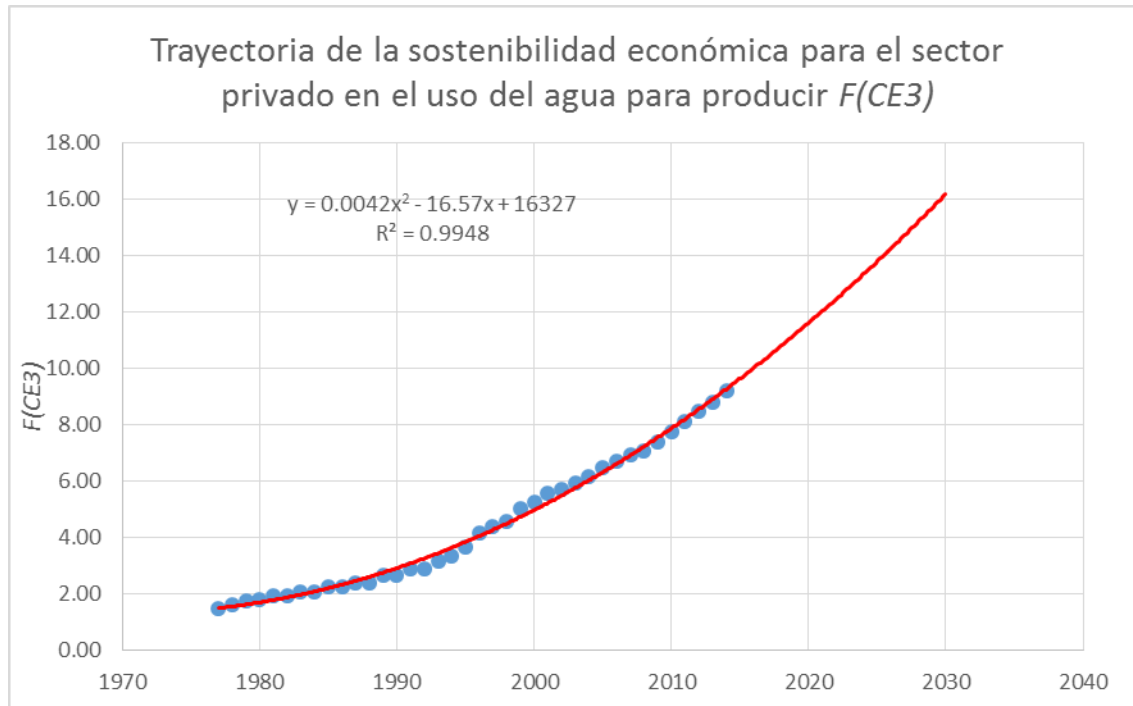


Figura 88. Trayectoria de la sostenibilidad económica.<sup>3</sup> Fuente elaboración propia, 2016

Y el modelo matemático que describe este comportamiento es:

$$F(CE3) = 0.0237 + 1.18e-9(Pv/m3)^2 + \frac{(Pv/m3)}{C_{pv} - 0.35 C_{emb}} - 0.228 C_{p3}$$

Y en resumen el grado de ajuste es:

$$R^2 = 0.9999999$$

$$\text{Error medio cuadrado} = 0.0000058317464$$

$$\text{Error medio absoluto} = 0.0018741105$$

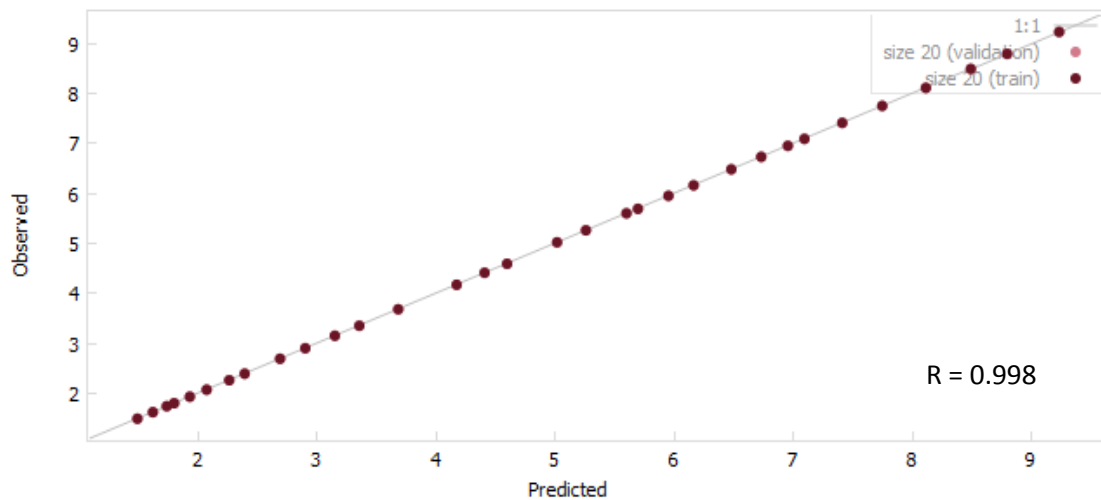


Figura 89. Ajuste del modelo, entre datos observados y datos modelados. Fuente elaboración propia, 2016

#### 4.6.8 Índice total de la componente económica $f(CE1, CE2, CE3)$

Ahora, que ya se conocen los tres modelos matemáticos, que describen el comportamiento económico del agua de los sectores que hacen uso del recurso en la cuenca urbana de ciudad Guatemala, la pregunta que surge es: ¿qué tipo de relación mantienen estos tres sectores dentro de la cuenca?

Para responder adecuadamente esta pregunta se hará uso del primer criterio de sostenibilidad ambiental F (CA1) y el segundo económico F (CE2), en los cuales se determina el caudal hídrico que ha extraído del subsuelo cada sector.

La finalidad primordial de este análisis, es determinar qué sector ha hecho más uso del recurso hídrico a través del tiempo, y a partir de esto definir qué componente predomina e influye más sobre los sectores involucrados y de qué manera.

A continuación, se precede a tabular, los diferentes valores de caudales extraídos de cada sector en m<sup>3</sup>/s, y se precede a graficarlos para observar su tendencia.

Tabla 177. *Volúmenes de agua extraídos del subsuelo en la cuenca urbana.*

	<b>p1</b> EMPAGUA	<b>p2</b> COLONIAS	<b>p3</b> SECTOR PRIV	<b>p</b> TOTAL
año	Agua Subterránea extraída por el Sector Público EMPAGUA en m <sup>3</sup> /seg	Agua Subterránea extraída por el Sector Privado para Colonias y Condominios en m <sup>3</sup> /seg	Agua Subterránea extraída por el sector privado para producir en m <sup>3</sup> /seg.	Total de agua subterránea extraída de toda la cuenca de la ciudad en m <sup>3</sup> /seg
1977	2.090	0.110	2.929	5.129
1978	2.116	0.112	2.910	5.138
1979	2.155	0.138	2.832	5.126
1980	2.197	0.167	2.882	5.246
1981	2.291	0.199	2.828	5.318
1982	2.582	0.256	2.845	5.683
1983	2.547	0.283	2.847	5.677
1984	2.554	0.314	2.866	5.733
1985	2.599	0.321	2.823	5.744
1986	2.601	0.351	2.601	5.553
1987	2.747	0.372	2.678	5.797
1988	2.883	0.426	2.702	6.011
1989	3.016	0.446	2.710	6.171
1990	3.125	0.501	2.764	6.390
1991	2.910	0.468	2.769	6.148
1992	2.953	0.515	2.765	6.233
1993	3.177	0.554	2.836	6.568
1994	3.138	0.547	2.833	6.518
1995	3.461	0.644	2.943	7.048
1996	3.464	0.652	2.959	7.075
1997	3.465	0.652	3.225	7.342
1998	3.407	0.641	3.081	7.129
1999	3.567	0.713	3.091	7.371
2000	3.618	0.724	3.306	7.648
2001	3.944	0.789	4.049	8.782
2002	3.978	0.844	3.268	8.090
2003	3.925	0.841	3.680	8.447
2004	4.022	0.862	3.367	8.251
2005	3.989	0.861	3.752	8.603
2006	4.138	0.947	3.640	8.725
2007	4.146	0.951	3.597	8.695
2008	4.171	0.967	3.501	8.639
2009	4.103	0.951	3.437	8.491
2010	4.127	1.008	3.457	8.592
2011	4.176	1.031	3.472	8.679
2012	4.231	1.045	3.780	9.056
2013	4.318	1.133	4.041	9.492
2014	4.225	1.109	4.768	10.102

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE, EMPAGUA y Producción más limpia. 2016



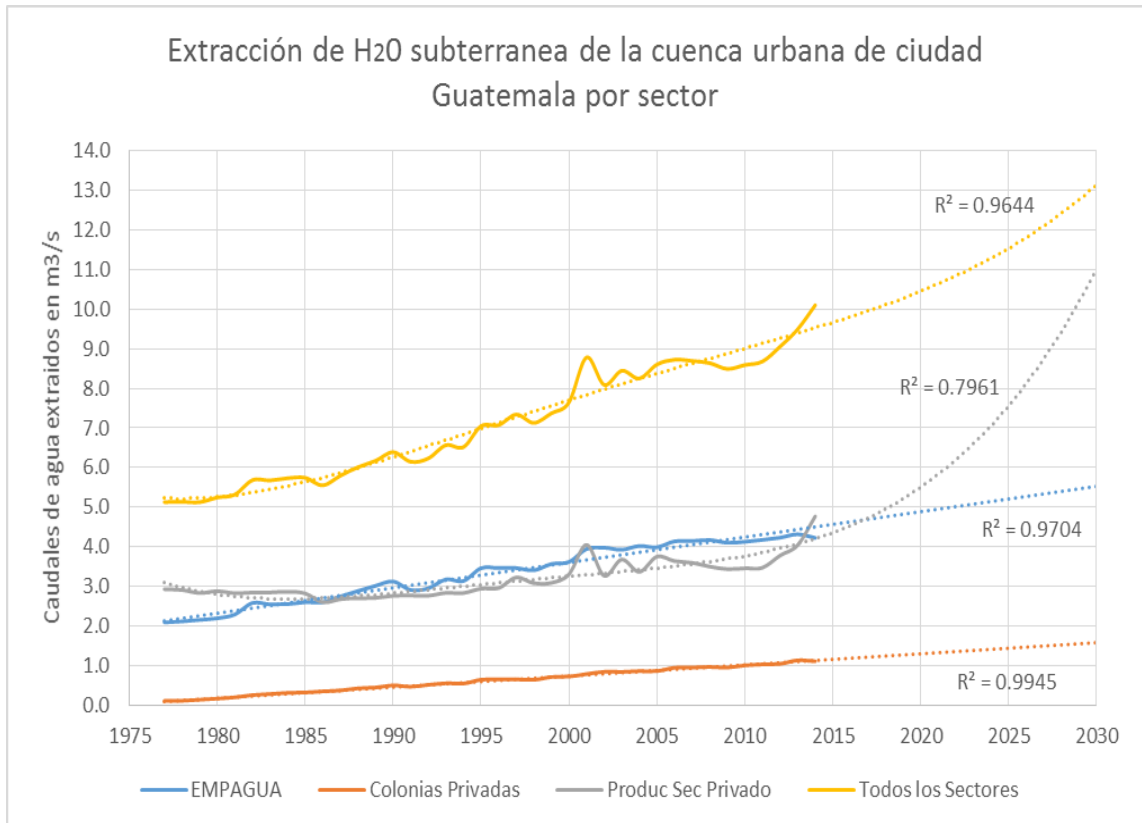


Figura 90. Trayectoria del caudal subterráneo extraído en ciudad Guatemala. Fuente elaboración propia, 2016

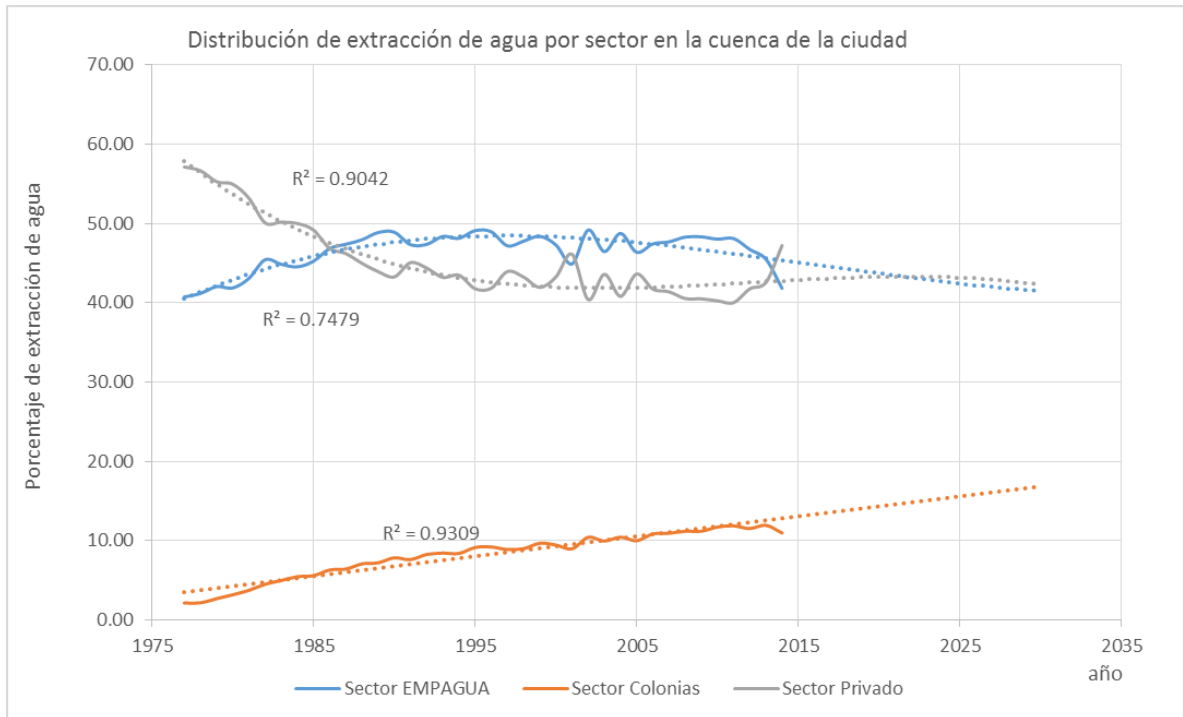
Esta grafica es reveladora, puesto de alguna manera muestra la tendencia que cada sector ha hecho uso del recurso hídrico, y sobre todo el caudal total que se está extrayendo del subsuelo, y más aún que se está haciendo para preservar este recurso y que planes hay para mantener la sostenibilidad hídrica de la cuenca a sabiendas que la variabilidad climática ha impuesto un régimen de lluvias al descenso.

Asumiendo que el caudal total extraído en la cuenca de la ciudad de Guatemala, representa el 100 % de toda el agua extraída del subsuelo, la tabla anterior se puede transformar en porcentajes y averiguar qué sector extrae más agua y que tendencia marca.

Tabla 178. *Distribución porcentual del agua extraída por sector*

Año	w1	w2	w3
	% de agua Subterránea extraída por el Sector Público EMPAGUA en m3/seg	% de agua Subterránea extraída por el Sector de Colonias y Condominios en m3/seg	% de agua Subterránea extraída por el sector privado para producir en m3/seg.
1977	40.74	2.14	57.12
1978	41.18	2.17	56.65
1979	42.04	2.69	55.27
1980	41.87	3.19	54.94
1981	43.07	3.75	53.18
1982	45.42	4.51	50.07
1983	44.85	4.98	50.17
1984	44.53	5.47	49.99
1985	45.24	5.59	49.17
1986	46.84	6.31	46.85
1987	47.38	6.42	46.20
1988	47.95	7.08	44.97
1989	48.86	7.22	43.93
1990	48.89	7.85	43.26
1991	47.33	7.62	45.06
1992	47.36	8.26	44.38
1993	48.36	8.44	43.20
1994	48.13	8.40	43.47
1995	49.09	9.14	41.77
1996	48.95	9.21	41.83
1997	47.18	8.88	43.94
1998	47.77	8.99	43.24
1999	48.38	9.68	41.94
2000	47.30	9.46	43.24
2001	44.90	8.98	46.12
2002	49.16	10.43	40.41
2003	46.46	9.96	43.58
2004	48.74	10.45	40.81
2005	46.36	10.01	43.63
2006	47.42	10.86	41.72
2007	47.68	10.94	41.39
2008	48.28	11.19	40.53
2009	48.32	11.19	40.49
2010	48.02	11.72	40.25
2011	48.10	11.88	40.02
2012	46.72	11.54	41.75
2013	45.48	11.94	42.58
2014	41.81	10.98	47.21

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE, EMPAGUA y Producción más limpia. 2016



*Figura 91.* Tendencia de la extracción de agua por sector. Fuente elaboración propia, 2016

Como puede observarse, el sector público representado por EMPAGUA, es el sector que mayor agua ha extraído del subsuelo, hasta el año 2013, en su afán de abastecer la alta demanda, pero su componente económica se lo ha impedido.

Mientras tanto el sector privado ha requerido más agua cada año, para su producción, situación nada sorprendente en un sistema de libre comercio y con una legislación que no restringe ni limita el recurso, lo que si es cierto es que cada día cuesta más dinero extraer el agua, puesto que los niveles freáticos se han estado profundizando, y el sector que tiene mayores recursos económicos para invertir, mantener y optimizar el recurso, será el que se beneficie en el futura cercano y por supuesto es el sector privado que utiliza el agua para producción, pues logra recuperar su inversión con la venta del producto.

Por otro lado, el crecimiento de la población, ha obligado al surgimiento de nuevas colonias y sobre todo los condominios, que en poca área tienden a albergar un gran número de familias con cierto poder adquisitivos que demandan más agua, tal y como lo indica la tendencia de este sector.

Para reforzar los comentarios anteriormente dichos se procede a presentar un resumen del precio del agua comercializada en ciudad Guatemala, por diferentes sectores así:

Tabla 179. *Estadística del precio del agua al año 2014*

No.	Precio del agua pagado por diferentes sectores puesto en:	Q. / m <sup>3</sup>
1	Extracción por el sector privado, para producir.	0.49
2	Extracción por el sector colonias y condominios.	3.00
3	Extracción por el sector publico (EMPAGUA)	3.82
4	Cannon de agua para usuarios del sector Marginal	1.12
5	Cannon de agua para usuarios del sector Económico	1.76
6	Cannon de agua para usuarios del sector Normal	2.24
7	Cannon de agua para usuarios del sector Intermedio	4.48
8	Cannon de agua para usuarios del sector Alto consumo	5.60
9	Cannon promedio real autorizado a cobrar por EMPAGUA	4.95
10	Cannon para un usuario de colonias y condominios privados	6.33
11	Comprado por cisiterna al pie del pozo	7.93
12	Comprado por sisterna puesta en la vivienda del cliente	26.42
13	Comprado por tonel puesto en la puerta de la vivienda	42.27
14	Comprado por garrafon en las empresas rellenadoras de colonia	265.00
15	Comprado por garrafon de la marca mejor pocisionada	688.00
16	Comprando agua envasada por botella de 500 ml	7000.00

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE, EMPAGUA y Producción más limpia. 2016

Y la trayectoria del costo de extracción de los tres sectores en estudio es:

Tabla 180. *Resumen del costo de extracción del agua por sector*

	Cp1	Cp2	Cp3
año	Costo de Extracción de un m <sup>3</sup> de agua por EMPAGUA en Q. /m <sup>3</sup>	Costo de extraer un m <sup>3</sup> de agua en las colonias y condominios Q. /m <sup>3</sup>	Costo de extracción de un m <sup>3</sup> de agua en las empresas para operar en Q. /m <sup>3</sup>
1977	0.11	0.61	0.28
1978	0.12	0.66	0.28
1979	0.13	0.66	0.29
1980	0.18	0.70	0.29
1981	0.18	0.75	0.3
1982	0.17	0.75	0.3
1983	0.17	0.82	0.31
1984	0.21	0.82	0.31
1985	0.22	0.97	0.32
1986	0.21	0.97	0.32
1987	0.23	1.10	0.33
1988	0.24	1.10	0.33
1989	0.23	1.55	0.34
1990	0.27	1.55	0.34
1991	0.41	1.75	0.35
1992	0.64	2.00	0.35
1993	0.75	2.42	0.37
1994	0.86	2.61	0.37
1995	0.82	2.61	0.38
1996	1.03	2.75	0.38
1997	1.16	2.75	0.39
1998	1.31	2.62	0.39
1999	1.58	2.50	0.4
2000	1.71	2.43	0.4
2001	1.39	2.43	0.41
2002	1.42	2.30	0.41
2003	1.58	2.15	0.41
2004	1.63	2.00	0.43
2005	2.14	1.83	0.43
2006	2.03	1.80	0.44
2007	2.42	1.92	0.44
2008	2.55	2.00	0.45
2009	2.74	2.20	0.45
2010	2.86	2.30	0.46
2011	3.19	2.40	0.47
2012	3.57	2.53	0.47
2013	3.47	2.65	0.48
2014	3.82	3.00	0.49

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE, EMPAGUA y Producción más limpia. 2016

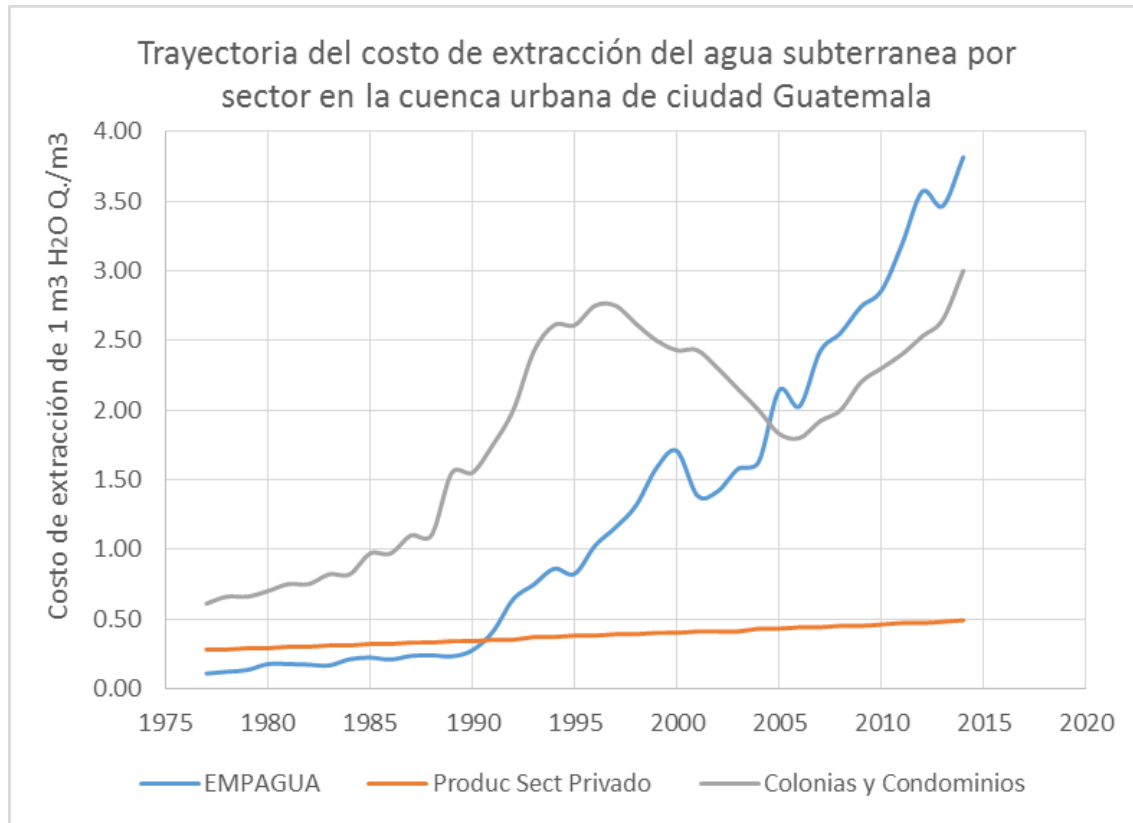


Figura 92. Tendencia del costo de extracción de agua por sector. Fuente elaboración propia con datos del INDE, EMPAGUA, Producción + limpia. 2016

Ahora retornando a encontrar una relación matemática que describa el comportamiento de estos tres sectores se procede a proponer:

$$F(CE1, CE2, CE3) = ((FCE1)^{w1}) * ((FCE2)^{w2}) * ((FCE3)^{w3}) = 1$$

Donde w1, w2, w3 son los exponentes de cada indicador y están determinados por los porcentajes (%) en forma de fracción o sea de 0 a 1 del uso del agua de cada sector, a continuación, se explica mejor en la siguiente tabla que ayudara a generar el modelo matemático que se adapta mejor a estos datos:

Tabla 181. *Principales variables para interrelacionar todos los sectores*

Año	Var. Dependiente	Variables independientes			Pesos de las variables		
	Y	X1	X2	X3	donde $\sum W_i = 1$		
	$F(CE1, CE2, CE3)$	$F(CE1)$	$F(CE2)$	$F(CE3)$	w1	w2	w3
1977	0.52	0.11	1.62	1.49	0.41	0.02	0.57
1978	0.53	0.11	1.50	1.62	0.41	0.02	0.57
1979	0.51	0.09	1.49	1.74	0.42	0.03	0.55
1980	0.50	0.08	1.40	1.80	0.42	0.03	0.55
1981	0.54	0.10	1.44	1.93	0.43	0.04	0.53
1982	0.56	0.13	1.43	1.93	0.45	0.05	0.50
1983	0.57	0.12	1.31	2.07	0.45	0.05	0.50
1984	0.55	0.11	1.39	2.07	0.45	0.05	0.50
1985	0.53	0.10	1.17	2.26	0.45	0.06	0.49
1986	0.53	0.11	1.17	2.26	0.47	0.06	0.47
1987	0.54	0.12	1.18	2.39	0.47	0.06	0.46
1988	0.53	0.12	1.18	2.39	0.48	0.07	0.45
1989	0.51	0.10	1.04	2.69	0.49	0.07	0.44
1990	0.56	0.13	1.04	2.69	0.49	0.08	0.43
1991	0.69	0.16	1.20	2.90	0.47	0.08	0.45
1992	0.82	0.24	1.05	2.90	0.47	0.08	0.44
1993	0.83	0.24	1.06	3.15	0.48	0.08	0.43
1994	1.17	0.45	1.11	3.35	0.48	0.08	0.43
1995	1.17	0.44	1.23	3.68	0.49	0.09	0.42
1996	1.23	0.44	1.17	4.17	0.49	0.09	0.42
1997	1.34	0.44	1.46	4.41	0.47	0.09	0.44
1998	1.38	0.45	1.53	4.59	0.48	0.09	0.43
1999	1.38	0.43	1.66	5.02	0.48	0.10	0.42
2000	1.46	0.44	1.71	5.26	0.47	0.09	0.43
2001	1.81	0.56	1.90	5.60	0.45	0.09	0.46
2002	1.63	0.56	2.00	5.69	0.49	0.10	0.40
2003	1.77	0.54	2.21	5.95	0.46	0.10	0.44
2004	2.11	0.84	2.37	6.16	0.49	0.10	0.41
2005	2.21	0.77	2.67	6.48	0.46	0.10	0.44
2006	2.33	0.86	3.05	6.73	0.47	0.11	0.42
2007	2.17	0.74	2.84	6.95	0.48	0.11	0.41
2008	2.15	0.75	2.71	7.09	0.48	0.11	0.41
2009	2.14	0.73	2.59	7.41	0.48	0.11	0.40
2010	2.14	0.70	2.47	7.75	0.48	0.12	0.40
2011	2.15	0.69	2.35	8.11	0.48	0.12	0.40
2012	2.21	0.66	2.23	8.49	0.47	0.12	0.42
2013	2.26	0.64	2.17	8.79	0.45	0.12	0.43
2014	2.48	0.60	1.91	9.23	0.42	0.11	0.47

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE, EMPAGUA y Producción más limpia. 2016

Y el modelo que mejor se ajusta a este grupo de datos es:

$$Y = X_1 + 0.162X_3 + \frac{X_1X_2}{X_3}$$

$$f(CE1, CE2, CE3) = F(CE1) + 0.162 * F(CE3) + \frac{F(CE1) * F(CE2)}{F(CE3)}$$

Y el resumen del ajuste de este modelo es:

Coefficiente de correlación = 0.9963

Error medio absoluto = 0.043077

Error medio cuadrático = 0.003923

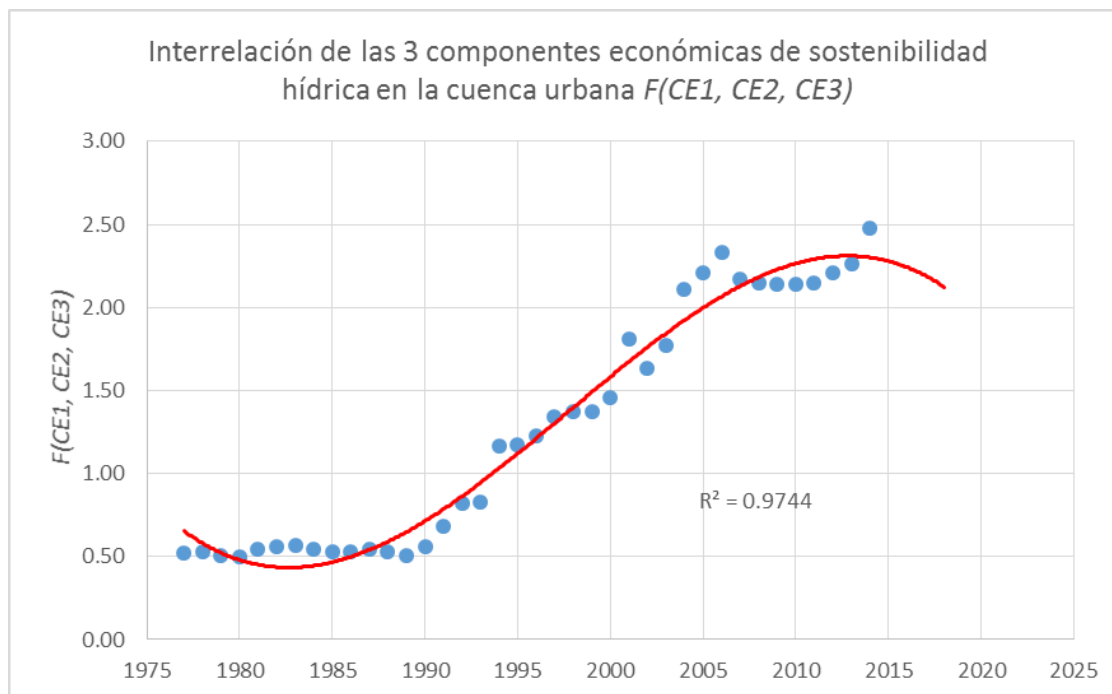


Figura 93. Tendencia de la sostenibilidad hídrica económicas. Fuente elaboración propia 2016

Como puede observarse el F (CE1) del sector EMPAGUA afecto a todo el sistema hasta el año de 1995, momento en el cual comienza el sistema de cobros por bloques crecientes. A continuación, domina el sector privado para la producción.



#### 4.6.9 Índice del criterio social 1 f (CS1)

Que la satisfacción del servicio que percibe el cliente sea igual al servicio satisfactorio dado por el proveedor = F (CS1)

Para darle vida a este criterio de sostenibilidad, fue necesario, primero que nada, definir qué significa un servicio satisfactorio desde el punto de vista del proveedor, que en este caso se refiere a EMPAGUA y durante el proceso de las entrevistas a profundidad se recopiló que según expertos de EMPAGUA, consideran que un servicio satisfactorio es aquel que se provee por lo menos, durante 12 horas continuas todos los días con un caudal mínimo de 3 L / min.

Siguiendo en la línea de este concepto, se analizó que un usuario del servicio de agua para que se sienta satisfecho, por lo menos debería de recibir como mínimo, la cantidad de agua que contrato, y estar consiente, que si consume más de lo contratado, se verá afectado con un cargo extra en su factura por el exceso de uso.

Entonces según el análisis de  $F(CE1)$ , se determinó que EMPAGUA mantiene dentro de sus tarifas autorizadas, diferentes usuarios con volúmenes de agua contratados, por tal razón para cumplir con el concepto de servicio satisfactorio para cada tipo de usuario, se procede hacer el siguiente análisis:

Tabla 182. Volúmenes de agua contratados por sector

<u>Tipo de usuario en el sector</u>	<u>Volumen Máximo (m<sup>3</sup>)</u>
Marginal	20
Económico	30
Normal	60
Intermedio	240

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

4 Hr. /día \* 3 L/min \*30 días/mes \* 60 min/ Hr \* 1 m<sup>3</sup>/1000 L = 21.6 m<sup>3</sup>/mes

6 Hr. /día \* 3 L/min \*30 días/mes \* 60 min/ Hr \* 1 m<sup>3</sup>/1000 L = 32.4 m<sup>3</sup>/mes

12 Hr. /día \* 3 L/min \*30 días/mes \* 60 min/ Hr \* 1 m<sup>3</sup>/1000 L = 64.8 m<sup>3</sup>/mes

15 Hr. /día \* 9 L/min \*30 días/mes \* 60 min/ Hr \* 1 m<sup>3</sup>/1000 L = 243 m<sup>3</sup>/mes

20 Hr. /día \* 9 L/min \*30 días/mes \* 60 min/ Hr \* 1 m<sup>3</sup>/1000 L = 324 m<sup>3</sup>/mes

Lo anterior indica que para que EMPAGUA pueda cumplir, regula las horas de servicio y los caudales entregados, Con esta información se procede a incluirla en la boleta de encuesta como una pregunta obligada, para determinar el volumen de agua recibido por el usuario (pregunta 6 de la encuesta).

En cuanto a la frecuencia de si recibe los 30 días al mes de agua se planteó una pregunta separada (pregunta 5), pero el desafío más importante de la encuesta consistió en determinar el caudal recibido, pues el usuario y principalmente el grupo femenino que es el que tiene mayor contacto con el agua, no sabe o no maneja el termino de litros por minuto, por tal razón se tomó la decisión de utilizar otro medio de medida el cual fue, el depósito de la pila, pues según se investigó este equipo que sirve para lavar la ropa, está presente en el 99 % de los hogares en ciudad Guatemala, y la pregunta que se planteo fue: En cuanto tiempo estima usted que se llena la pila cuando viene el agua? (pregunta 8). Por supuesto que previamente se estableció con fabricantes artesanales que el volumen promedio del depósito de una pila es de aproximadamente 120 litros.

Y por último para establecer a qué tipo de sector pertenece cada usuario encuestado, se le planteo la pregunta de cuánto paga mensualmente por el servicio de agua (pregunta 3), y otros casos se les pregunto cuántos metros

cúbicos tenían contratados pero el 95 % indico que no sabían. Y con esta información se logró establecer el volumen máximo contratado.

Con los datos anteriores se propone la siguiente relación matemática:

$$F(CS1) = \frac{(\text{Agua recibida})}{(\text{Agua contratada})}$$

En el mejor de los casos  $F(CS1) = 1$

En resumen, la boleta de la encuesta (ver anexo) consta de 10 preguntas directas para evitar el error en la objetividad y capturar la percepción del usuario sin ningún sesgo.

Calculo de la muestra:

Con el uso de la ecuación

$$n = \frac{N\sigma^2}{\frac{(N-1)E^2}{Z^2} + \sigma^2}$$

n = número de boletas a encuestar

N= población en estudio (cada una de las zonas de la cuenca sur),

$\sigma$  = desviación estándar, de la población que generalmente cuando no se conoce se puede asumir un valor constante de 0.50 pero tiene el problema que reproduce el valor más alto de la muestra en este caso se asume un valor de 0.25, para conservar un valor conservador de la muestra.

Z = Es el valor critico encontrado en la tabla de distribución normal, tomado para un nivel de confianza elegido por el investigador, por ejemplo, para un nivel de confianza del 95 % (es el más usualmente tomado) el valor Z = 1.96 pero si se toma el 99 % de confianza el valor de Z = 2.5

E = limite aceptable de error muestral que generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1 % (0.01) y 9 % (0.09),

valor que queda a criterio del investigador, para el presente caso se tomara un 5% (0.05)

Con los datos anteriores se obtienen los datos:

Tabla 183. Parámetros estadísticos de la muestra

$\sigma =$	0.250	$\sigma^2 =$	0.0625
$Z =$	1.96	$Z^2 =$	3.8416
$E =$	0.05	$E^2 =$	0.0025
$\sigma * Z =$	0.49	$\sigma^2 Z^2 =$	0.2401

Fuente: Elaboración propia con datos propuestos

Debido a que no fue posible a tener acceso a los usuarios de las zonas de estudio se procedió a calcularlos por medio de la población base proporcionado por el INE al 2016. Y para el número de viviendas se usó el valor de 4 personas por familia, también recomendado por el INE.

Tabla 184. *Determinación de boletas a encuestar por zonas de la cuenca sur.*

Zonas	personas	Hogares (N)	$N * \sigma^2$	$E^2 (N - 1)$	$(E^2 (N - 1)) / Z^2$	$((E^2 (N - 1)) / Z^2) + \sigma^2$	n
11	42715	10679	667.427	26.695	6.949	7.011	95
12	49768	12442	777.630	31.103	8.096	8.159	95
13	28787	7197	449.797	17.989	4.683	4.745	95
14	19729	4932	308.266	12.328	3.209	3.272	94
21	79996	19999	1249.938	49.995	13.014	13.077	96

Fuente: Elaboración propia con datos del INE

Tabla 185. *Resumen del número de boletas por zona*

Zonas	n
11	95
12	95
13	95
14	94
21	96
Total	475

Fuente: Elaboración propia, 2016

Calculo de la muestra:

Tabla 186. *Determinación de boletas a encuestar por zonas de la cuenca sur.*

Zonas	personas	Hogares (N)	$N*\sigma^2$	$E^2(N-1)$	$(E^2(N-1))/Z^2$	$((E^2(N-1))/Z^2)+\sigma^2$	n
11	42715	10679	667.427	26.695	6.949	7.011	95
12	49768	12442	777.630	31.103	8.096	8.159	95
13	28787	7197	449.797	17.989	4.683	4.745	95
14	19729	4932	308.266	12.328	3.209	3.272	94
21	79996	19999	1249.938	49.995	13.014	13.077	96

Fuente: Elaboración propia con datos del INE

n = número de boletas a encuestar

A continuación, se procedió a levantar la encuesta y los resultados son:

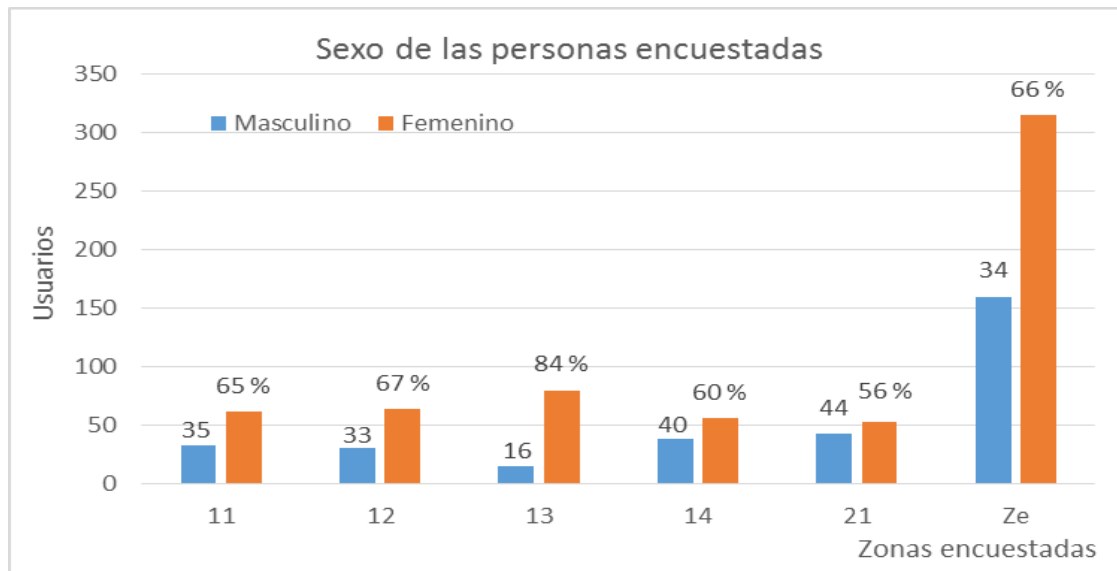


Figura 94. Resumen condensado de la pregunta 1. Fuente: Elaboración propia 2016

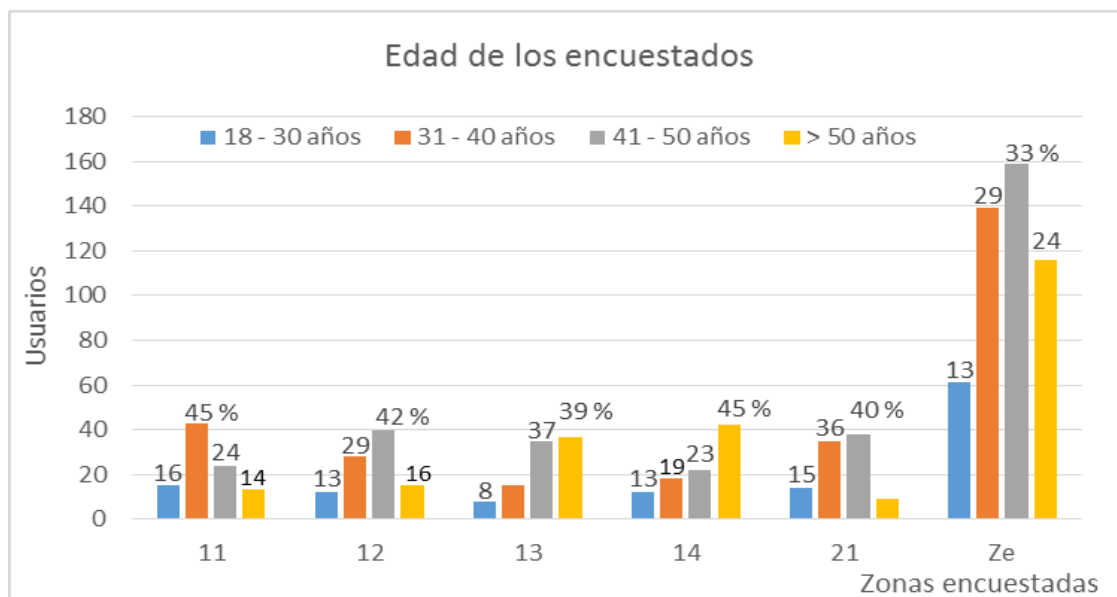


Figura 95. Resumen condensado de la pregunta 2. Fuente: Elaboración propia 2016

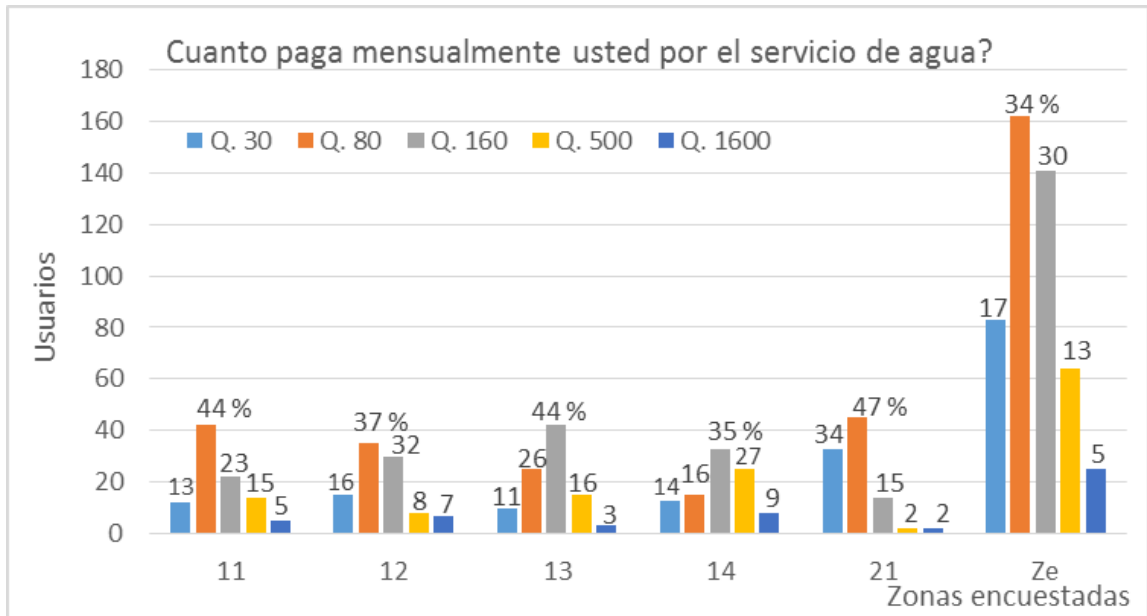


Figura 96. Resumen condensado de la pregunta 3. Fuente: Elaboración propia 2016

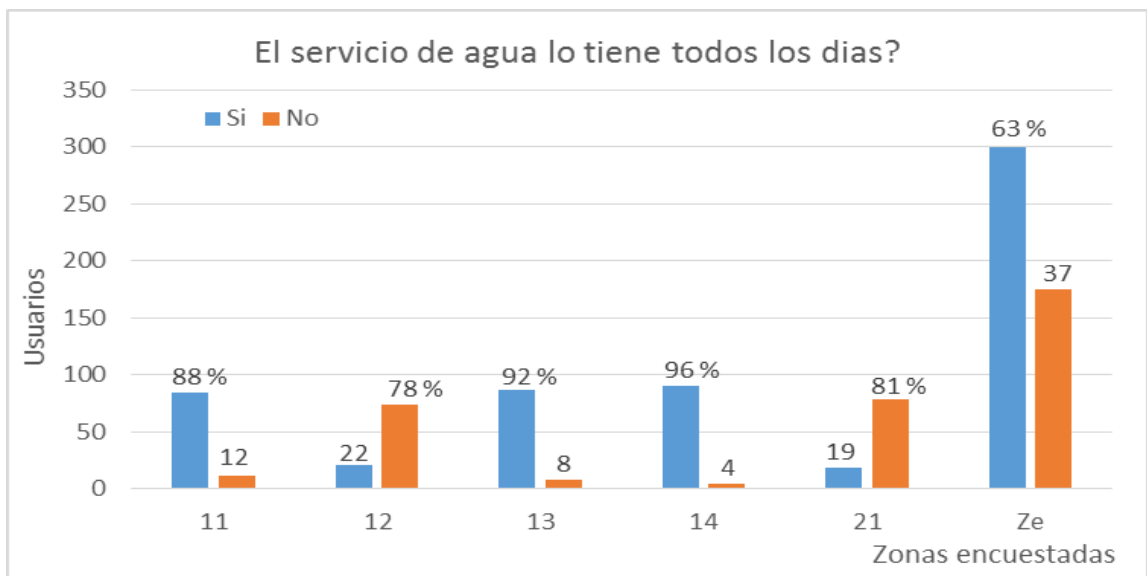


Figura 97. Resumen condensado de la pregunta 4. Fuente: Elaboración propia 2016

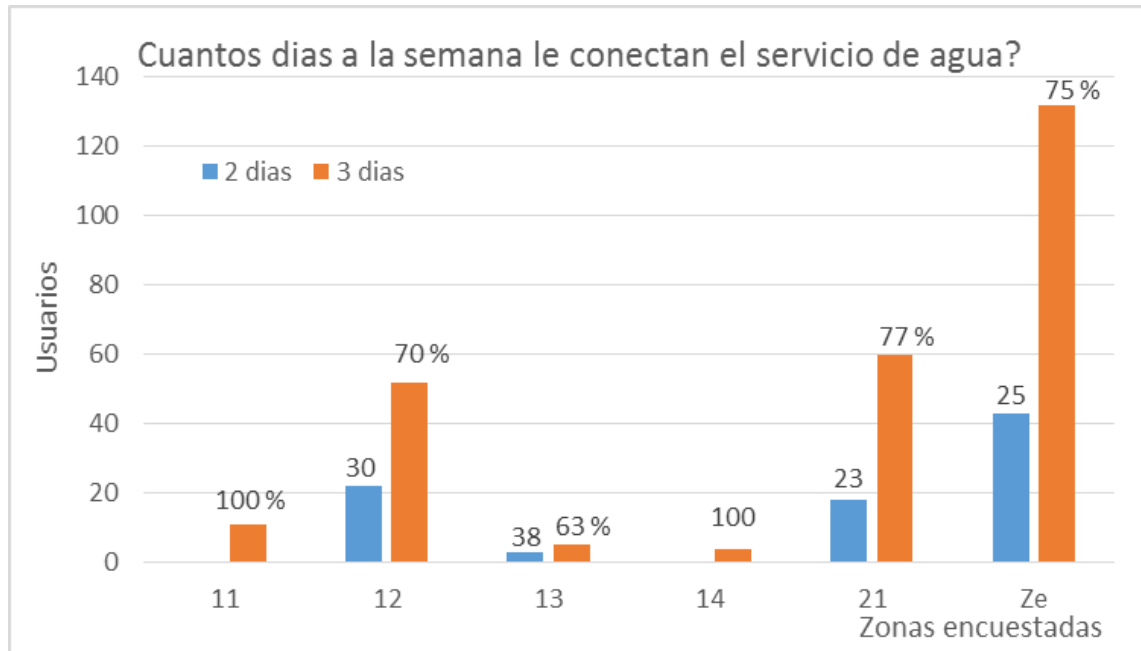


Figura 98. Resumen condensado de la pregunta 5. Fuente: Elaboración propia 2016

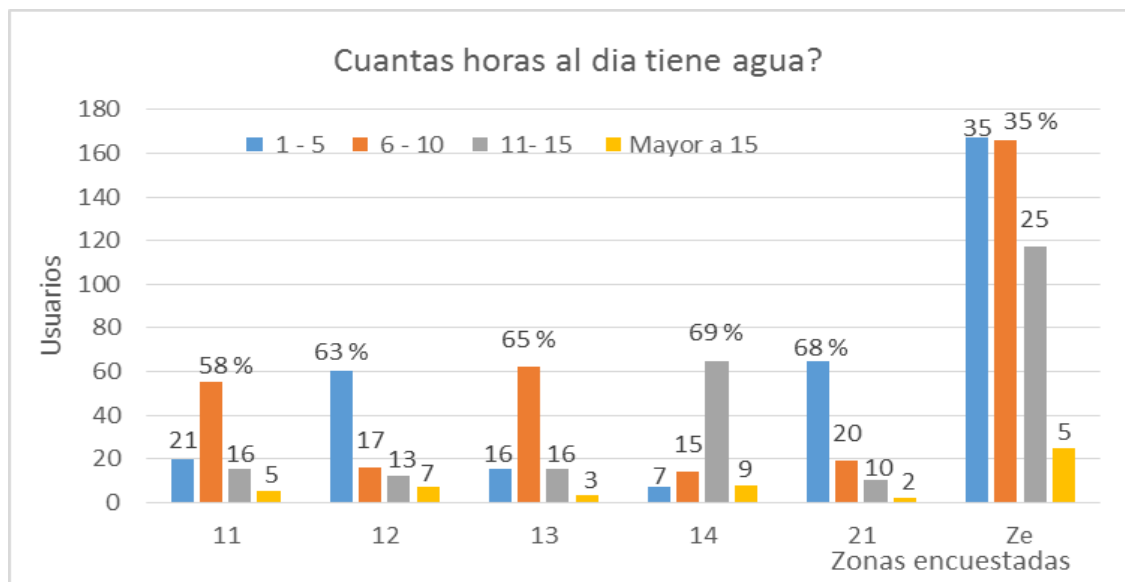


Figura 99. Resumen condensado de la pregunta 6. Fuente: Elaboración propia 2016



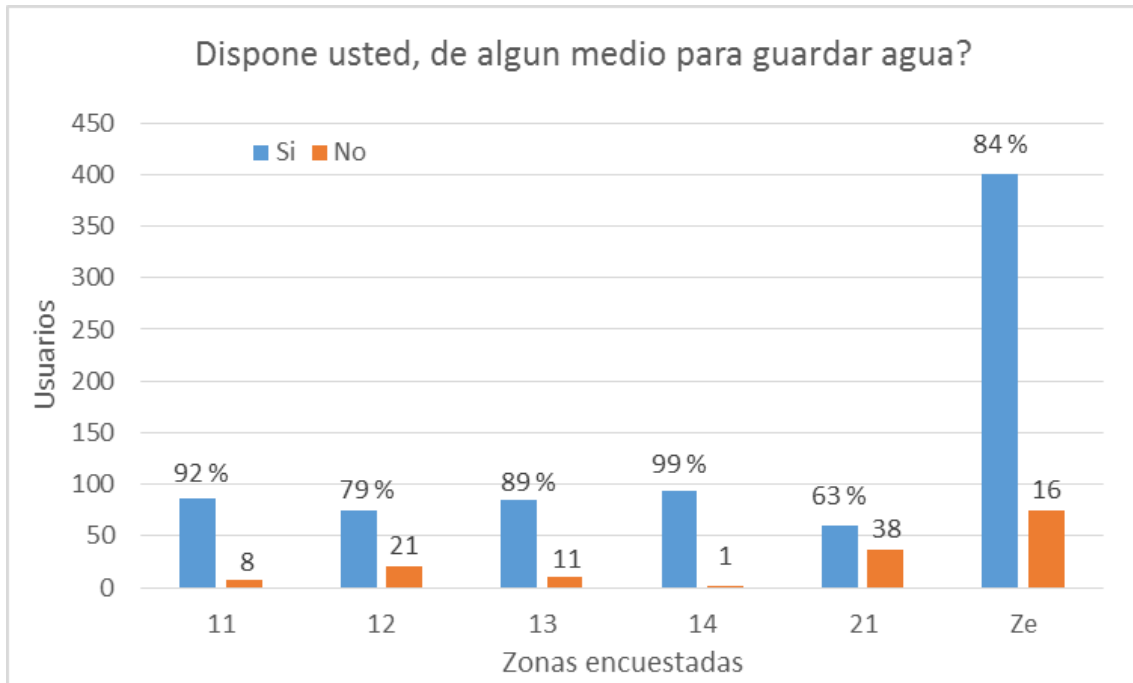


Figura 100. Resumen condensado de la pregunta 7. Fuente: Elaboración propia 2016

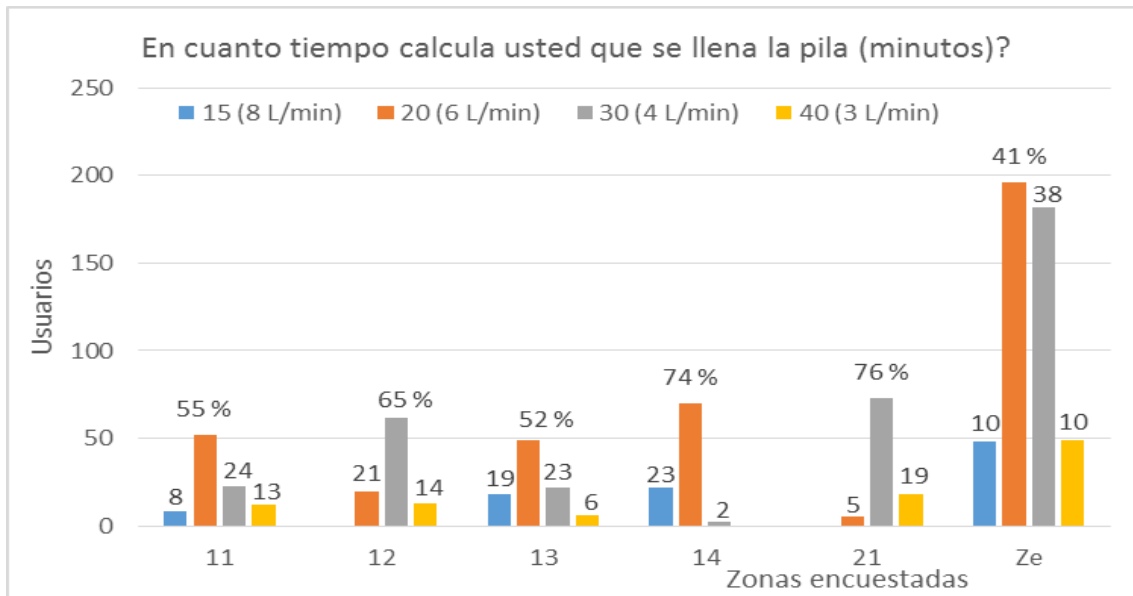


Figura 101. Resumen condensado de la pregunta 8. Fuente: Elaboración propia 2016

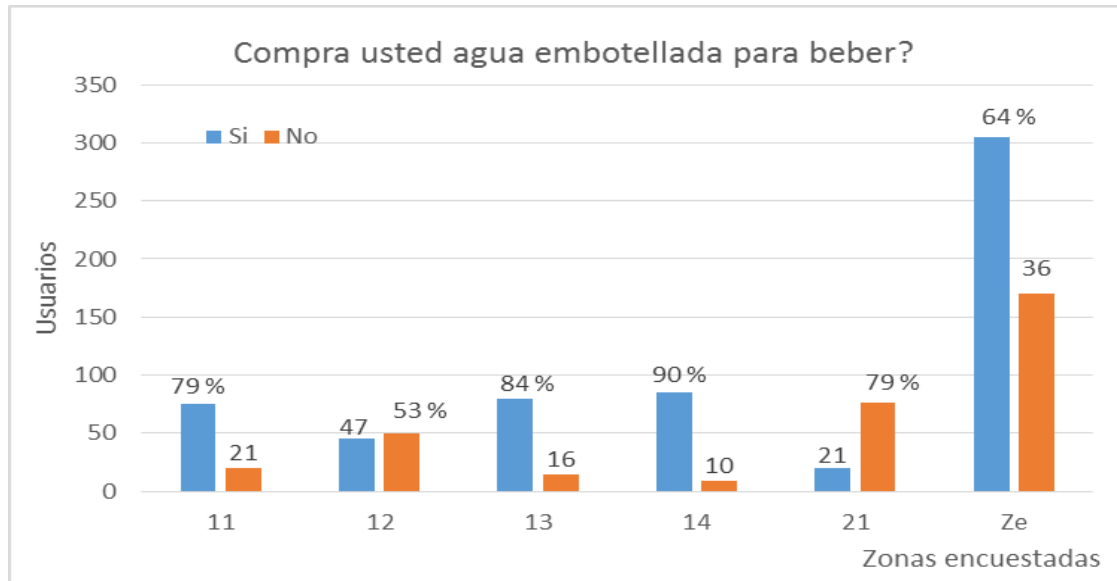


Figura 105. Resumen condensado de la pregunta 9. Fuente: Elaboración propia 2016

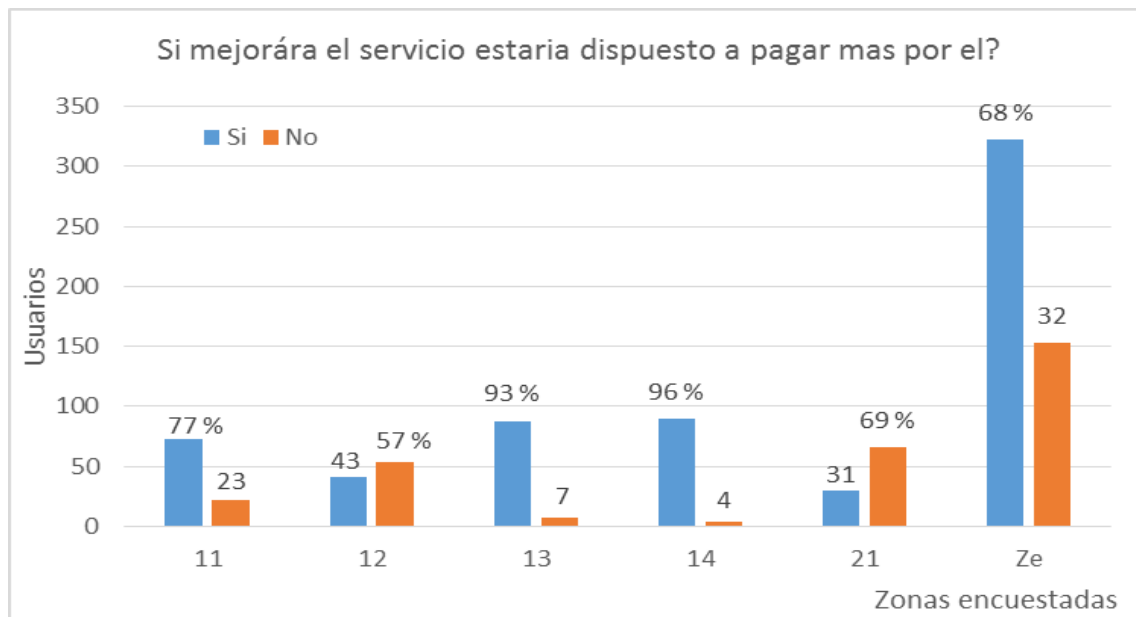


Figura 106. Resumen condensado de la pregunta 10. Fuente: Elaboración propia 2016

## Resumen de hallazgos de la encuesta:

1. El sexo de las personas encuestadas en la zona de estudio fue de un 66 % femenino, o sea 2/3 partes, esto es muy importante pues este grupo es el principal usuario del agua, pues conoce y sufre el servicio del agua.
2. En cuanto a la edad de las personas encuestadas el 33 % de ellas estaba comprendida entre los 41 a 50 años, un 24 % mayores a 50 años, lo que quiere decir que estos dos grupos juntos representan más del 57 % de la encuesta y estas son personas mayores de 41 años, conocedoras del tema y sobre todo personas locales, lo cual les da gran representación a sus comentarios.
3. Con respecto a la pregunta cuánto paga mensualmente usted por el servicio de agua? Fue crucial para clasificar el tipo de servicio contratado, y cumplió su cometido.
4. La pregunta de si el servicio de agua lo tiene todos los días? Permitió evidenciar que las zonas 11, 13 y 14 mantienen un servicio de agua diaria por encima del 88 % y que las zonas 12 y 21 manifestaron tener una situación contrario pues en promedio el 80 % no lo tiene. Dicho hallazgo no es una novedad pues estas zonas estan clasificadas como de vivienda popular.
5. El resumen de la pregunta 5 que fue formulada al grupo de personas que indicaron no recibir el agua diariamente y que fue básicamente, ¿cuántos días a la semana le conectan el servicio de agua? Fue en un 75 % 3 veces, y el restante 2 veces para toda la zona de estudio. Ahora en cuanto a zonas la 12 y 21 reportaron por arriba del 70 % 3 veces por semana.

6. En cuanto a la pregunta 6 sobre cuantas horas al día tiene agua? La cual se consideró como una de las preguntas cruciales índico que las zonas 12 y 21 mantenían al menos 5 horas continuas de agua por arriba del 63 % de los encuestados en esas zonas, las zonas 11 y 13 reportaron tener por arriba del 60 % 10 horas de abastecimiento de agua y el 69 % de los encuestados en la zona 14 reportaron tener agua 15 horas diarias.

7. En cuanto a la pregunta 7 que dice dispone de algún medio para guardar agua? La respuesta más frecuente por arriba del 80 % de los encuestados en las zonas 11, 12, 13 y 14 fue que sí y solamente la zona 21 reporto un 63 % probablemente por la escasa capacidad económica de la zona.

8. Con respecto a la pregunta 8: En cuanto tiempo calcula usted que se llena la pila (minutos)? La respuesta fue más variada pues las zonas 11 y 13 reportaron que el 53 % de los encuestados se llenaba en 20 minutos, equivalente a 6 litros por minuto. En cambio, las zonas 12 y 21 reportaron en promedio el 70 % de los encuestados que se llenaba en 30 minutos equivalente a 4 litros por minuto. Y por último la zona 14 reporto que el 75 % de los encuestados llenarse la pila en 20 minutos equivalente a 6 litros por minuto.

9. El resumen de la pregunta 9: compra agua embotellada para beber? Los resultados fueron que al menos en un 80 % de los encuestados de las zonas 11, 13 y 14 si lo compran, las zonas 12 en un 47 % y la zona 21 solamente en un 21 %.

Esta pregunta es interesante, pues a pesar de que existe una reglamentación legal de potabilizar el agua para consumo humano, la población en general no confía en la calidad del agua.

10. En cuanto a la respuesta de la pregunta 10: Si mejorara el servicio estaría dispuesto a pagar más por el servicio? Demostró que los usuarios de las zonas 11, 13 y 14 en un 85 % están dispuestos a pagar más por el servicio de agua, lo cual demuestra que están más conscientes del valor del agua, por el contrario, las zonas más populares todavía creen en un gobierno más proteccionista y están más reacios a pagar por el agua.

Un resumen de los tres principales criterios de cada zona se presenta a continuación:

Tabla 187. Resumen de la sostenibilidad social hídrica por zonas.

Zona	F (CS1)	Hra	Fr	H2Or	Qr	Vc
	F (CS1) = [(Agua recibida)] / (agua Contratada) en el mejor de los casos F (CS1) = 1	Horas abastecidas de agua según percepción del cliente en encuesta realizada en	Fr = frecuencia de cuantos días recibe agua a la semana en (días)	Caudal recibido por el cliente según percepción en encuesta realizada en (L/ día)	Qr = Caudal recibido m3/mes	Vc = Volumen de agua contratado en m3
11	0.90	5	7	6	54	60
11	1.03	10	3	4	31	30
11	0.39	5	2	3	8	20
12	0.90	5	7	3	27	30
12	0.77	10	3	6	46	60
12	0.93	12	2	3	19	20
13	0.90	5	7	6	54	60
13	1.03	10	3	4	31	30
13	1.03	15	2	8	62	60
14	0.90	5	7	6	54	60
14	1.03	10	3	8	62	60
14	1.03	15	2	4	31	30
21	0.60	5	7	4	36	60
21	0.77	10	3	3	23	30
21	0.77	15	2	6	46	60
Ze	0.90	5	7	6	54	60
Ze	0.77	10	3	3	23	30
Ze	0.77	15	2	6	46	60

Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta 2016

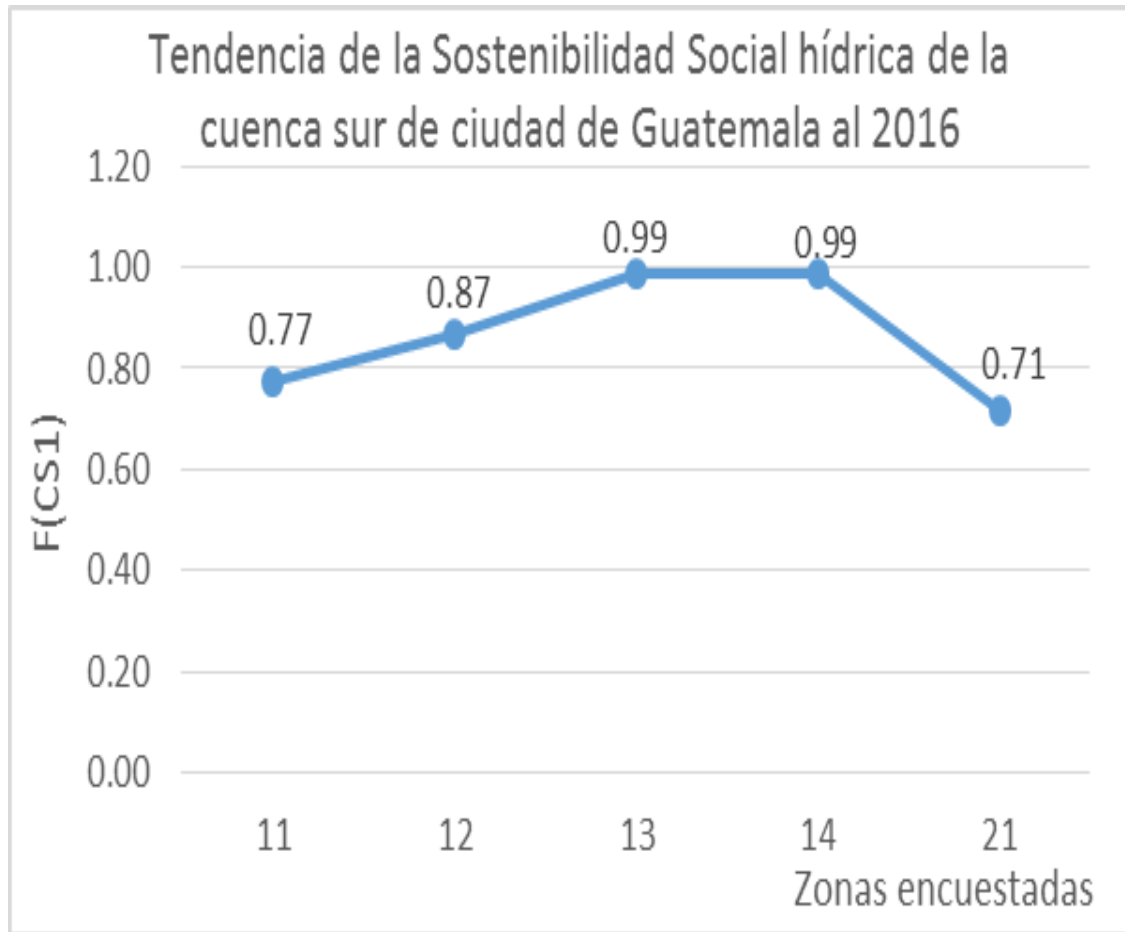


Figura 104. Indicador de sostenibilidad social por zona, 2016

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla 188. Principales variables para modelar F (CS1)

	Y	X1	X2	X3	X4
	F (CS1)	Hra	Fr	H2Or	Vc
Zona	F (CS1) = [(Agua recibida)] / (agua Contratada ) en el mejor de los casos F (CS1) = 1	Horas abastecidas de agua según percepción del cliente en encuesta realizada en horas	Fr = frecuencia de cuantos días recibe agua a la semana en (días)	Caudal recibido por el cliente según percepción en encuesta realizada en (L / min )	Vc = Volumen de agua contratado en m3
11	0.90	5	7	6	60
11	1.03	10	3	4	30
11	0.39	5	2	3	20
12	0.90	5	7	3	30
12	0.77	10	3	6	60
12	0.93	12	2	3	20
13	0.90	5	7	6	60
13	1.03	10	3	4	30
13	1.03	15	2	8	60
14	0.90	5	7	6	60
14	1.03	10	3	8	60
14	1.03	15	2	4	30
21	0.60	5	7	4	60
21	0.77	10	3	3	30
21	0.77	15	2	6	60
Ze	0.90	5	7	6	60
Ze	0.77	10	3	3	30
Ze	0.77	15	2	6	60

Fuente: Elaboración propia, 2016

Mediante el uso del programa Eureka<sup>®</sup>, por medio de redes neurales se determinó el siguiente modelo matemático:

$$F(\mathbf{CS1}) = \frac{0.26 * (\mathbf{Hra}) * (\mathbf{Fr}) * (\mathbf{H2Or})}{Vc} - 0.01$$

Y los datos de ajuste del modelo son:

Coeficiente de Correlación R = 0.99994546

Coeficiente de Regresión R<sup>2</sup> = 0.99973856

Error máximo = 0.01

Error medio cuadrático = 0.0000070617284

Error medio absoluto = 0.00096296296

#### 4.6.10 Índice del criterio social 2 f (CS2)

Que se pueda medir la condición de escases de agua en el área de estudio y la capacidad de adaptación por la sociedad = F (CS2)

Dicho de otra manera, tal y como lo describió Ohlsson en 1999, Poder medir la capacidad de adaptación de una comunidad al fenómeno de la escases de agua, y para ello se eligió la cuenca urbana del sur de la ciudad de Guatemala. La ecuación que propuso Ohlsson fue:

$$\mu_5 = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{d_{5,i}}{h_i}\right)$$

$\mu_5$  = Índice social de estrés hídrico, adimensional

$d_{5,i}$  = Índice de estrés hídrico, adimensional y para el caso particular de estudio



$d_{5,ZE}$  = Índice de estrés hídrico, en la zona de estudio, también llamado F (CA1) que anteriormente fue definido como  $(A_{ZE} / D_{ZE})$  adimensional, definido como Suministro de agua (A) / Demanda de agua (D)

$h_i$  = IDH Índice de desarrollo humano, Adimensional

$$h_i = \frac{1}{3} (a_i) + \frac{1}{3} (b_i) + \frac{1}{3} (c_i)$$

$$h_i = \frac{1}{3} \left( \frac{f_i - f_m}{f_M - f_m} \right) + \frac{1}{3} \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{100 \left( \frac{s_i}{v_i} \right) - l_m}{l_M - l_m} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{100 \left( \frac{w_i}{x_i} \right) - o_m}{o_M - o_m} \right) \right] + \frac{1}{3} \left( \frac{r_i - r_m}{r_M - r_m} \right)$$

$f_i$  = Esperanza de vida, en años

$f_m$  = Esperanza de vida mínima, se recomienda 25 años

$f_M$  = Esperanza de vida Máxima, se recomienda 85 años

$a_i$  = Índice de esperanza de vida (IEV), adimensional

$l_i = 100 \left( \frac{s_i}{v_i} \right)$  = Tasa de alfabetización en adultos (de 15 años y más), en %

$s_i$  = Población de adultos alfabetos (PAA), en número de habitantes

$v_i$  = Población adulta (PA) en número de habitantes

$l_m$  = Tasa mínima de alfabetización en adultos (de 15 años y más), en %, se recomienda un 0 %

$l_M$  = Tasa máxima de alfabetización en adultos (de 15 años y más), en % se recomienda un 100 %

$o_i$  = Tasa bruta combinada de matriculación (TBCM), se refiere a la matriculación de educación primaria secundaria y terciaria en % =  $100 \left( \frac{w_i}{x_i} \right)$

$w_i$  = Población total escolar (PTE), en número de estudiantes

$x_i$  = Población total en edad escolar (PTEEE), en número de habitantes

$o_m$  = Tasa bruta combinada de matriculación mínima, se recomienda un 0 %

$o_M$  = Tasa bruta combinada de matriculación máxima, se recomienda un 100 %

$g_i$  = Índice de alfabetización en adultos (IAA), adimensional

$J_i$  = Índice bruto combinado de matriculación (IBM), adimensional

$b_i$  = Índice de educación (IE), =  $\frac{2}{3} g_i + \frac{1}{3} j_i$  su valor es adimensional

$r_i$  = Producto interno bruto (PIB) per-cápita al precio corriente, ajustado a la paridad del poder adquisitivo (PPA) , US\$

$r_m$  = Producto interno bruto (PIB) per-cápita mínimo

$r_M$  = Producto interno bruto (PIB) per-cápita Máximo

$c_i$  = Índice de producto interno bruto (PIB), Adimensional

Y la tabla de datos para la modelación se presenta a continuación:

Tabla 189. Principales variables que definen el estrés social hídrico F (CS2)

año	$\gamma$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$
	$u_{5,ZE}$	$d_{5,ZE}$	$f_i$	$S_i$	$V_i$	$w_i$	$X_i$	$r_i$	$f_m$	$f_M$	$\lambda_m$	$\lambda_M$	$o_m$	$o_M$	$r_m$	$r_M$
1977	0.604	0.26	55.99	1,460,409	2,929,607	843,254	3,621,393	1,055.04	25	85	0	100	0	100	100	3000
1978	0.597	0.26	56.39	1,522,490	3,002,938	888,886	3,721,062	1,079.29	25	85	0	100	0	100	100	3000
1979	0.591	0.28	56.79	1,585,666	3,075,977	924,551	3,827,023	1,100.72	25	85	0	100	0	100	100	3200
1980	0.560	0.27	57.2	1,611,779	3,075,915	965,307	3,840,916	1,139.16	25	85	0	100	0	100	100	3400
1981	0.587	0.30	57.63	1,752,772	3,291,591	1,036,400	3,985,410	1,182.86	25	85	0	100	0	100	100	3550
1982	0.643	0.33	58.09	1,819,227	3,362,711	1,066,064	4,110,289	1,166.51	25	85	0	100	0	100	100	3550
1983	0.624	0.33	58.56	1,845,064	3,357,715	1,121,089	4,315,285	1,179.45	25	85	0	100	0	100	100	3600
1984	0.621	0.33	59.05	1,947,789	3,490,660	1,174,372	4,385,340	1,202.43	25	85	0	100	0	100	100	3700
1985	0.614	0.33	59.57	1,988,555	3,510,247	1,228,523	4,453,109	1,203.93	25	85	0	100	0	100	100	3900
1986	0.612	0.36	60.1	2,138,196	3,718,602	1,274,254	4,562,398	1,180.04	25	85	0	100	0	100	100	3900
1987	0.620	0.37	60.63	2,208,049	3,784,145	1,325,611	4,698,855	835.13	25	85	0	100	0	100	100	2700
1988	0.614	0.37	61.17	2,300,158	3,885,401	1,377,000	4,802,599	902.57	25	85	0	100	0	100	100	3000
1989	0.643	0.39	61.7	2,356,311	3,923,916	1,423,369	4,975,084	945.14	25	85	0	100	0	100	100	3100
1990	0.647	0.40	62.24	2,478,524	4,069,825	1,475,557	5,127,520	831.74	25	85	0	100	0	100	100	2700
1991	0.583	0.37	62.77	2,575,099	4,170,201	1,524,320	5,214,800	1,002.23	25	85	0	100	0	100	100	3300
1992	0.575	0.37	63.31	2,711,127	4,330,874	1,675,302	5,288,127	1,085.36	25	85	0	100	0	100	100	3800
1993	0.585	0.39	63.86	2,851,078	4,493,425	1,748,304	5,366,575	1,156.26	25	85	0	100	0	100	100	4100
1994	0.550	0.37	64.41	2,994,147	4,662,908	1,750,598	5,443,092	1,284.75	25	85	0	100	0	100	100	4500
1995	0.608	0.41	64.96	3,111,004	4,786,012	1,862,760	5,825,988	1,381.16	25	85	0	100	0	100	100	5000
1996	0.582	0.40	65.53	3,116,689	4,732,294	2,104,231	5,888,934	1,485.85	25	85	0	100	0	100	100	5500
1997	0.546	0.37	66.1	3,198,829	4,828,421	2,152,141	6,042,579	1,636.12	25	85	0	100	0	100	100	6500
1998	0.552	0.39	66.66	3,271,825	4,865,168	2,330,894	6,270,832	1,741.53	25	85	0	100	0	100	100	7200
1999	0.561	0.40	67.22	3,380,363	4,974,195	2,567,141	6,433,805	1,605.60	25	85	0	100	0	100	100	7000
2000	0.495	0.37	67.74	3,862,812	5,634,206	2,765,098	6,587,500	1,578.28	25	85	0	100	0	100	100	7100
2001	0.491	0.35	68.23	3,906,452	5,666,288	2,907,037	6,592,312	1,525.61	25	85	0	100	0	100	100	6700
2002	0.504	0.40	68.66	3,931,304	5,689,132	3,077,842	6,599,468	1,690.64	25	85	0	100	0	100	100	7600
2003	0.477	0.37	69.04	4,079,314	5,708,528	3,218,172	6,591,472	1,781.88	25	85	0	100	0	100	100	8700
2004	0.479	0.39	69.37	4,206,800	5,801,682	3,405,092	6,598,318	1,932.81	25	85	0	100	0	100	100	9800
2005	0.451	0.36	69.65	4,475,899	6,071,485	3,535,951	6,628,515	2,142.60	25	85	0	100	0	100	100	10800
2006	0.456	0.38	69.89	4,729,477	6,324,605	3,665,329	6,663,224	2,327.54	25	85	0	100	0	100	100	12000
2007	0.420	0.37	70.11	4,956,104	6,624,036	3,769,671	6,695,964	2,561.14	25	85	0	100	0	100	100	12800
2008	0.441	0.39	70.33	5,095,248	6,770,194	3,881,291	6,907,621	2,861.31	25	85	0	100	0	100	100	14000
2009	0.405	0.36	70.55	5,228,958	6,891,089	4,227,259	7,125,978	2,691.84	25	85	0	100	0	100	100	13500
2010	0.442	0.40	70.78	5,205,333	6,826,666	4,313,569	7,535,000	2,878.29	25	85	0	100	0	100	100	13400
2011	0.441	0.40	71.01	5,385,047	7,025,501	4,326,789	7,688,262	3,238.96	25	85	0	100	0	100	100	12500
2012	0.403	0.36	71.25	5,601,362	7,157,375	4,235,335	7,915,000	3,342.93	25	85	0	100	0	100	100	12500
2013	0.412	0.37	71.49	5,911,108	7,672,877	4,179,313	7,765,507	3,488.04	25	85	0	100	0	100	100	12000
2014	0.384	0.32	71.72	6,599,080	8,118,947	4,132,403	7,687,728	3,715.13	25	85	0	100	0	100	100	13300

Fuente: Elaboración propia con datos de INE, Banco de Guatemala, MINEDUC, 2016

Y el modelo que describe el comportamiento de estos datos es:

$$U_{5,ZE} = 0.14 + 1.94E-8(X_i) + 1.11E-8(S_i) + \frac{4.31E6(d_{5,ZE})}{(V_i)} - 3.6E-8(w_i)$$

Y el grado de ajuste es:

Coeficiente de correlación (R) = 0.99184823

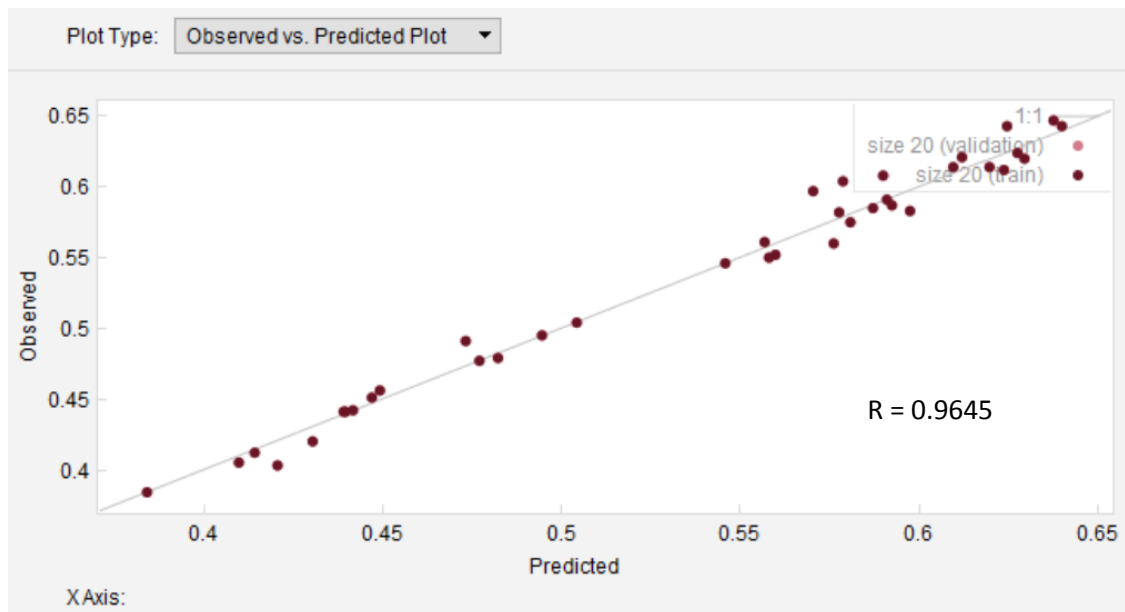
Coeficiente de ajuste (R<sup>2</sup>) = 0.98347987

Error máximo = 0.026577948

Error medio cuadrático = 0.0001056544

Error medio absoluto = 0.007

Y la gráfica que refleja el ajuste entre los datos observados y los datos pronosticados con el modelo es:



*Figura 105.* Ajuste de los datos entre los observados y los pronosticados con el modelo propuesto. Fuente: Elaboración propia, con ayuda del programa Eureka ®, 2016.

La trayectoria que sigue el índice social de estrés hídrico es:

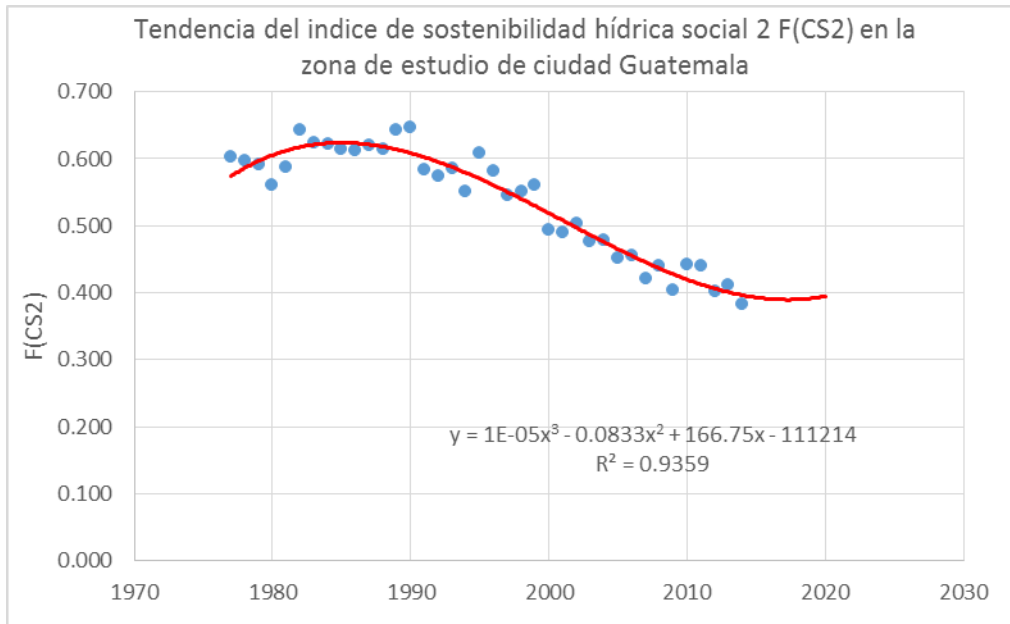


Figura 106. Tendencia del indicador de estrés social hídrico. Fuente elaboración propia. 2016

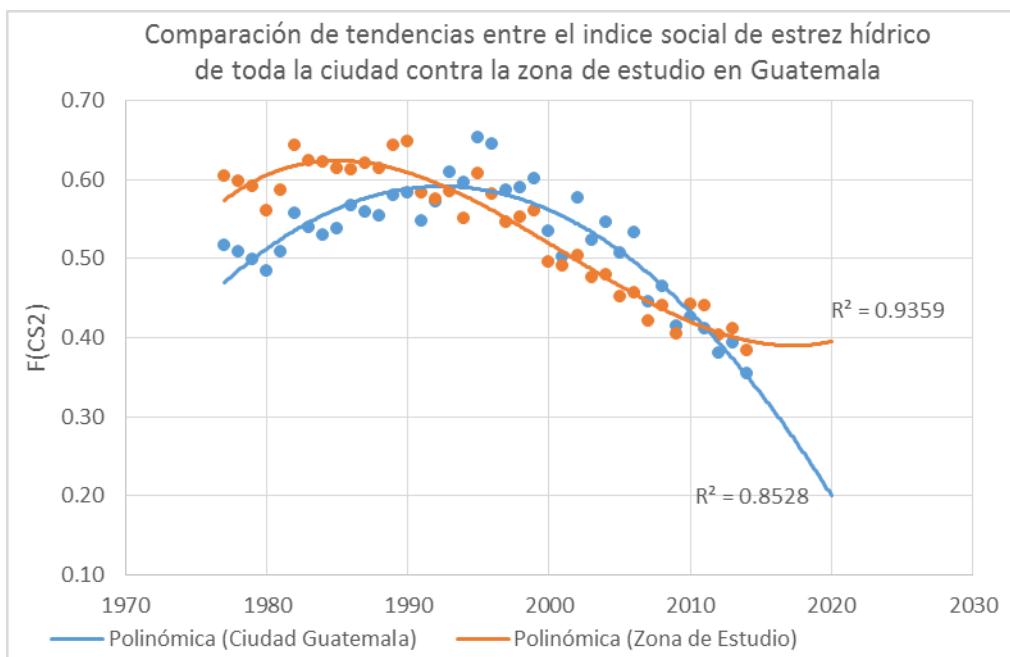
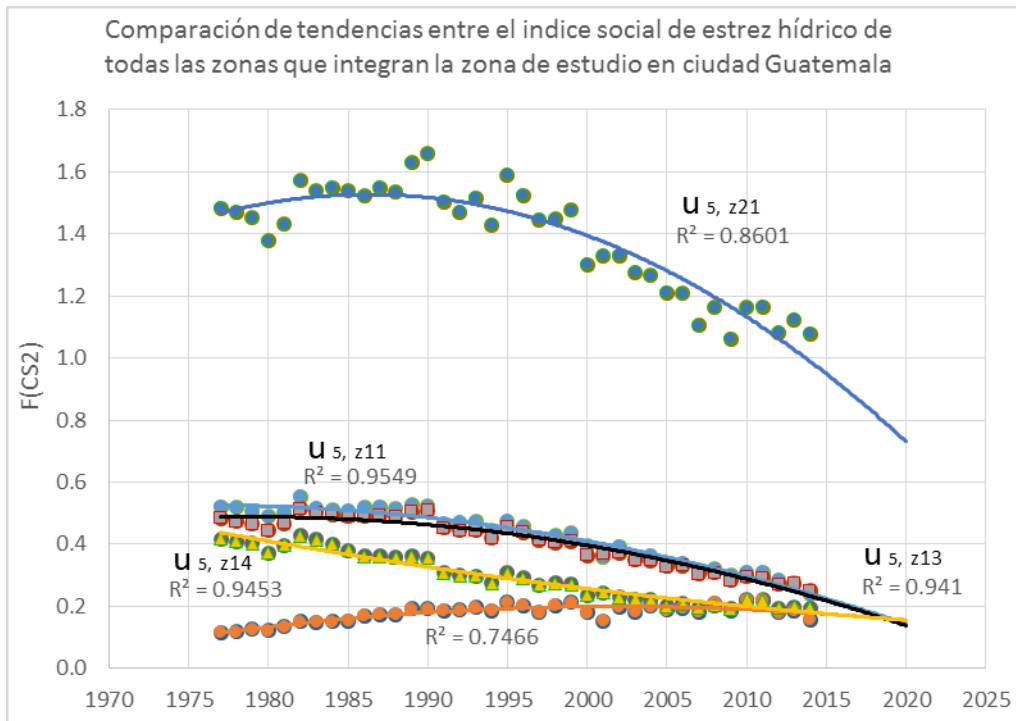


Figura 107. Comparación de tendencia del indicador de estrés social hídrico. Entre toda la ciudad y la zona de estudio. Fuente elaboración propia. 2016

Para poder calcular el indicador F(CS2) de la zona de estudio fue necesario calcular este indicador por cada una de las zonas que lo componen y a continuación se calculó un promedio que es el que se reporta en la tabla para modelar, el comportamiento de cada zona se muestra en la siguiente figura:



*Figura 108.* Comparación de tendencia del indicador de estrés social hídrico. Entre todas las zonas que integran la zona de estudio. Fuente elaboración propia. 2016

De acuerdo a Ohlsson, 1999 indica que mientras más alto es el índice de estrés social hídrico menor es el grado de adaptación de las personas al fenómeno de escases de agua que vive en esa región. Por lo tanto al observar la comparación de este indicador entre la zona de estudio y la de toda la ciudad, se puede observar que en general toda la ciudad ha tendido más rápidamente a adaptarse a este fenómeno, no así la zona de estudio, que se ha demorado más

tiempo y al parecer está tendiendo a relajarse en el valor de 0.40 probablemente influenciado por el abasto de las zonas 11, 13 y 14.

El análisis de la curva generada de este indicador para la zona 12, vale la pena comentarlo, pues es la que menor estrés social hídrico a mostrado, por lo tanto es una comunidad que se ha adaptado mejor a este fenómeno, probablemente por ser una sociedad de clase media baja, pujante, trabajadora y de larga historia en la formación de la ciudad.

Por otro lado la zona 21 es la que más alto estrés hídrico reporta y por lo tanto la que menos se ha adaptado al fenómeno de la escases de agua, se considera una de las consecuencias más importantes es que esta zona es una de la más pobladas en una área muy reducida, también cuenta con proyectos habitaciones verticales, en los cuales el número de habitantes por apartamento ha rebasado, la cantidad de personas para las cuales fue diseñado, también su bajo poder adquisitivo y limitado comercio e industria.

#### **4.6.11 Índice total de la componente social $f$ (CS1, CS2)**

Ahora que ya se conoce  $F$  (CS1) y  $F$  (CS2), la principal pregunta que surge es: ¿Como se relacionan entre si ambos indicadores de sostenibilidad hídrica? Y para responder a esta pregunta se procederá al siguiente razonamiento:

$F$  (CS1) es la modelación matemática producto del resultado de una encuesta, la cual recoge la opinión del usuario del servicio de agua en la zona de estudio, que a pesar de ser muy valedera, tiene sus limitaciones tales como: Los meses del levantamiento de la encuesta fueron julio y agosto del 2016, época del año en la que, la escasez de agua no es tan acentuada como en los meses

de febrero y marzo, por lo tanto, se considera que la opinión probablemente no hubiese sido la misma.

Otro motivo que limita a F (CS1) es que se realizó únicamente para el año 2016 y por lo tanto no se cuenta con una serie histórica que proporcione tal información, por tal motivo se procederá hacer una proyección en función del estrés hídrico de cada año de la serie así:

Tabla 190. *Proyección del F(CS1) en función del estrés hídrico anual*

año	F (CA1) = $d_{5,ZE}$	F (CS1)
1977	0.26	0.75
1978	0.26	0.75
1979	0.28	0.78
1980	0.27	0.77
1981	0.30	0.8
1982	0.33	0.82
1983	0.33	0.82
1984	0.33	0.82
1985	0.33	0.82
1986	0.36	0.85
1987	0.37	0.86
1988	0.37	0.86
1989	0.39	0.88
1990	0.40	0.89
1991	0.37	0.86
1992	0.37	0.86
1993	0.39	0.88
1994	0.37	0.86
1995	0.41	0.9
1996	0.40	0.89
1997	0.37	0.86
1998	0.39	0.88
1999	0.40	0.89
2000	0.37	0.86
2001	0.35	0.33
2002	0.40	0.89
2003	0.37	0.86
2004	0.39	0.88
2005	0.36	0.85
2006	0.38	0.87
2007	0.37	0.86
2008	0.39	0.88
2009	0.36	0.85
2010	0.40	0.89
2011	0.40	0.89
2012	0.36	0.85
2013	0.37	0.86
2014	0.32	0.81

Fuente: Elaboración propia. 2016



Por las anteriores razones expuestas anteriormente se propone darle un peso a esta variable de un 20 % y el resto a F (CS2), para plantear el siguiente

modelo

$$F (CS1, CS2) = F (CS1)^{0.20} * F (CS2)^{0.80} = 1$$

Tabla 191. Relación de variables F (CS1) y F (CS2)

año	F (CS1)	F (CS2)	F (CS1) <sup>0.20</sup>	F (CS2) <sup>0.80</sup>	F (CS1, CS2)
1977	0.75	0.604	0.944	0.668	0.630
1978	0.75	0.597	0.944	0.662	0.625
1979	0.78	0.591	0.952	0.656	0.624
1980	0.77	0.560	0.949	0.629	0.597
1981	0.8	0.587	0.956	0.653	0.624
1982	0.82	0.643	0.961	0.703	0.675
1983	0.82	0.624	0.961	0.685	0.659
1984	0.82	0.621	0.961	0.683	0.657
1985	0.82	0.614	0.961	0.677	0.650
1986	0.85	0.612	0.968	0.675	0.654
1987	0.86	0.620	0.970	0.682	0.662
1988	0.86	0.614	0.970	0.677	0.657
1989	0.88	0.643	0.975	0.702	0.684
1990	0.89	0.647	0.977	0.706	0.690
1991	0.86	0.583	0.970	0.650	0.630
1992	0.86	0.575	0.970	0.642	0.623
1993	0.88	0.585	0.975	0.651	0.635
1994	0.86	0.550	0.970	0.620	0.602
1995	0.9	0.608	0.979	0.672	0.658
1996	0.89	0.582	0.977	0.649	0.634
1997	0.86	0.546	0.970	0.616	0.598
1998	0.88	0.552	0.975	0.621	0.606
1999	0.89	0.561	0.977	0.629	0.615
2000	0.86	0.495	0.970	0.570	0.553
2001	0.33	0.491	0.801	0.566	0.453
2002	0.89	0.504	0.977	0.578	0.565
2003	0.86	0.477	0.970	0.553	0.536
2004	0.88	0.479	0.975	0.555	0.541
2005	0.85	0.451	0.968	0.529	0.512
2006	0.87	0.456	0.973	0.534	0.519
2007	0.86	0.420	0.970	0.500	0.485
2008	0.88	0.441	0.975	0.519	0.506
2009	0.85	0.405	0.968	0.485	0.469
2010	0.89	0.442	0.977	0.520	0.508
2011	0.89	0.441	0.977	0.519	0.507
2012	0.85	0.403	0.968	0.483	0.468
2013	0.86	0.412	0.970	0.492	0.477
2014	0.81	0.384	0.959	0.465	0.445

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla 192. *Datos para modelar interrelación entre F (CS1) y F (CS2)*

año	Y	X1	X2
	$F (CS1, CS2)$	$F (CS1)$	$F (CS2)$
1977	0.630	0.75	0.604
1978	0.625	0.75	0.597
1979	0.624	0.78	0.591
1980	0.597	0.77	0.560
1981	0.624	0.8	0.587
1982	0.675	0.82	0.643
1983	0.659	0.82	0.624
1984	0.657	0.82	0.621
1985	0.650	0.82	0.614
1986	0.654	0.85	0.612
1987	0.662	0.86	0.620
1988	0.657	0.86	0.614
1989	0.684	0.88	0.643
1990	0.690	0.89	0.647
1991	0.630	0.86	0.583
1992	0.623	0.86	0.575
1993	0.635	0.88	0.585
1994	0.602	0.86	0.550
1995	0.658	0.9	0.608
1996	0.634	0.89	0.582
1997	0.598	0.86	0.546
1998	0.606	0.88	0.552
1999	0.615	0.89	0.561
2000	0.553	0.86	0.495
2001	0.453	0.33	0.491
2002	0.565	0.89	0.504
2003	0.536	0.86	0.477
2004	0.541	0.88	0.479
2005	0.512	0.85	0.451
2006	0.519	0.87	0.456
2007	0.485	0.86	0.420
2008	0.506	0.88	0.441
2009	0.469	0.85	0.405
2010	0.508	0.89	0.442
2011	0.507	0.89	0.441
2012	0.468	0.85	0.403
2013	0.477	0.86	0.412
2014	0.445	0.81	0.384

Fuente: Elaboración propia. 2016

Y el modelo matemático que mejor describe el comportamiento de los datos es:

$$F (CS1, CS2) = 0.999(F (CS2)) + 0.208(F (CS1)) - 0.0951 - 0.125(F (CS1))(F (CS2))^2$$

Con los siguientes datos de ajuste:

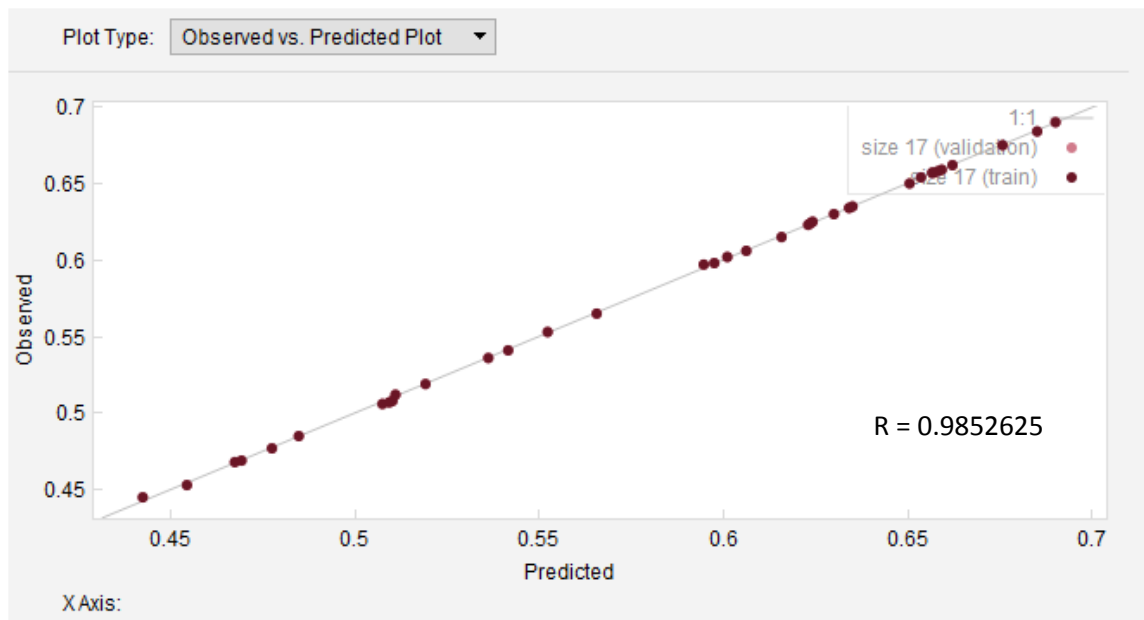
Coefficiente de correlación = 0.99991434

Coefficiente de modelación = 0.99982869

Error Máximo = 0.002685966

Error medio cuadrático = 0.00000090851142

Error medio absoluto = 0.00065753823



*Figura 109.* Valoración del modelo entre datos observados y pronosticados.  
Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa Eureka® .2016

La tendencia que sigue la interrelación de las dos componentes sociales a lo largo de la serie de tiempos es:

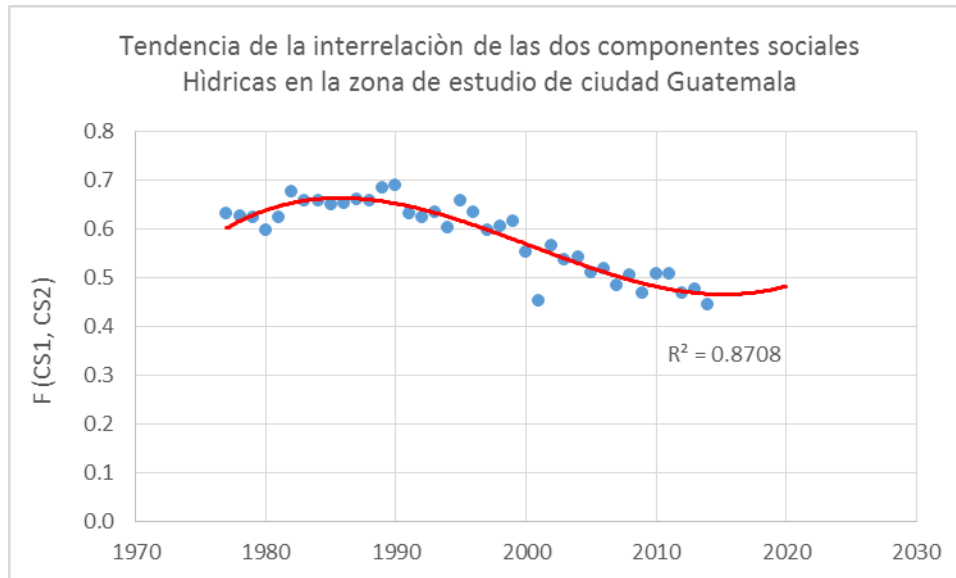


Figura 110. Trayectoria de la tendencia de las dos componentes sociales. Fuente: Elaboración propia. 2016

Como puede observarse la zona de estudio continúa adaptándose al fenómeno del estrés hídrico, a consecuencia de las constantes adecuación de las autoridades responsables de la gobernanza, gestión, administración y distribución del recurso agua.

#### 4.7 Modelo matemático del índice de sostenibilidad hídrica

Ahora que ya se conocen los ocho modelos matemáticos que describen el comportamiento de la sostenibilidad hídrica de cada componente, la pregunta curial nuevamente es como se relacionan entre si para poder definir el índice de sostenibilidad hídrica (ISH), Entonces tal y como se hizo anteriormente se procederá a proponer un modelo para la ecuación 1, así:

$$ISH = F(CA, CE, CS) = 1$$

$$ISH = F [F (CA1, CA2, CA3)], [F (CE1, CE2, CE3)], [F (CS1, CS2)]$$

Criterios para la modelación matemática:

1. Se consideró que la componente ambiental (CA) es la más importante al momento de definir la sostenibilidad hídrica, debido a que es la responsable de medir dentro de una de sus variables la escasez hídrica, fenómeno estudiado de esta investigación, por otro lado cualquier decisión que se emprenda realizar en la cuenca, impactara directamente en esta componente, por esta razón se propone impactar al modelo con el mayor peso, asignándole un 40 %.

2. Como en cualquier proceso industrial, la componente económica (CE) juega un papel preponderante, el cual define el éxito o fracaso de la operación, debe de brindársele su lugar dentro de la ecuación, por tal motivo se propone darle un peso de un 35 %.

3. Debido a que la componente social principalmente mide el nivel de adaptación de la sociedad afectada al fenómeno del estrés hídrico más el nivel de satisfacción del usuario por el servicio contratado de abastecimiento de agua. Se consideró que esta componente social (CS), es consecuencia directa de las otras componentes, por tal motivo se le dejo el peso del 25 %.

Por los criterios anteriores e impactar adecuadamente la sostenibilidad hídrica de la cuenca urbana del sur de la ciudad de Guatemala, se propone la siguiente relación:

$$F (CAm CE, CS) = F [(CA)^{0.4} * (CE)^{0.35} * (CS)^{0.25}]$$

Tabla 193. Variables del modelo propuesto  $F$  (CA, CE, CS)

Año	F (CA)	F (CE)	F (CS)	$F (CA)^{0.40}$	$F (CE)^{0.35}$	$F (CS)^{0.25}$	$F (CA, CE, CS)$
	F(CA1,CA2,CA3)	F(CE1,CE2,CE3)	F (CS1, CS2)				
1977	0.76	0.52	0.630	0.897	0.769	0.831	0.574
1978	0.71	0.53	0.625	0.874	0.776	0.829	0.563
1979	0.68	0.51	0.624	0.855	0.762	0.828	0.540
1980	0.67	0.50	0.597	0.853	0.755	0.814	0.524
1981	0.73	0.54	0.624	0.882	0.783	0.828	0.572
1982	0.79	0.56	0.675	0.909	0.791	0.855	0.614
1983	0.75	0.57	0.659	0.893	0.797	0.846	0.602
1984	0.83	0.55	0.657	0.926	0.786	0.845	0.616
1985	0.82	0.53	0.650	0.923	0.775	0.842	0.602
1986	0.81	0.53	0.654	0.917	0.776	0.844	0.601
1987	0.84	0.54	0.662	0.932	0.784	0.848	0.620
1988	0.84	0.53	0.657	0.932	0.777	0.845	0.612
1989	0.83	0.51	0.684	0.930	0.761	0.859	0.608
1990	0.89	0.56	0.690	0.953	0.791	0.862	0.650
1991	0.80	0.69	0.630	0.915	0.860	0.831	0.654
1992	0.82	0.82	0.623	0.924	0.923	0.827	0.706
1993	0.85	0.83	0.635	0.937	0.926	0.834	0.724
1994	0.82	1.17	0.602	0.924	1.063	0.816	0.802
1995	0.89	1.17	0.658	0.955	1.065	0.846	0.860
1996	0.89	1.23	0.634	0.953	1.087	0.833	0.863
1997	0.86	1.34	0.598	0.940	1.125	0.814	0.860
1998	0.77	1.38	0.606	0.901	1.136	0.818	0.837
1999	0.86	1.38	0.615	0.941	1.136	0.823	0.880
2000	0.84	1.46	0.553	0.932	1.163	0.789	0.855
2001	0.90	1.81	0.453	0.960	1.268	0.729	0.888
2002	0.88	1.63	0.565	0.952	1.216	0.796	0.921
2003	0.85	1.77	0.536	0.935	1.256	0.779	0.916
2004	0.88	2.11	0.541	0.950	1.349	0.782	1.002
2005	0.80	2.21	0.512	0.914	1.374	0.765	0.961
2006	0.85	2.33	0.519	0.939	1.402	0.769	1.013
2007	0.81	2.17	0.485	0.918	1.363	0.749	0.937
2008	0.78	2.15	0.506	0.906	1.357	0.762	0.937
2009	0.73	2.14	0.469	0.881	1.357	0.739	0.883
2010	0.78	2.14	0.508	0.904	1.355	0.763	0.935
2011	0.78	2.15	0.507	0.907	1.357	0.762	0.938
2012	0.76	2.21	0.468	0.896	1.373	0.738	0.908
2013	0.77	2.26	0.477	0.902	1.386	0.744	0.929
2014	0.75	2.48	0.445	0.891	1.438	0.724	0.927

Fuente: Elaboración propia. 2016.

A partir de la tabla anterior se procede a extraer las variables para la modelación.

Tabla 194. Variables para generar el modelo matemático  $F(CA, CE, CS)$

Año	Y	X1	X2	X3
	F(CA, CE, CS)	F(CA)	F(CE)	F(CS)
		F(CA1,CA2,CA3)	F(CE1, CE2, CE3)	F(CS1, CS2)
1977	0.574	0.76	0.52	0.630
1978	0.563	0.71	0.53	0.625
1979	0.540	0.68	0.51	0.624
1980	0.524	0.67	0.50	0.597
1981	0.572	0.73	0.54	0.624
1982	0.614	0.79	0.56	0.675
1983	0.602	0.75	0.57	0.659
1984	0.616	0.83	0.55	0.657
1985	0.602	0.82	0.53	0.650
1986	0.601	0.81	0.53	0.654
1987	0.620	0.84	0.54	0.662
1988	0.612	0.84	0.53	0.657
1989	0.608	0.83	0.51	0.684
1990	0.650	0.89	0.56	0.690
1991	0.654	0.80	0.69	0.630
1992	0.706	0.82	0.82	0.623
1993	0.724	0.85	0.83	0.635
1994	0.802	0.82	1.17	0.602
1995	0.860	0.89	1.17	0.658
1996	0.863	0.89	1.23	0.634
1997	0.860	0.86	1.34	0.598
1998	0.837	0.77	1.38	0.606
1999	0.880	0.86	1.38	0.615
2000	0.855	0.84	1.46	0.553
2001	0.888	0.90	1.81	0.453
2002	0.921	0.88	1.63	0.565
2003	0.916	0.85	1.77	0.536
2004	1.002	0.88	2.11	0.541
2005	0.961	0.80	2.21	0.512
2006	1.013	0.85	2.33	0.519
2007	0.937	0.81	2.17	0.485
2008	0.937	0.78	2.15	0.506
2009	0.883	0.73	2.14	0.469
2010	0.935	0.78	2.14	0.508
2011	0.938	0.78	2.15	0.507
2012	0.908	0.76	2.21	0.468
2013	0.929	0.77	2.26	0.477
2014	0.927	0.75	2.48	0.445

Fuente: Elaboración propia. 2016.

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Y = 0.234 + 0.455X_2X_3 + 0.346X_1^2$$

$$F(CA, CE, CS) = 0.234 + 0.455 (CE) (CS) + 0.346 (CA)^2]$$

Y los datos de ajuste del modelo son:

Coefficiente de correlación = 0.9973207

Coefficiente de modelación = 0.99387634

Error Máximo = 0.033314366

Error medio cuadrático = 0.00014889793

Error medio absoluto = 0.0086268834

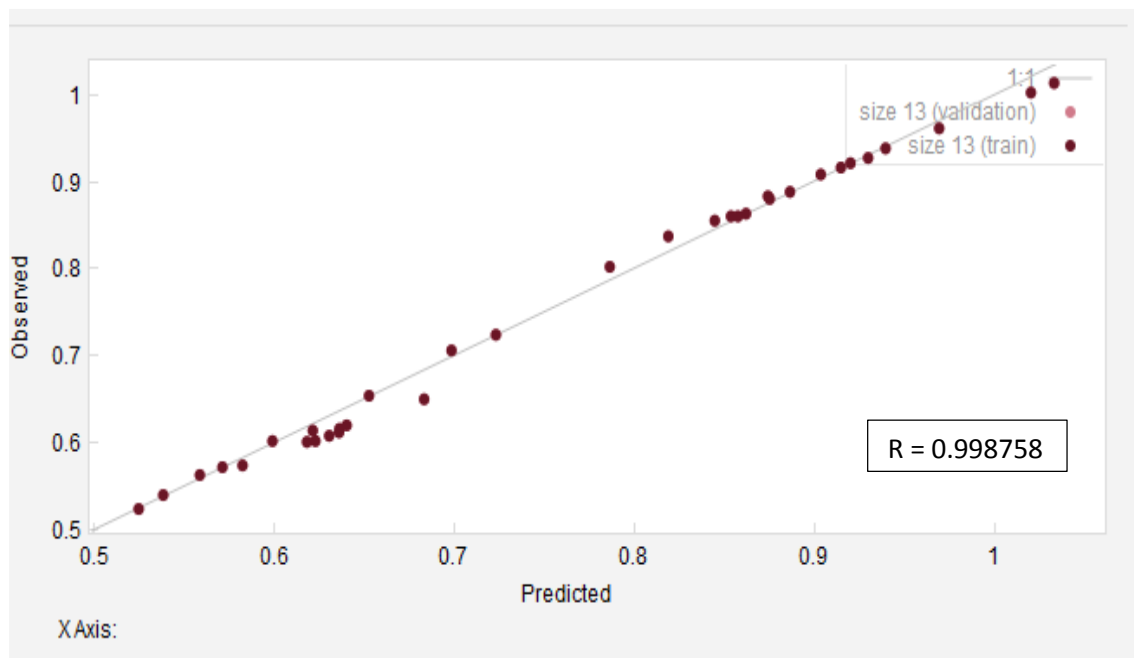


Figura 111. Nivel de ajuste del modelo entre datos observados y pronosticados.

Fuente: elaboración propia con la ayuda del programa Eureka®.2016



Y la tendencia del indicador de sostenibilidad hídrica es:

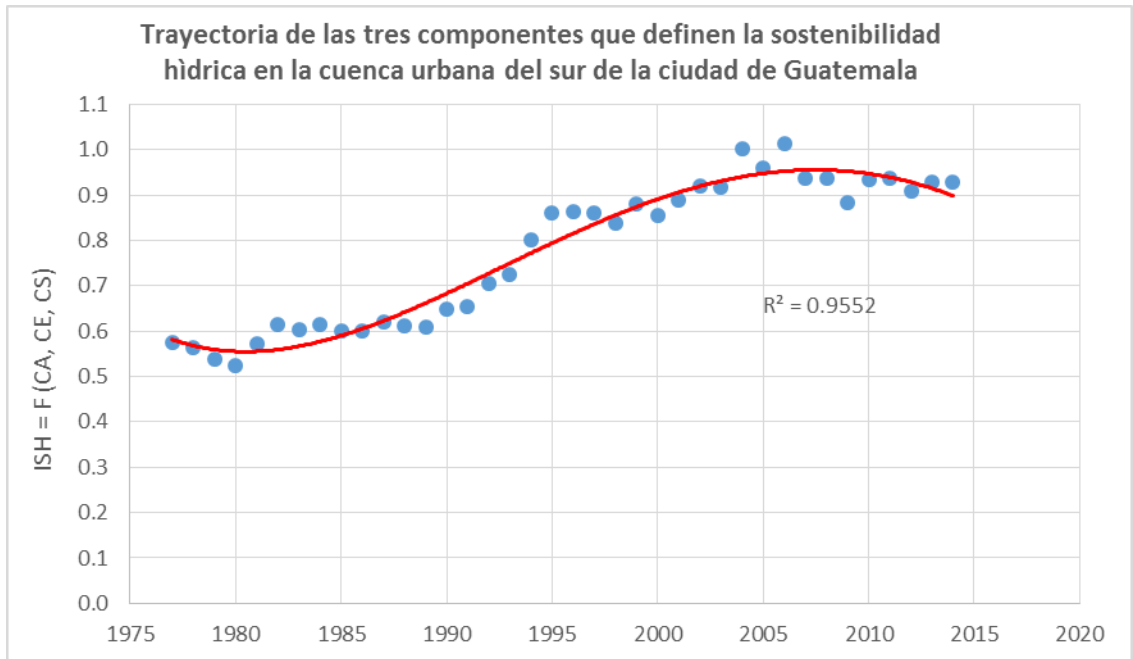


Figura 112. Trayectoria del índice de sostenibilidad hídrica total (ISH). Fuente: Elaboración propia. 2016

Como puede observarse, la tendencia del ISH alcanzó su valor máximo histórico en el año 2008 con un valor promedio de 0.96 pero a partir de ese año su tendencia es a disminuir a un ritmo acelerado una décima por año, pues al final del análisis (2014) su valor promedio ya registró un valor de 0.90

#### 4.8 Propuesta de escenarios

Uno de los principales desafíos a enfrentar dentro del desarrollo de esta investigación fue el poder generar, los escenarios posibles a los cuales el recurso hídrico en ciudad de Guatemala, podría enfrentarse en un futuro cercano, que para este trabajo se fijó al año 2030.

Para evitar especulaciones y cualquier clase de sesgos personales, en esta parte se hizo uso de las herramientas de la metodología prospectiva, para determinar de forma probabilística las mejores condiciones en cada escenario con la ayuda del programa multipol <sup>®</sup> (criterios y políticas múltiples) se logran resumir y potabilizar los criterios de los expertos en cuestiones del posible futuro.

#### 4.8.1 Escenario Tendencia

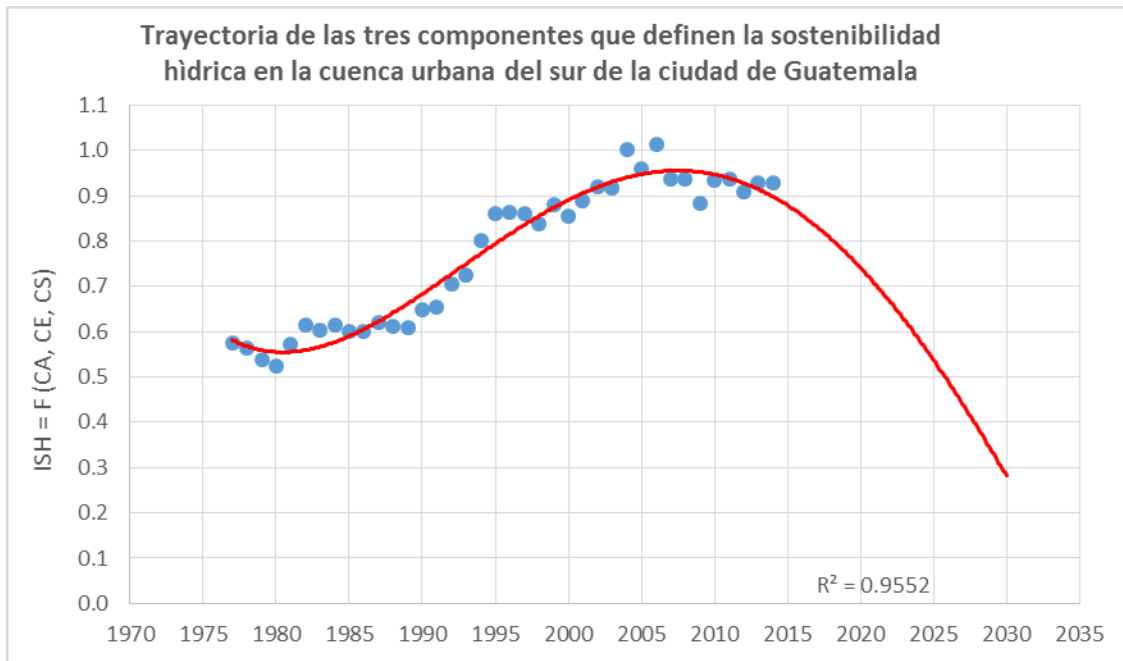
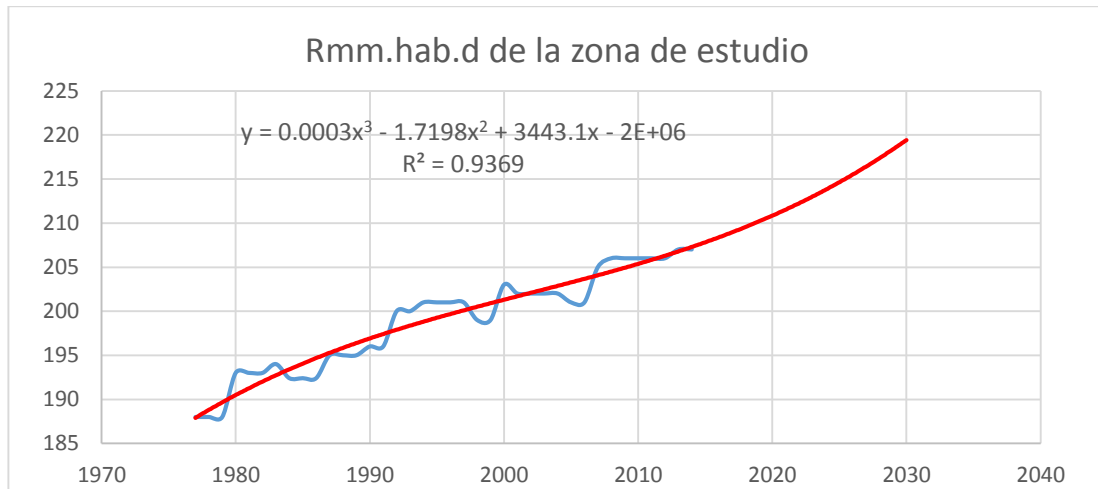


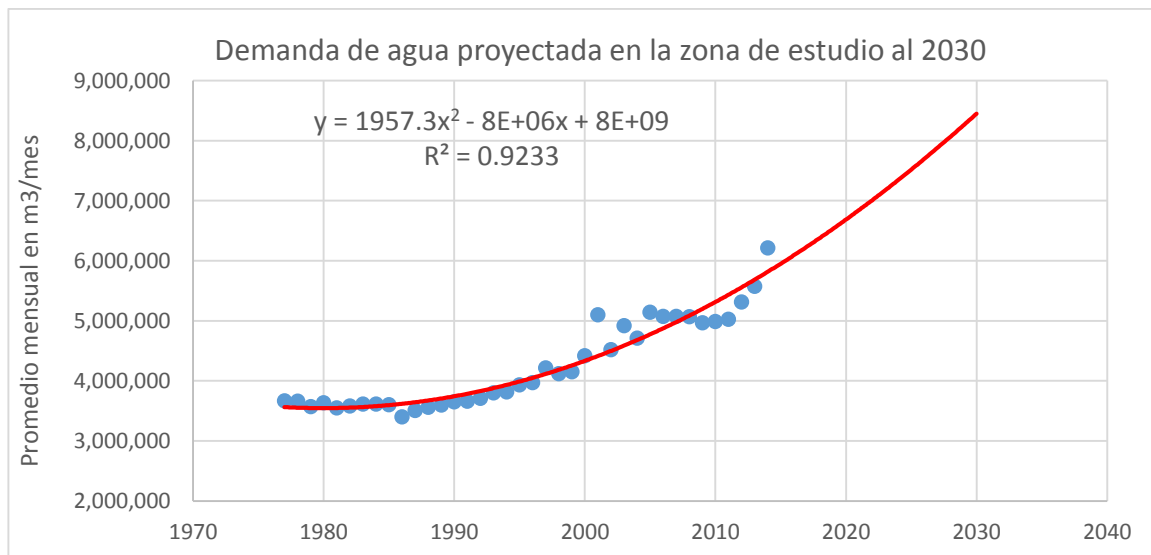
Figura 113. Trayectoria del escenario tendencia del índice de sostenibilidad hídrica (ISH). Fuente: Elaboración propia. 2016

Como puede observarse, la tendencia del ISH es a disminuir drásticamente en los próximos 10 años aproximadamente en un 50 % del valor actual, debido a que el sector privado en su afán de resolver la alta demanda de su producción, ha explotado el recurso sin invertir en ninguna medida que lo preserve, de igual manera el sector público, lo hace igual, pero con la diferencia que este se ha limitado en explotarlo pero por no tener recursos para hacerlo, además de

proveerlo para la población, que son dos fines completamente diferentes, por último, si las cosas van sin ningún cambio se espera que para el año 2030 la sostenibilidad hídrica de la zona de estudio alcanzara el valor de la tercera parte que tiene en la actualidad o sea 0.30. También dentro del escenario tendencia, se esperan algunos valores típicos de interés tales como:



**Figura 114.** Requerimientos mínimos medios de agua en la zona de estudio  
Fuente elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, 2016



**Figura 115.** Proyección de la demanda de agua en la zona de estudio  
Fuente elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, 2016

La demanda de agua solo para la zona de estudio al año 2030 será de 8.4 millones de m<sup>3</sup>/mes que es igual a 3.24 m<sup>3</sup>/s, mientras que EMPAGUA entrega a toda la ciudad 4.2 m<sup>3</sup>/s en el año 2015, lo anterior indica que en tan solo 15 años mas todo el caudal que utiliza toda la ciudad apenas alcanzara para la cuenca sur de la ciudad. Y mientras tanto el crecimiento de la ciudad continua, con una marcada tendencia a impermeabilizar las superficies (con techos, calles, patios cementados, etc.), impide que la lluvia se infiltre para recargar los mantos acuíferos.

En cuanto al crecimiento de la población de Guatemala como país se proyecta según el INE, 2016 un incremento en la población base del año 2015 de 4, 232, 911 habitantes equivalentes al 26.59 % casi una cuarta parte más en 15 años.

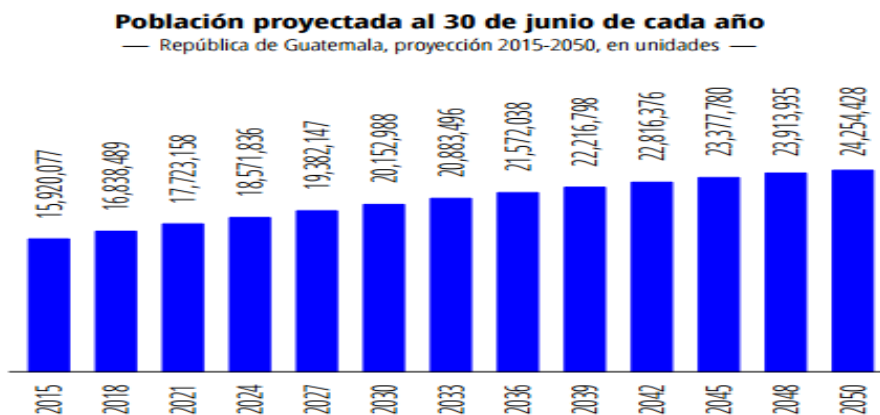
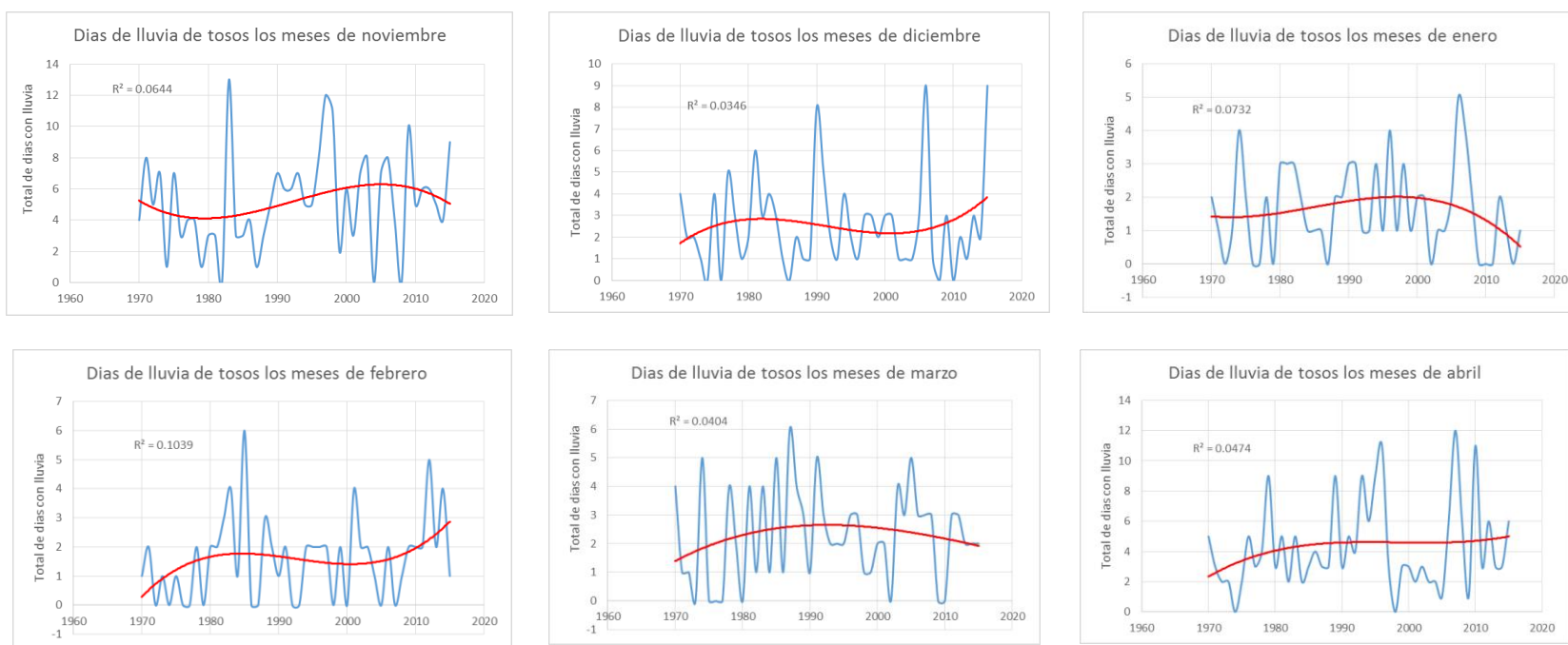


Figura 116. Crecimiento de la población de Guatemala, Fuente: INE 2016

En cuanto al suministro de agua para el año 2030 se estima como tendencia que el abasto de agua por fuentes superficiales, disminuirá, por efectos de la variabilidad del régimen de lluvias, según los pronósticos el IPCC de las naciones unidas, 2013 el cual dice que para las regiones del trópico los días de lluvia se tenderán a espaciar más y los caudales precipitados se incrementaran. Este panorama también se marca en la tendencia de extracción de agua que realiza EMPAGUA.

Para responder la primera pregunta, se graficarán los días de lluvia de cada mes de toda la serie, y si la tendencia es a ir disminuyendo los días de lluvia, la respuesta será afirmativa, para el caso de ciudad Guatemala se presentan dos estaciones: la época de verano (noviembre – abril) y la época de invierno (mayo – octubre) así:



*Figura 117.* Comparativo de la tendencia de los días de lluvia en época de verano en ciudad Guatemala. Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH. 2016

A pesar de que los meses de verano, no son representativos para evaluar la cantidad y frecuencia de lluvia, se tomó la decisión de graficarlos mostrando que los meses de noviembre, enero y marzo si muestran tendencia a la baja.

En cuanto a los meses de invierno la tendencia es:

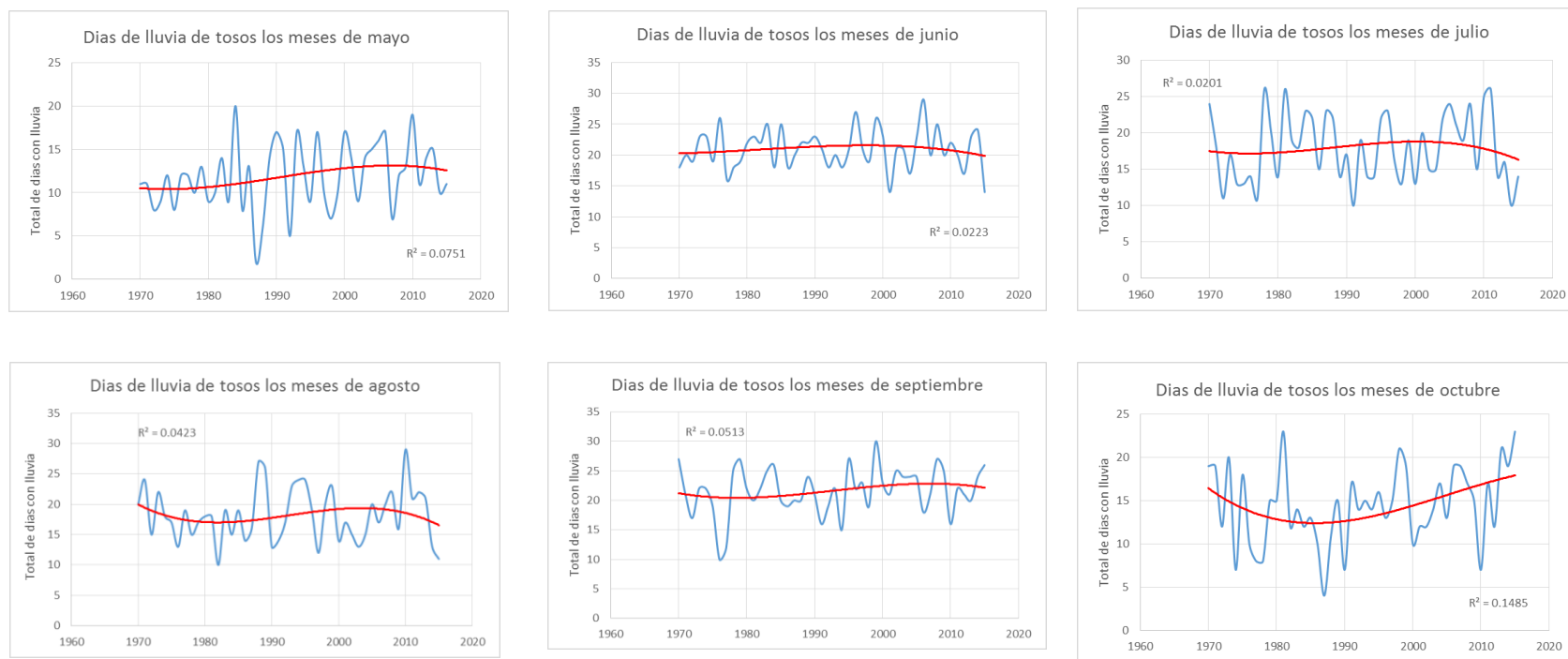


Figura 118. Comparativo de la tendencia de los días de lluvia en época de invierno en ciudad Guatemala. Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH. 2016

En general se puede observar que el descenso en el total de los días de lluvia durante los meses más intensos (julio, agosto y septiembre) no superan los 4 días, pero el descenso es real y no se puede negar, en general la tendencia de los restantes meses es hacia la baja, moderada pero a la baja. Por lo tanto, se puede concluir que las afirmaciones del IPCC son verdaderas, para la región de ciudad Guatemala.

En cuanto al comportamiento de la cantidad de lluvia los resultados son:

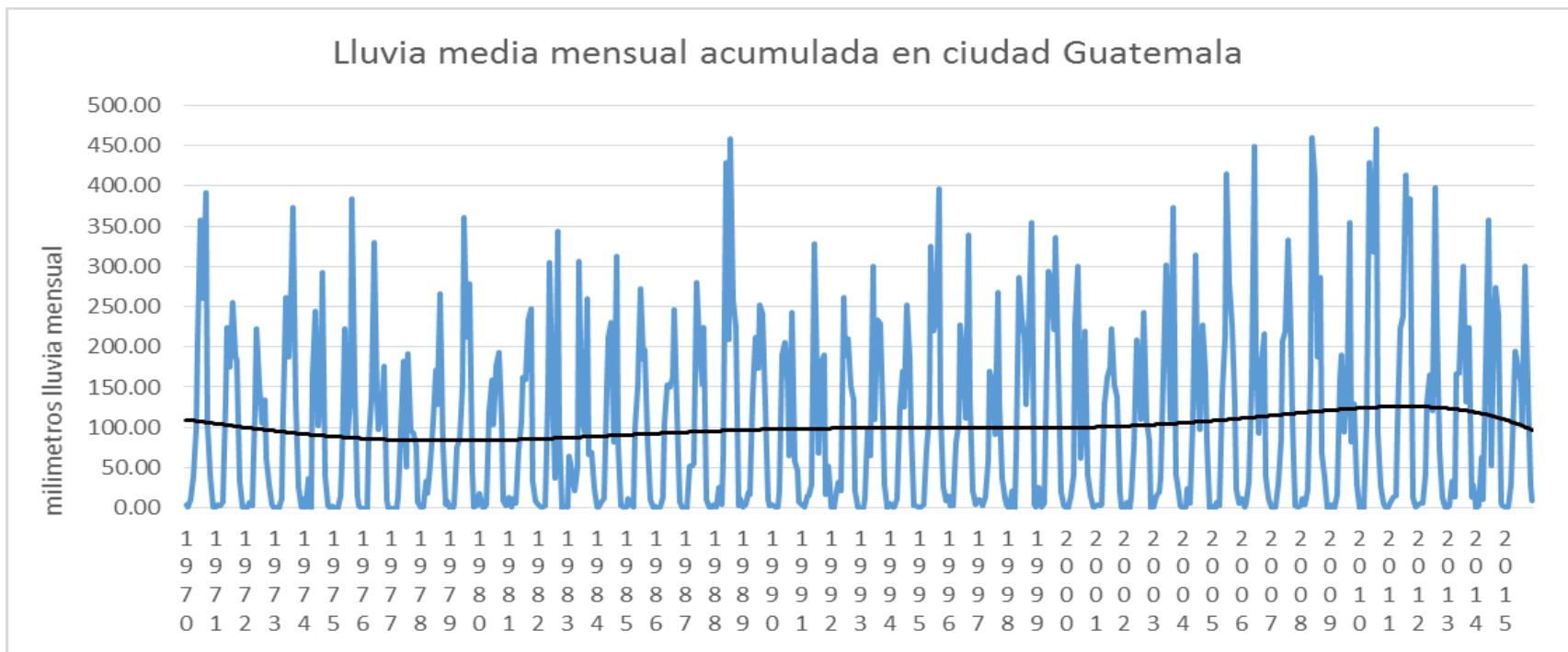


Figura 119. Trayectoria de la lluvia media mensual acumulada. Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH 2016

La tendencia de esta curva es muy poco apreciable, pues su valor oscila alrededor de los 100 milímetros de agua, para analizar su comportamiento se graficará cada mes de toda la serie, así:  
Primero la época de verano y después la de invierno.



Figura 120. Trayectoria de la lluvia media mensual acumulada de cada mes de toda la serie. Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH 2016



Nótese que en época de verano los meses de diciembre, marzo y abril en los últimos 10 años han tendido a subir, en cambio en época de invierno los meses de mayo (100 a 200 mm/mes o sea un delta de 100), agosto (160 a 260 mm/mes o sea un delta de 100) y octubre (110 a 190 mm/mes o sea un delta de 80) han tendido a subir en los últimos 25 años, en cambio el mes de septiembre se ha mantenido durante ese mismo tiempo en 250 milímetros/mensuales, al contrario de los anteriores los meses de junio (280 a 225 mm/mes o sea un delta de 55) y julio (230 a 160 mm/mes o sea un delta de 70) han tendido a bajar durante los últimos 12 años y una de las explicaciones a este comportamiento es el fenómeno de la canícula, y por el tamaño del descenso o delta la canícula se ha estado presentado con mayor frecuencia en el mes de julio. Y una gran conclusión de estas graficas es que septiembre ha sido consistentemente el mes de mayor precipitación de todo el año por lo menos durante los últimos 40 años. En resumen, el comportamiento anual es:

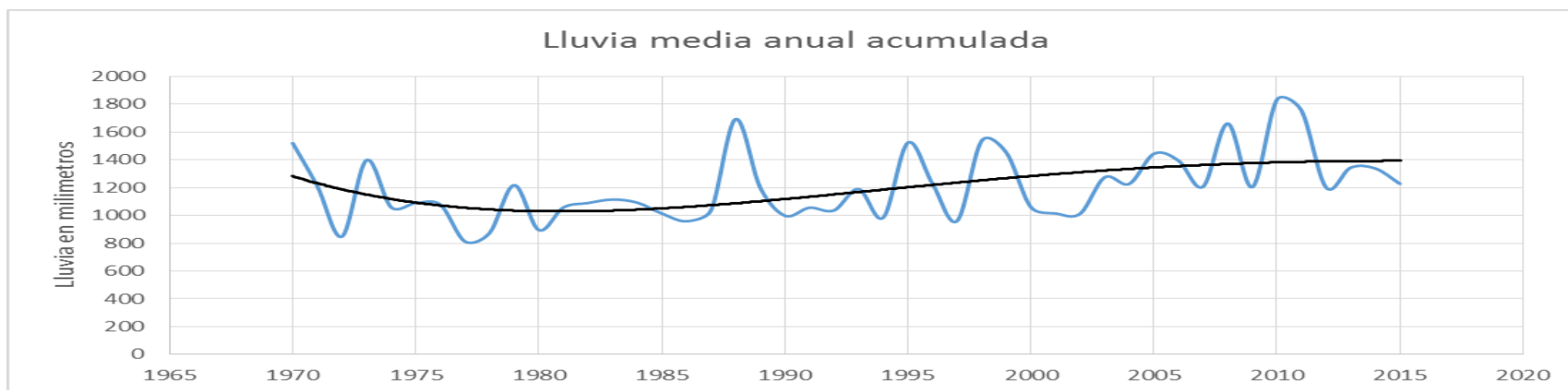
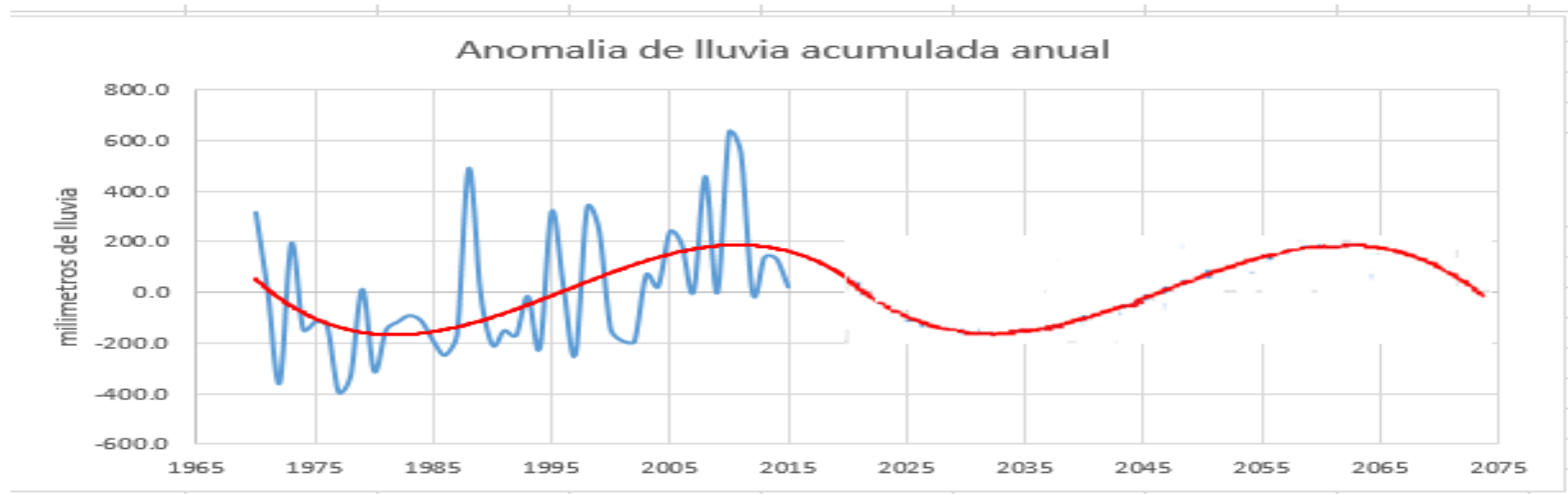


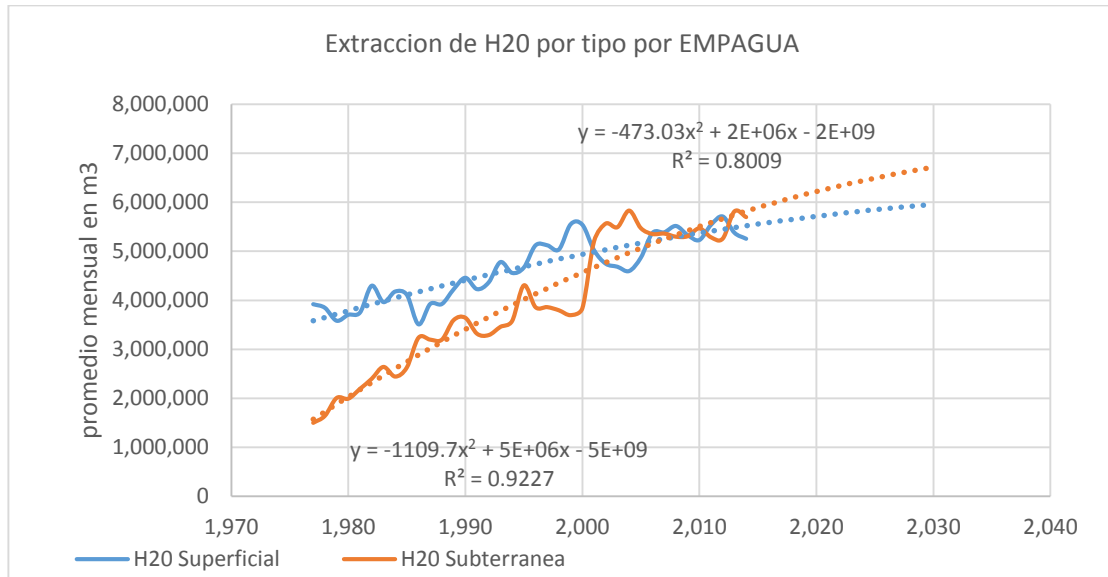
Figura 121. Trayectoria de la lluvia media anual acumulada. Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH 2016

El comportamiento del promedio interanual de la lluvia media anual es de 1205 mm/año con una variabilidad climática de tipo senoidal con un primer periodo decreciente (menor al promedio interanual) de 25 años (1970 a 1995) y un segundo periodo creciente (mayor al promedio interanual) también de 25 años (1995 al 2020). Ahora bien, si el anterior pronóstico es verdadero, dicho comportamiento podrá ser confirmado al graficar las anomalías de precipitación.



*Figura 122.* Trayectoria de la lluvia media anual acumulada. Fuente: Elaboración propia con datos del INSIVUMEH 2016

Se estima que para el año 2030 se alcance el descenso más bajo de lluvia en aproximadamente 200 mm de lluvia por debajo del promedio interanual (1205 mm/año) o sea con un valor promedio anual acumulado de 1000 mm de lluvia o menos, y puntualmente hasta podría llegar a los 800 mm o menos.



**Figura 123.** Proyección del suministro de agua en toda la ciudad  
Fuente: elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, 2016

Para el año 2030 se pronostica un aprovechamiento de las aguas superficiales de 6 millones de m<sup>3</sup>/mes en promedio (2.31 m<sup>3</sup>/s) y de aguas subterráneas unos 6.8 millones de m<sup>3</sup>/mes en promedio (2.64 m<sup>3</sup>/s), sumando ambas da un total de 4.95 m<sup>3</sup>/s y aplicándole un 35 % de pérdidas en la red de distribución de la ciudad, se obtiene un caudal disponible de 3.22 m<sup>3</sup>/s que es un poco menos del caudal con el que opera EMPAGUA al año 2015

En resumen, para EMPAGUA los números de los caudales no cuadran para el año 2030, situación ya establecida de forma gráfica en el escenario tendencia, pero como EMPAGUA no es la única que provee de agua a la población de la ciudad, se revisara el escenario de todo el sector para el año 2030, especialmente para el agua subterránea que ha sido la salvación del pueblo hasta la fecha, no se sabe hasta cuándo durara esta condición.

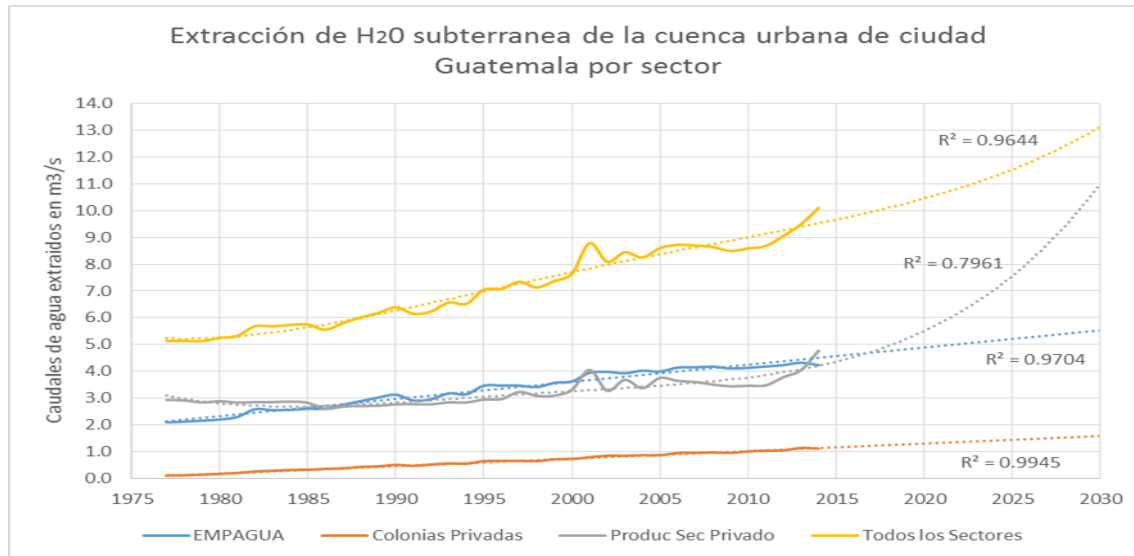


Figura 124. Proyección del suministro de agua subterránea en toda la ciudad Fuente elaboración propia con datos de EMPAGUA, INE, Producción + Limpia, 2016

Entonces según el escenario tendencia, si las condiciones no cambian se estarán extrayendo del subsuelo alrededor de los 13 m<sup>3</sup>/s por todos los sectores o sea EMPAGUA, sector privado de colonias y condominios privados y el sector privado para producir.

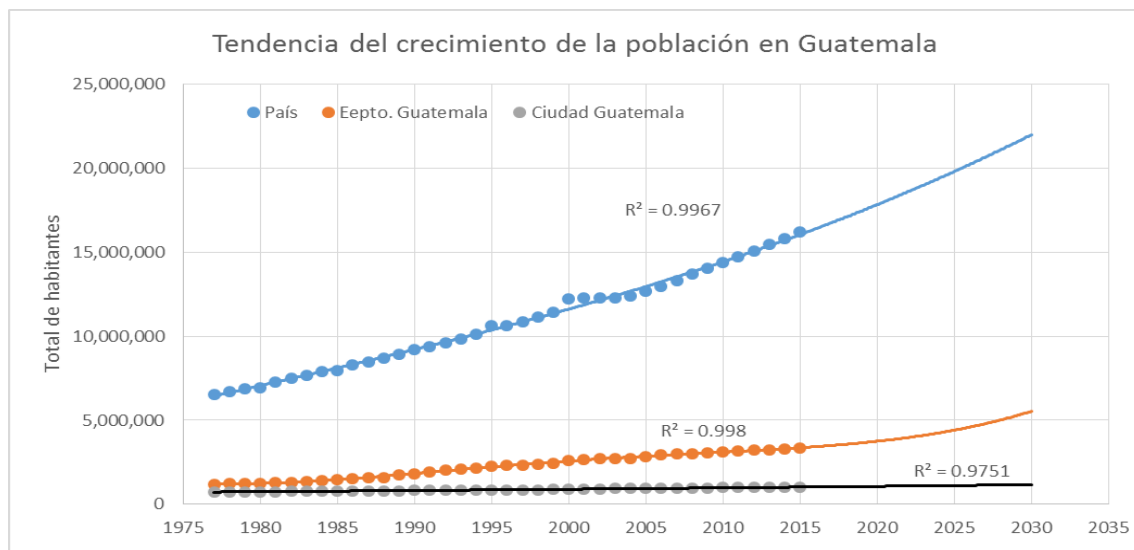


Figura 125. Tendencia del crecimiento de la población. Fuente: INE 2016

Como puede observarse el crecimiento de la población domiciliar en ciudad de Guatemala, tiende a ser muy estable y de poco crecimiento, ahora bien la población flotante o ambulatoria si es alta (población del Depto. de Guatemala menos población domiciliar de ciudad Guatemala), y esta es la que marca la diferencia en la demanda del agua para el año 2030.

Como consecuencia general en la población se espera que el precio del agua se incremente irremediamente y el recurso agua como tal se escasee, pues la presión popular aumentara.

#### 4.8.2 Escenario pesimista

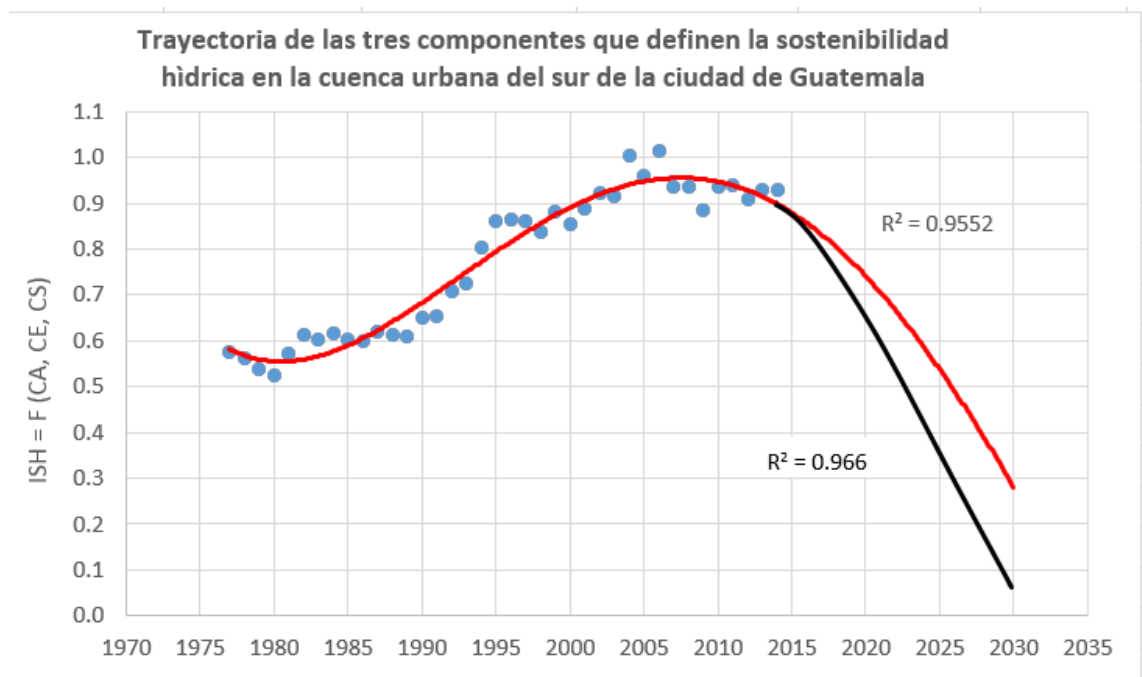
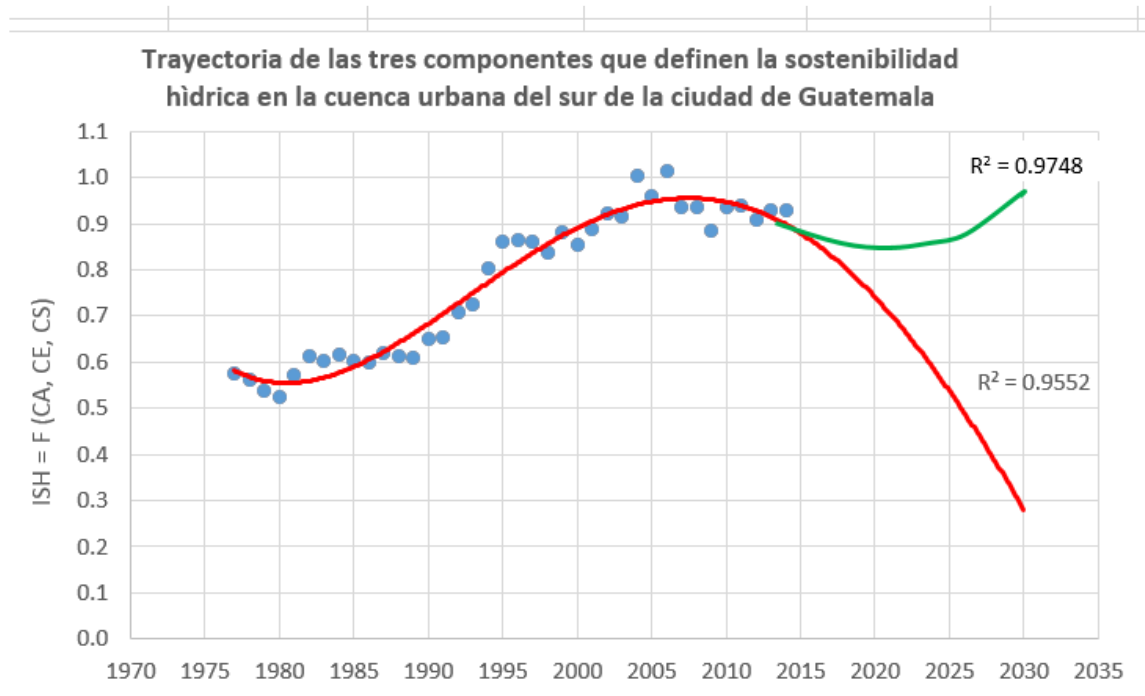


Figura 126. Trayectoria del escenario pesimista comparado con el escenario tendencia del índice de sostenibilidad hídrica (ISH). Fuente: Elaboración propia. 2016

En este escenario, la situación se complica, pues aparte de no hacer nada por resolver la situación de escases de agua, suceden los siguientes eventos probabilizados:

- 1 los niveles freáticos del agua subterránea, descienden al punto que los caudales de agua extraídos se reducen en un 50 % de los valores actuales.
- 2 El valor del precio del agua se incrementa, a consecuencia de la escasez física del recurso. Se estima que se triplique el valor de un metro cubico a nivel generalizado, al elevarse costos de extracción, y trasvase de un punto a otro.
- 3 El estrés social hídrico se generaliza en todas las zonas del área de estudio
- 4 Se emprenden proyectos para trasvasar agua de otros sectores del país que generan desordenes sociales de las comunidades indígenas en resguardo de sus recursos.
- 5 Algunas empresas privadas se ven obligadas a trasladarse a sectores del país que brindan mejores condiciones del recurso agua.
- 6 Las empresas que distribuyen agua en camiones cisterna se incrementan y las distancias para obtenerlas también lo hacen, lo incrementa grandemente el valor del agua.
- 7 El nivel de sostenibilidad hídrica en este escenario alcanza el valor de 0.08 y el principal factor que dispara este indicador casi por los suelos es la carencia física del recurso agua.

### 4.8.3 Escenario Optimista



*Figura 127.* Trayectoria del escenario optimista comparado con el escenario tendencia del índice de sostenibilidad hídrica (ISH). Fuente: Elaboración propia. 2016

En este escenario, las condiciones son muy favorables, pues suceden los siguientes eventos probabilizados:

- 1 A partir del año 2018, se consideran oportunamente los estudios publicados sobre la situación del agua en ciudad Guatemala y se emprenden por lo menos dos proyectos de traer agua de dos cuencas diferentes fuera de la ciudad, las cuales proveen agua en aproximadamente 14 m<sup>3</sup>/s

- 2 El precio del agua por supuesto se incrementa, pues parte de los costos de los proyectos se trasladan en la factura de agua al consumidor final y por su puesto EMPAGUA se capitaliza.
- 3 El nivel de sostenibilidad hídrica en este escenario alcanza el valor de 0.97 sin ningún problema.
- 4 Bajo ese escenario EMPAGUA se moderniza administrativamente y empieza nuevamente a crecer los clientes y buena parte del sector industrial que utiliza agua para su producción se incorpora al sistema de abastecimiento de EMPAGUA, pues es más barata el agua de fuentes superficiales que las subterráneas.
- 5 En cuanto a los caudales recibidos por el usuario, la presión del fluido en la vivienda del usuario mejora grandemente a tal extremo que los usuarios no reparan en el pago de su factura, pues están satisfechos.
- 6 En cuanto a la componente social hídrica, respecto al estrés social hídrico mejora grandemente en todas las zonas que componen la zona de estudio a consecuencia de la mejora en la cantidad, presión y horas de abasto.
- 7 Otra consecuencia importante en la mejora del abasto de agua de fuentes superficiales, es la baja considerable en el consumo de energía eléctrica, situación que a nivel país lo posiciona al punto que mejora la exportación de energía eléctrica a los países vecinos de la región centro americana y se espera que precio de venta de la energía eléctrica baje.
- 8 Debido a que el precio del agua aumento, producto de la inversión efectuada, los programas de educación y concientización en el uso racional



del agua mejoran a todo nivel, produciendo en toda la población de la ciudad aires ambientalistas, que repercuten en el manejo sostenible de los desechos sólidos (basura).

#### 4.8.4 Escenario Alcanzable o deseado

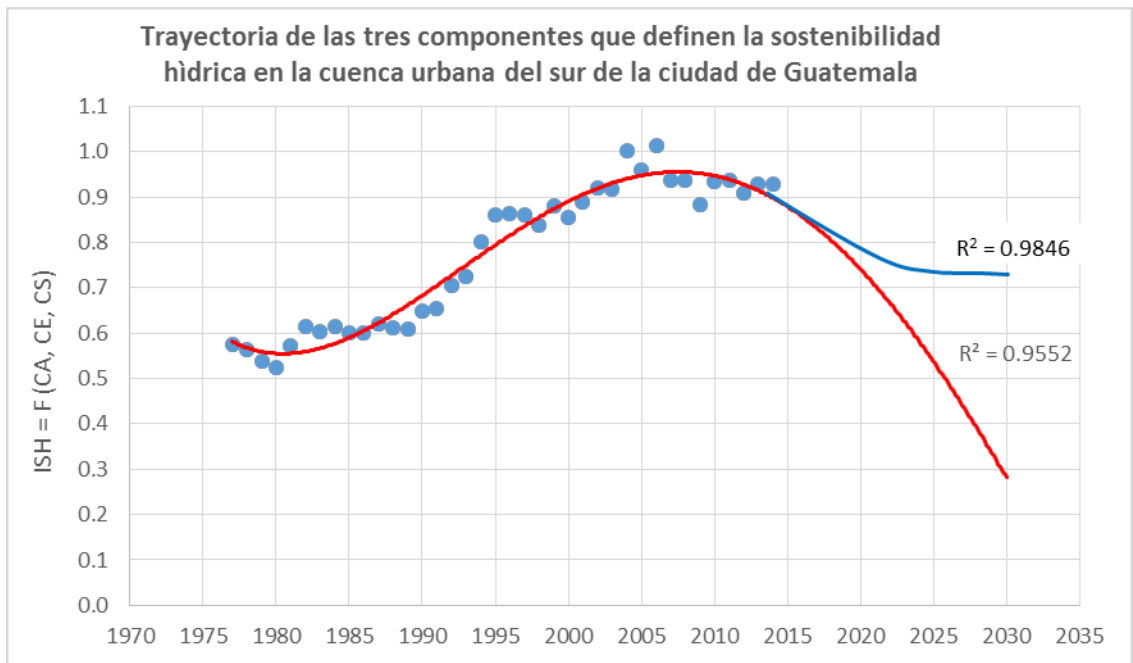


Figura 128. Trayectoria del escenario alcanzable comparado con el escenario tendencia del índice de sostenibilidad hídrica (ISH). Fuente: Elaboración propia. 2016

Los principales eventos probabilizados en este escenario son los siguientes:

- 1 Se inicia programa urgente en cada una de las zonas de estudio para minimizar las fugas (en no más del 5 %) en la red de distribución de agua, lo cual permite recuperar el 75 % del caudal perdido.

- 2 El precio del agua sube a consecuencia de las inversiones en la renovación de redes de tubería, pues se traslada el costo en la factura del usuario.
- 3 Al mejorar los caudales de agua disponibles, se aumentan las horas de abasto en el suministro, lo cual relaja al usuario y evita las protestas al aumento.
- 4 El nivel de sostenibilidad hídrica alcanzado en este escenario es de un 0.74 para el año 2030, siempre y cuando se comience por emprender estos proyectos no más allá del año 2018.
- 5 Debido a que la piedra angular dentro de la sostenibilidad hídrica es la existencia suficiente y oportuna del recurso agua, dentro de este escenario se contempla el suministro de agua de una fuente superficial adicional a la ya existente con un caudal mínimo de 8 m<sup>3</sup>/s disponible para iniciar operaciones no más allá del año 2023, si lo que se desea es mantener el nivel de sostenibilidad por lo menos en 0.74
- 6 El precio del agua se espera que sufra otro incremento por lo menos para el año 2023, justamente con el arranque del proyecto del acueducto y una buena represa que permita el abastecimiento constante y seguro, durante todo el año (verano e invierno), tal y como lo hace Costa Rica en la actualidad que en la factura del agua hay un rubro que dice cargo por acueducto.
- 7 Durante este escenario se espera que la ley de aguas sea aprobada por lo menos para el año 2018 y que este implementada en un 75 % mínimo para el año 2020. Dentro de los principales logros en esta ley se espera por lo menos:

- La creación del instituto nacional del agua.
- El control de todos los flujos extraídos de aguas subterráneas de pozos privados y públicos. Con monitoreo digital y a control remoto.
- Recopilación de toda la información historia concerniente a caudales, niveles de perforación, contaminantes, niveles freáticos y perfiles del suelo, que aseguren su futuro desempeño.
- Tasación de un impuesto de orden ambiental para todos aquellos propietarios de pozos (x quetzales / m<sup>3</sup> de agua extraído), que permita la inversión en la mejora del resguardo de las zonas de recarga hídrica, hasta el momento inexistente, la creación de otro proyecto de pozos de absorción de agua de lluvia en toda la cuenca de la ciudad.
- A parte del impuesto anterior el propietario del pozo estará obligado a entregar a la red de distribución de EMPAGUA por lo menos el 20 % del agua extraída para que EMPAGUA pueda disponer del recurso agua en lo el proyecto de traer agua superficial de otra cuenca externa inicia.

En resumen, se puede decidir en qué tipo de escenario se desea estar en el futuro cercano del año 2030, que no está muy lejos, pero permite a los decisores tomar conciencia de la situación y decidir hoy que acciones deberá emprender para alcanzar el escenario elegido.

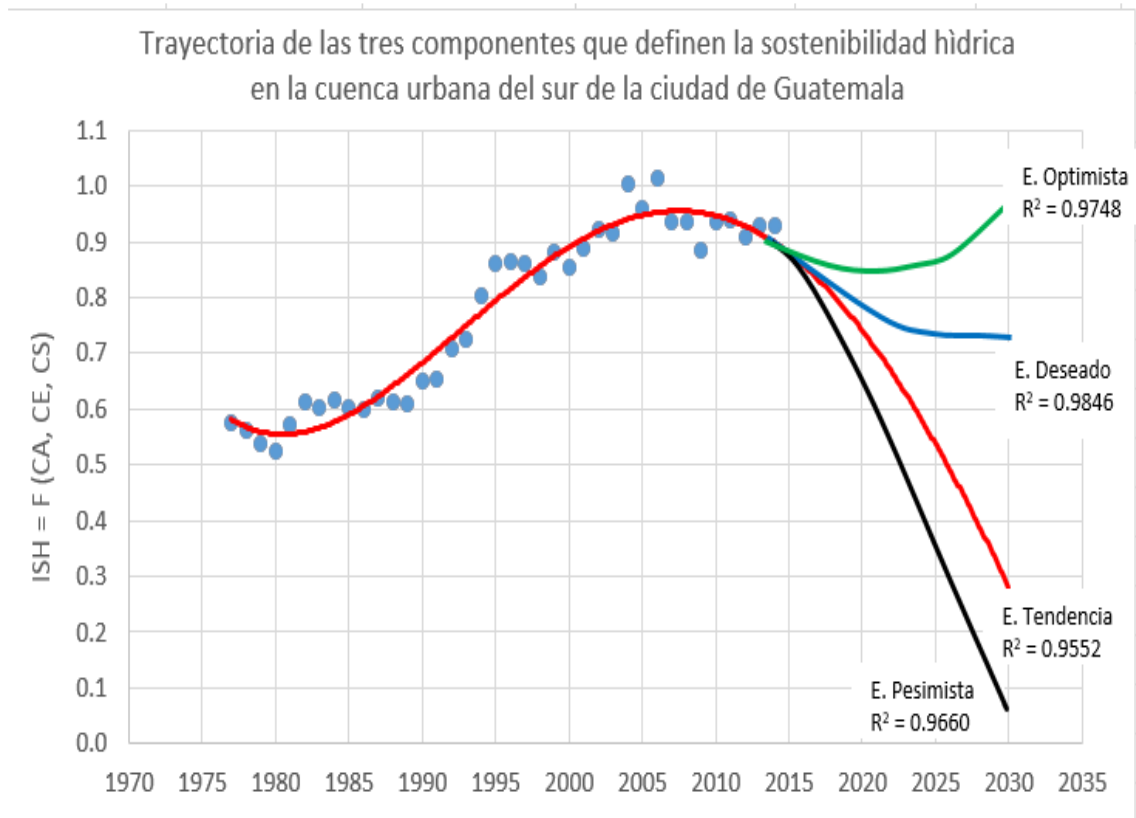


Figura 129. Resumen de los posibles escenarios del índice de sostenibilidad hídrica (ISH).

Fuente: Elaboración propia. 2016

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 Los actores claves**

Como era de esperarse los actores más numerosos son los sociales puesto que en el fenómeno de estudio estudiado como lo es la escases de agua los principales afectados son los sociales después son los ambientales y por último los económicos, tal y como lo indican muchos alcaldes los cuales se quejan de que los costos en los servicios del agua son mucho más altos de los que obtienen por la venta de este servicio.

#### **5.2 Las variables claves**

Dentro de las principales variables ambientales más importantes que se observan esta la precipitación pluvial la cual está clasificada como la fuente de todas las fuentes de agua y a continuación otra que más impacto ocasiona es la contaminación de los cuerpos de agua puesto que esta impacta directamente sobre la variables económicas pues incrementa los costos del tratamiento del vital líquido, en cuanto a las principales variables sociales podemos mencionar el número de habitantes en la cuenca de estudio y su correspondiente inmigración.

#### **5.3 Recolección de datos**

Los datos que se utilizaron fueron de índole primaria y secundaria tanto históricos como actuales y por lo tanto el investigador no tuvo control de ellos, únicamente los analizó, en cuanto a las fuentes en su mayoría fueron de instituciones gubernamentales, algunas privadas y otras de organismos

internacionales como las Naciones Unidas, también se utilizaron las encuestas para evaluar el nivel de satisfacción del servicio de agua.

Este apartado se enfatizó y desarrollo en la fase 3 de la metodología y consistió en la captura de las recopilaciones estadísticas del monitoreo realizado en el pasado y presente de las diferentes variables claves del análisis determinado por el grupo de expertos seleccionados, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Base datos de la población de la ciudad en el INE
- Bases de datos de ofertas y demandas hídricas en EMPAGUA
- Base de datos meteorológicos de la ciudad en el INSIVUMEH
- Demandas hídricas del sector privado a través de la oficina de producción más limpia de la Cámara de Industria de Guatemala
- Indicadores Económicos y registros de desarrollo en el Ministerio de Economía
- Datos históricos y actuales del PIB, tasa de crecimiento económico en el BANGUAT
- Consumos de Energía en el Ministerio de Energía y Minas
- Datos ambientales de contaminación de la ciudad y otros estudios sobre las tendencias de uso del agua en el Ministerio de Ambiente.
- Datos de salubridad, enfermedades de origen digestivo en el Ministerio de Salud.
- Accesos a bases de datos como OARE en universidad LANDIVAR.
- Diseño de formularios para encuestas y entrevistas a profundidad.

Dentro de este rubro de información se puedo clasificar en dos grandes apartados tales como: fuentes primarias y fuentes secundarias.

### Fuentes primarias

Se refiere a todas aquellas instituciones que monitorean directamente el fenómeno en estudio y su función es generar los registros y proporcionarlos al investigador tal es el caso como el INSIVUMEH, banco de Guatemala, EMPAGUA, INE, y las fuentes listadas anteriormente.

### Fuentes secundarias

En esta sección se definen todas aquellas instituciones, que recolectan datos de las fuentes primarias, el ejemplo más representativo lo es la cámara de industria, a través de la oficina de producción más limpia que captura información de las empresas encargadas de generar la información, otras son las entidades internacionales, como OEA, ONU, tesis, investigaciones científicas, IARNA, FLACSO, Cámara de Comercio, Instituto de turismo, Ministerio de Trabajo y previsión social, IGSS, Banco de Guatemala, revistas especializadas y otras más.

## 5.4 Índice de demanda de agua

Para el manejo de las bases de datos se utilizaron diversos programas que realizan actividades con mayor rapidez, y otros más específicos, que sirven para la modelación, dibujo, diagramas de flujo, manejos estadísticos y otros:

- Paquetes de Software como SPSS, EUREKA, MATEMATICA, MATLAB, R, PROYECT, EXCEL, VICIO, WORD, INTERNET, Google Eart, Sistemas de posicionamiento global ARC-GIS, teledetección remota satelital.

Como pudo observarse en las tablas y graficas de la sección de resultados las demandas de agua en cada zona que componen las sub cuenca sur de la Ciudad de Guatemala son muy diferentes una de la otra, pues cada zona tiene actividades económicas entre sí, lo que se ve reflejado en los volúmenes de agua necesarios para su existencia, es por ello que fue necesario

realizar este análisis el cual se condensa en los modelos matemáticos planteados para cada zona.

Como puede observarse las zonas con mayor consumo de agua dentro del sector de manufactura a nivel de la zona de estudio es la zona 12, y la zona 11, que no representa ninguna novedad, pero lo que sí es importante mencionar es que ahora ya se tiene un estimado de dicha cantidad.

Ahora para conocer la cantidad de agua que utiliza el sector privado dentro del área de estudio, se procedió a realizar el mismo análisis, con los sectores construcción, comercio y servicios. Para el caso de la construcción se consultó a la cámara de la construcción y al colegio de ingenieros de Guatemala; y para el sector comercio a la cámara de comercio, en cuanto al sector servicios, se consultó a DINEL (directorio nacional de empresas y locales), en cuanto a hoteles al instituto de turismo, finanzas, inmobiliarias, y pequeña empresa al ministerio de trabajo y previsión social. El resumen de lo investigado se presenta en los siguientes cuadros.

De igual manera para el caso de la contaminación de los cuerpos de agua, que cada día tiene a incrementarse, esto reduce la disponibilidad, neta, también sin tomar en cuenta el caudal ecológico, pues se ha desviado el cauce de, más de 40 ríos, según reportes del ministerio de ambiente y recursos naturales, esto crea un panorama menos favorable que el presentado, pero sirve de mucho como referente.

Debido a que existe mucho hermetismo en cuanto a revelar información acerca del consumo de agua, que cada industria utiliza para la producción, probable mente porque el sector privado reconoce que el recurso agua es un bien común que le pertenece a toda la sociedad y que ellos están haciendo uso para beneficiarse y lucrar con el mismo, además por no existir una ley de aguas que les obligue a reportar dichos consumos, se hace necesario buscar esta



información por fuentes secundarias que permitan estimar dicho consumo, para tal efecto se procedió como punto de partida el balance hídrico realizado por el INSIVUMEH en el año 2006.

Según estas estimaciones la demanda de agua por el sector industria crecerá en 4.2 veces del consumo al año 2005 o sea de 850 millones de m<sup>3</sup> a 3,625 millones de m<sup>3</sup>.

Con datos de la unidad de producción más limpia, de la cámara de industria se logra establecer, los porcentajes de agua utilizada en el departamento de Guatemala; la región metropolitana constituida en los municipios de Guatemala, Mixco, y Villanueva, y de estos de la ciudad de Guatemala.

Por otro lado, por medio del directorio nacional de empresas y locales (DINEL) se establecen los porcentajes de las empresas correspondientes al sector de manufactura, construcción, comercio y por último se agrupo en un solo grupo al sector de servicios, finanzas, alquileres e inmobiliarias, hoteles y restaurantes, por cada zona del área de estudio tales como las zonas 11, 12, 13, 14 y 21 pues cada una de ellas mantiene diferentes actividades económicas.

## **5.5 Índice de oferta de agua**

La oferta de agua que representa toda el agua disponible para cada una de las zonas que integran la subcuenca sur de la Ciudad de Guatemala es muy variable tanto desde el punto de vista público tal es el caso que la municipalidad de Guatemala ha declarado a la zona 14 como la zona de mayor comercio del área metropolitana la cual dota de preferencias en cuanto al suministro de agua pues es muy raro el día que hace falta agua en ese sector y desde el punto de

vista privado es una zona que cuenta con mayores recursos económicos pues en esta área existen muchos hoteles y edificios en donde si el agua que otorga EMPAGUA no es suficiente muchos de ellos han perforado posos para sufragar sus necesidades.

Bajo el criterio de que la oferta hídrica bruta se mantuviera constante, situación que hoy en día no es cierta por la variabilidad climática y los efectos del calentamiento global, reportan déficit de lluvias para la región de centro américa, según la CEPAL, en la síntesis, “La economía del cambio climático en Centro América”. 2010. indica que Guatemala tendrá un aumento de 2.0° C y una disminución de lluvia del 13% respecto al promedio 1980-2000, en un escenario pesimista.

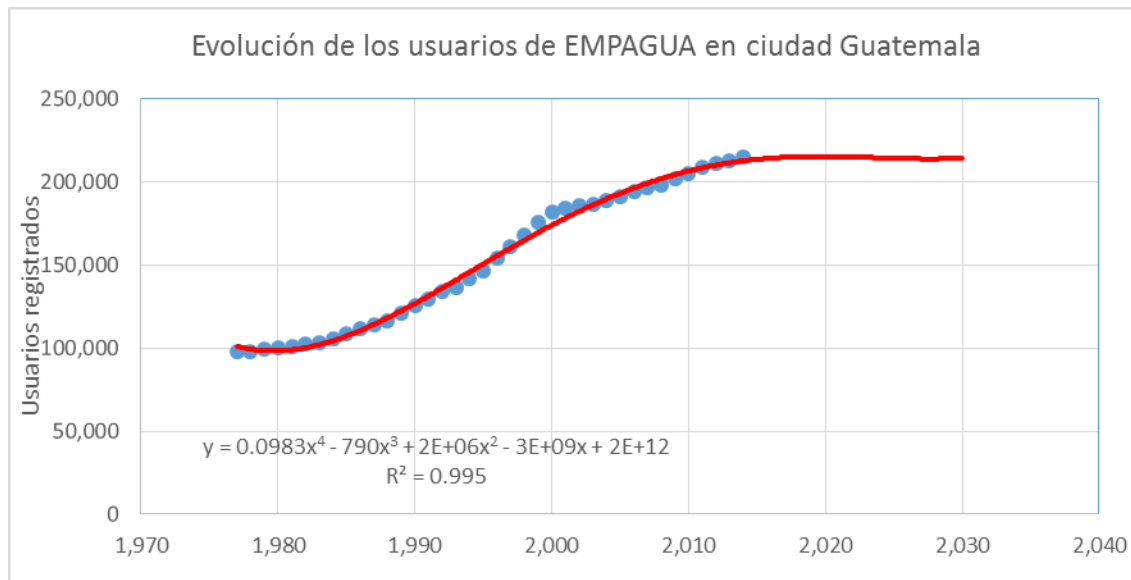
Para entender un poco como se comporta el suministro de agua en ciudad de Guatemala, se comenzó por revisar la trayectoria de los usuarios de EMPAGUA.

Tabla 134. *Evolución de los usuarios registrados de EMPAGUA.*

Año	Usuarios	Incremento
1,977	97,653	
1,978	98,200	0.56
1,979	99,101	0.92
1,980	100,520	1.43
1,981	101,252	0.73
1,982	102,549	1.28
1,983	103,509	0.94
1,984	105,250	1.68
1,985	108,660	3.24
1,986	111,854	2.94
1,987	114,256	2.15
1,988	116,490	1.96
1,989	120,936	3.82
1,990	125,471	3.75
1,991	129,536	3.24
1,992	133,813	3.30
1,993	136,626	2.10
1,994	141,537	3.59
1,995	146,662	3.62
1,996	153,881	4.92
1,997	160,881	4.55
1,998	168,235	4.57
1,999	175,356	4.23
2,000	182,198	3.90
2,001	183,800	0.88
2,002	185,887	1.14
2,003	186,800	0.49
2,004	188,655	0.99
2,005	191,107	1.30
2,006	194,082	1.56
2,007	196,521	1.26
2,008	198,200	0.85
2,009	201,787	1.81
2,010	204,649	1.42
2,011	208,662	1.96
2,012	210,828	1.04
2,013	212,397	0.74
2,014	215,210	1.32

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2015

Como puede observarse a partir del año 2000 a la fecha ha experimentado apenas un incremento promedio anual de 1.20 %



*Figura 81.* Tendencia de los usuarios de EMPAGUA al 2030

Fuente elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

Como puede observarse en la gráfica el crecimiento de los usuarios de EMPAGUA en la última década ha decrecido enormemente, y la tendencia es a que continúe en ese mismo ritmo, y además es lógico pensarlo, sabiendo que el servicio cada vez es más deficiente, pues los racionamientos se han incrementado y cada vez le llega menos agua a los habitantes de esta ciudad.

Actualmente EMPAGUA no es la única empresa que provee agua a la población de la ciudad de Guatemala, pues existen otras formas a los que dentro de esta investigación se les llamo **"agua de otros proveedores"** los cuales incluyen los siguientes sistemas tales como:

- a) La compañía de agua Mariscal S.A.
- b) Sistemas individuales de instituciones gubernamentales tales como:
  - ✓ Cuarteles y bases militares
  - ✓ Edificios públicos
  - ✓ Instituciones educativas del estado (USAC)
  - ✓ Hospitales (Roosevelt)
  - ✓ Urbanizaciones del BANVI (no todas)
- c) Sistemas de pozos privados que abastecen:
  - ✓ urbanizaciones residenciales y condominios (que ofrecen como un plus de ventas resolver el eterno problema del racionamiento del agua de los sectores populares)
  - ✓ Edificios privados
  - ✓ Centros comerciales (grandes, y pequeños)
  - ✓ Industrias (en su mayoría de alimentos y textiles)
  - ✓ A domicilios en áreas marginales por medio de camiones tanque
- d) Uso directo del agua de ríos y manantiales en áreas marginales
- e) Agua embotellada en varias presentaciones (botellas de 600 ml, garrafones de 20 litros, bolsas plásticas de 250 ml, y empresas que ofrecen el servicio de rellenar el garrafón a precios más bajos)

Según EMPAGUA al año de 1987 todos ellos representaban aproximadamente el 14.6 % tal y como lo indica el cuadro siguiente, pero algunos expertos indican que al día de hoy puede representar incluso hasta más del 60 %. En esta investigación se consideró hasta un 30 % por expertos de EMPAGUA.

Tabla 195. *Sistemas de abastecimiento de agua en ciudad Guatemala*

Sistema de abastecimiento	Producción		
	miles m3/día	Pajas	%
EMPAGUA	234.2	117,100	85.4
MARISCAL	20	10,000	7.3
Sistemas privados	20	10,000	7.3
Total	274.2	137,000	100

Fuente: EMPAGUA, 1992

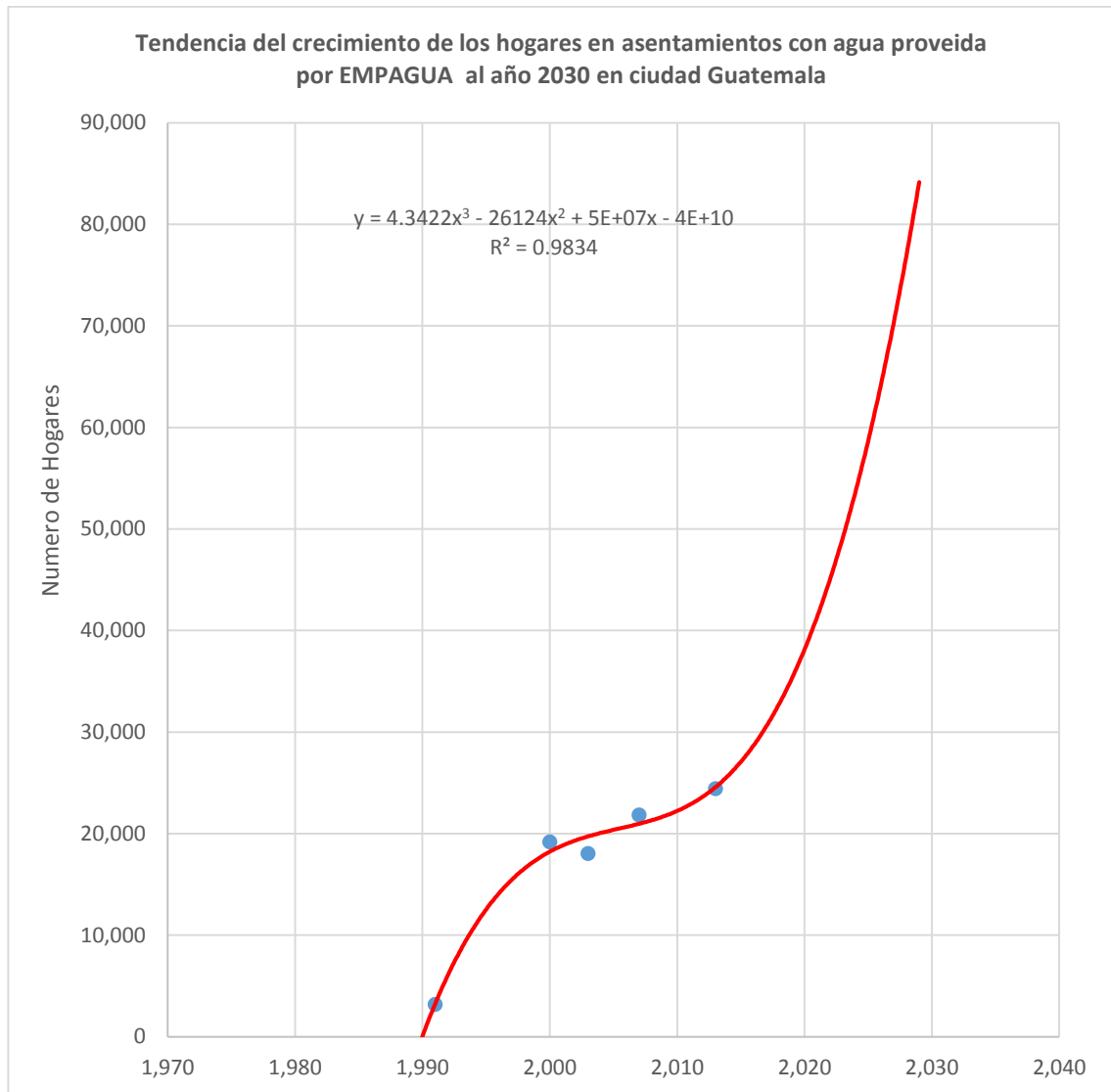
Dentro de los usuarios especiales que EMPAGUA atiende se pueden mencionar algunas instituciones gubernamentales, algunas colonias del BANVI, y principalmente algunos sectores de los asentamientos no todos, tales como los que se mencionan a continuación:

Tabla 136. Usuarios especiales de EMPAGUA

Año	Gobierno	BANVI	Asentamientos
1,991	288	5100	3,184
2,000	390	6000	19200
2,003	453	6100	18,055
2,007	477	6150	21,859
2,013	1,419	6,200	24,426

Fuente: EMPAGUA, 2012

De todos los anteriores el más importante por analizar es el del grupo de los asentamientos, que cada día tiende a crecer más, con mayor demanda.



*Figura 84.* Tendencia de los usuarios en los asentamientos

Fuente: EMPAGUA, 2013

Tabla 196. *Plantas de tratamiento de agua de EMPAGUA y sus fuentes.*

Guatemala: extracción de agua en la ciudad de Guatemala  
2000 - 2009  
(volumen anual en metros cúbicos)

Año	Planta de tratamiento	Ríos Xayá y Pixcayá (Acueducto nacional)	Ríos La Brigada, Yumar, Pansalic (Presa la Brigada)	Embalse del Teocinte: Río San Antonio, Las Pilas y La Manguita, Nacimiento de Agua Viva. Estación de bombeo Canalitos (Pozo), Río Acatán (Presa)	Río Pinula (Presa Pinula y Estación de bombeo Hincapié)	Ríos los Ocotes, Bijague, Canalitos y Teocinte Chico (Estación de bombeo Atlántico)	Volumen total anual de las plantas de tratamiento
2000	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	41,209,993	2,225,603	10,300,802	5,016,114	6,369,502	65,122,014
2001	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	37,864,356	2,324,904	8,776,342	4,092,781	6,230,677	59,289,060
2002	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	35,942,591	2,040,515	6,967,198	3,718,973	7,088,849	55,758,126
2003	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	34,212,509	2,061,379	7,854,183	4,009,047	6,840,403	54,977,521
2004	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	34,058,005	2,047,913	8,537,172	3,787,814	6,230,156	54,661,060
2005	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	37,495,964	2,139,137	7,762,612	4,131,378	6,242,363	57,771,454
2006	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	43,317,998	*	8,810,686	5,020,966	6,544,285	63,693,935
2007	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	43,318,164	*	8,811,094	5,021,518	6,544,301	63,695,077
2008	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	38,631,600	630,720	8,830,080	3,942,000	7,000,992	59,035,392
2009	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	43,226,090	175,088	8,796,252	4,459,682	6,144,462	62,801,574

Fuente: Municipalidad de Guatemala, EMPAGUA.

\* Fuera de servicio por mala calidad de agua.

En el año 2009 el acueducto Xayá Pixcayá ofertó el 68.8% a los hogares de la ciudad de Guatemala.

Fuente: EMPAGUA, 2012



Básicamente la planta que más agua provee a la ciudad capital es la planta Lo de Coy (68.8 %) con una alta dependencia de los ríos Xayá y Pixcayá tal y como lo indica la gráfica siguiente:



Figura 130. Contribución por planta al sistema ciudad Guatemala

Fuente: EMPAGUA, 2009

Tabla 197. Extracción de agua por fuente al año 2009 (en miles de m<sup>3</sup>)

Mes	Total	Fuente superficial						Fuente subterránea			
		Sub-Total	Lo de Coy	Brigada	Santa Luisa	El Cambray	Las Ilusiones	Sub-Total	Ojo de Agua	Pozos varios	Emergencia I
<b>Total</b>	<b>125,872</b>	<b>62,802</b>	<b>43,226</b>	<b>175</b>	<b>8,796</b>	<b>4,460</b>	<b>6,144</b>	<b>63,071</b>	<b>29,808</b>	<b>14,373</b>	<b>18,890</b>
Enero	11,138	5,285	3,525	-	797	367	596	5,853	2,662	1,410	1,780
Febrero	9,540	4,450	2,980	-	660	330	481	5,090	2,421	1,141	1,527
Marzo	9,988	4,442	2,772	53	704	351	562	5,547	2,629	1,224	1,694
Abril	9,936	4,469	2,871	106	629	344	519	5,468	2,628	1,231	1,608
Mayo	10,491	4,720	3,244	17	639	348	472	5,771	2,715	1,325	1,731
Junio	10,752	5,259	3,774	-	740	373	372	5,493	2,658	1,233	1,603
Julio	11,373	5,775	4,086	-	792	396	501	5,598	2,772	1,207	1,620
Agosto	10,932	5,887	4,250	-	774	340	523	5,045	2,316	1,193	1,536
Septiembre	10,401	5,697	3,971	-	819	388	518	4,705	2,091	1,104	1,510
Octubre	10,737	5,973	4,215	-	828	435	494	4,765	2,155	1,106	1,503
Noviembre	10,267	5,689	3,986	-	735	424	544	4,578	2,101	1,084	1,394
Diciembre	10,314	5,157	3,552	-	680	364	562	5,157	2,660	1,116	1,382

Fuente: EMPAGUA, 2009

Y el comportamiento de extracción de agua subterránea contra el procesamiento de agua superficial en las plantas antes mencionadas es el siguiente para el año 2009, pero este ha ido cambiando de acuerdo año con año, tal y como se observa en las tablas de estadísticas desde 1977 al 2014.

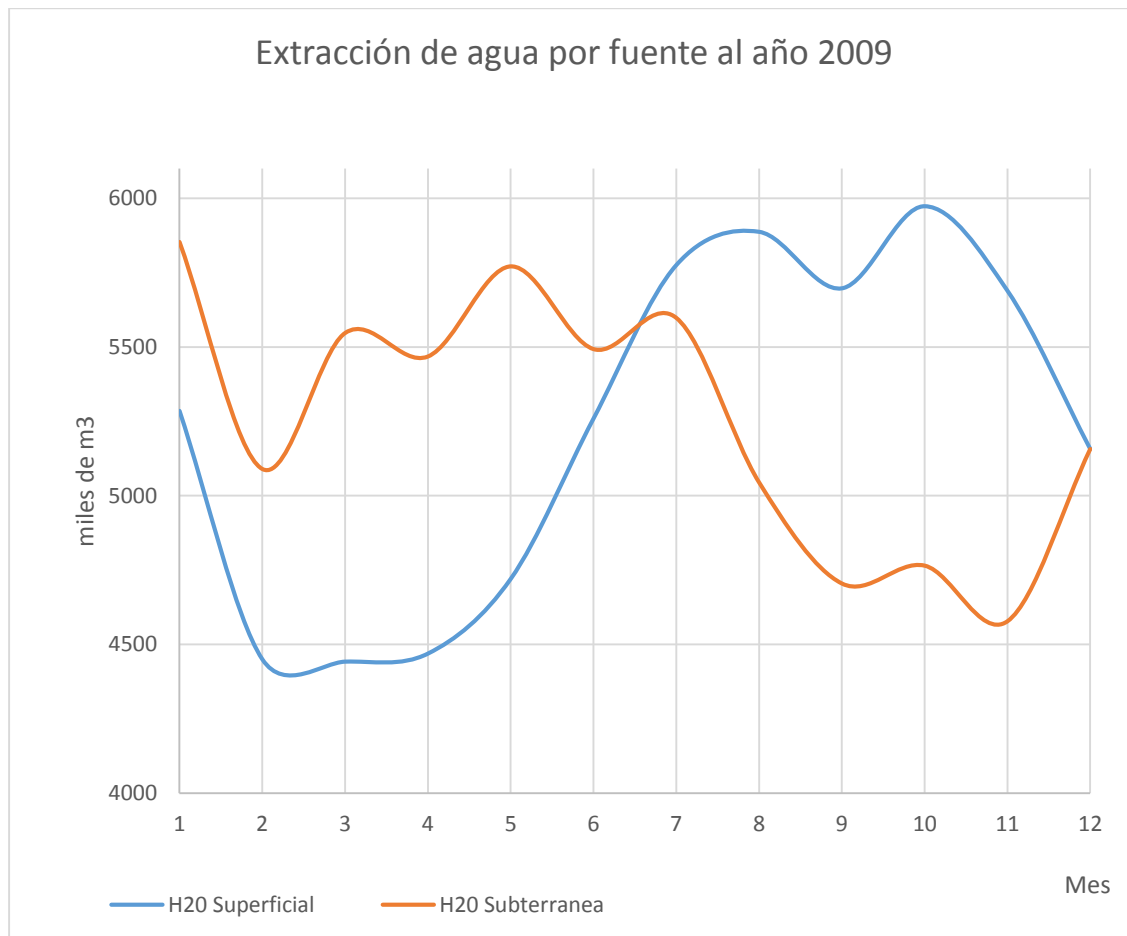


Figura 131. Extracción de agua por tipo de fuente durante el año 2009

Fuente: EMPAGUA, 2009

Como puede observarse la mayor cantidad de extracción de agua de tipo subterráneo se realiza en verano, y esta disminuye en invierno, el caso completamente opuesto ocurre con el agua superficial, la cual es baja en época de verano, pero alta en época de invierno.

Tabla 198. Producción máxima de las plantas de tratamiento al 2009

Planta de tratamiento	Capacidad de producción máxima (litros/segundo)	Producción promedio actual (litros/segundo)	Volumen de producción máximo en 24 horas (m <sup>3</sup> /día)	Volumen de producción promedio actual en 24 horas (m <sup>3</sup> /día)
Lo de Coy	1,640	1,225	141,113	105,840
Santa Luisa	370	280	31,968	24,192
Las Ilusiones	222	222	19,181	19,181
El Cambray	175	125	15,120	10,800
La Brigada	100	-	8,640	-

Fuente: Municipalidad de Guatemala, EMPAGUA, 2009

Tabla 199. Distribución del agua por zonas y plantas en la ciudad.

SISTEMAS	ZONAS
Sistema El Cambray y estación de bombeo Hincapié	9, 10, 13, 14, 15
Sistema de Pozos	1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 8, 19, 21 parcialmente
Sistema La Brigada	7, 11 y 19
Planta de Bombeo Ojo de Agua	1, 3, 8, 9, 12, 13, 14, 21 y caserío El Frutal, San Miguel Petapa
Sistema Xayá Pixcayá y planta Lo de Coy	1, 2, 3, 6, 7, 8, 11 y 19 4 y 18 parcialmente

Fuente: EMPAGUA, 2015

Con la información antes planteada y la ecuación 20 antes propuestas en esta investigación para determinar el suministro de agua por sector se procedieron a determinar de acuerdo a las siguientes tablas:

$$A = (a) + (p1) - (pa) + (p2) - (pb) + [w2] \quad \text{en m}^3 / \text{mes} \quad (\text{Ec.20})$$

Dónde:

a = Toda el agua superficial de EMPAGUA en m<sup>3</sup> / mes

p1 = Toda el agua subterránea de pozos de EMPAGUA en m<sup>3</sup> /mes

pa = Pérdidas en la red de distribución pública

$pa = (A_o) \cdot (X_{rp} / 100)$  en m<sup>3</sup> /mes

A<sub>o</sub> = Toda el agua de suministro público (EMPAGUA) superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras

$A_o = (a) + (p_1)$  en m<sup>3</sup> / mes

X<sub>rp</sub> = porcentaje (%) de pérdidas de agua en la red de distribución pública en %

$pa = (a + p_1) \cdot (X_{rp} / 100)$  en m<sup>3</sup> /mes

p<sub>2</sub> = Agua **de otros proveedores** (en su mayoría subterránea) en m<sup>3</sup> /mes

pb = pérdidas en la red de distribución privada

$pb = (p_2) \cdot (X_{rpv} / 100)$  en m<sup>3</sup> /mes

X<sub>rpv</sub> = porcentaje (%) de pérdidas de agua en la red de distribución privada

w<sub>2</sub> = precipitación que cae en el área de los asentamientos

$w_2 = (1,000) \cdot w_o \cdot (A_a)$  en m<sup>3</sup> /mes

w<sub>o</sub> = precipitación mensual acumulada en (mm) de lluvia

1 mm = H<sub>2</sub>O 1L / H<sub>2</sub>O m<sup>2</sup> = 1000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>

$(1 \text{ mm}) \cdot [H_2O (1L / m^2 H_2O) / 1 \text{ mm H}_2O] \cdot (1,000,000 \text{ m}^2 / 1 \text{ Km}^2) \cdot (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ L}$

$h_2O) = 1000 \text{ m}^3 / \text{km}^2$  o sea

A<sub>a</sub> = Superficie ocupada por las viviendas de los asentamientos en km<sup>2</sup>

Al igual que en el caso de la demanda de agua también se determinó:

A = suministro de agua de toda la ciudad

A<sub>ze</sub> = suministro de agua de la zona de estudio

A<sub>z11</sub> = suministro de agua de la zona 11

A<sub>z12</sub> = suministro de agua de la zona 12

A<sub>z13</sub> = suministro de agua de la zona 13

A<sub>z14</sub> = suministro de agua de la zona 14

A<sub>z21</sub> = suministro de agua de la zona 21

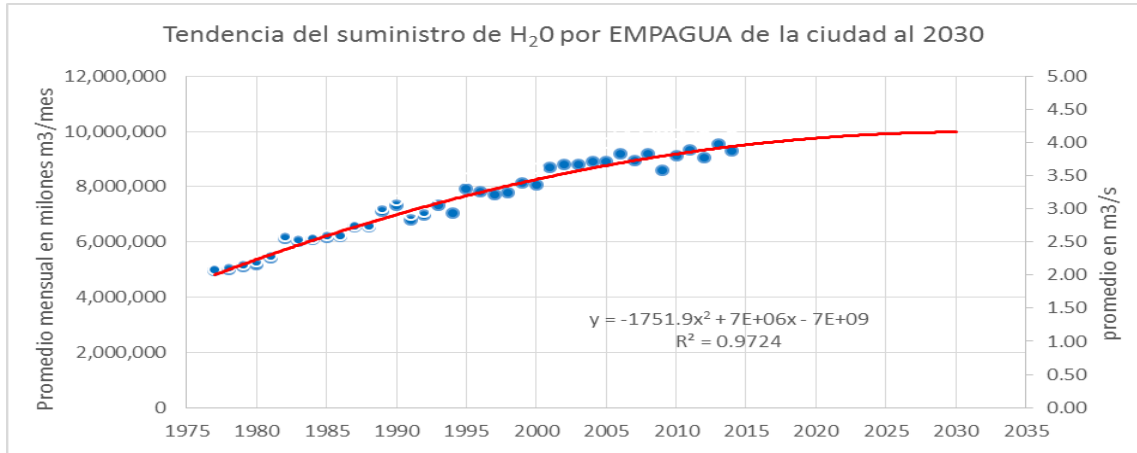


Figura 132. Tendencia del suministro de agua de toda la ciudad por EMPAGUA.  
 Fuente: Elaboración propia.2016

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos es:

$$Ac = 0.6458 (a) + 0.4514 (p1) + 1.8921 (p2) + 5066.5447 (Wo) - 241782.6848 (Aa) - 66690.5254 (Xrp) + 61467.5793 (Xrpv) + 2359662.207$$

Todas las pruebas estadísticas del suministro se presentan como ejemplo en la sección 3.7.1.1 al 3.7.1.3 de la página 163 a 166 del capítulo 3.

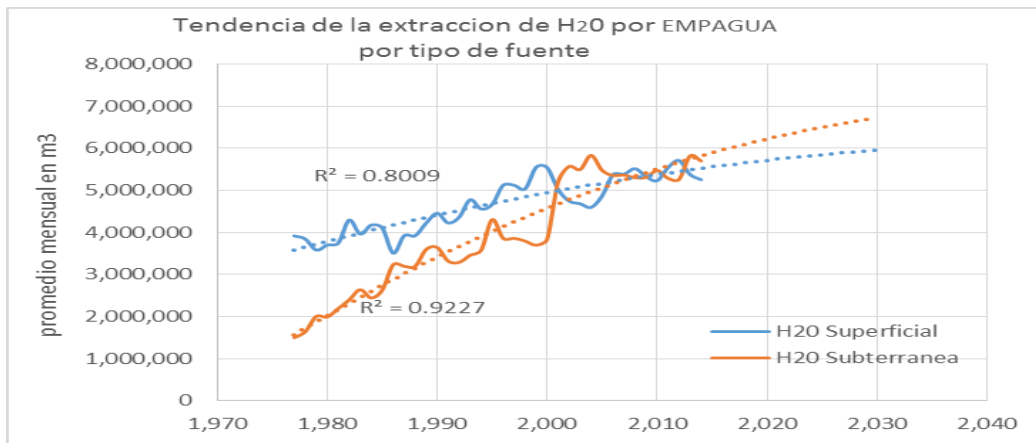


Figura 133. Tendencia de la extracción de agua de toda la ciudad por EMPAGUA.  
 Fuente: Elaboración propia.2016

## 5.6 Discusión de índice de criterios de sostenibilidad hídrica (ISH)

Para definir adecuadamente este indicador se procedió a definir algunos términos previos rápidamente tal como:

S = Sostenibilidad, que no es más que el crecimiento económico cuidando el ambiente con equidad social y que se mantenga a lo largo del tiempo.

SH = Sostenibilidad Hídrica, que es la explotación racional del agua para beneficio social cuidando de ocasionar la menor cantidad de impactos al ambiente, procurando preservar el recurso para las futuras generaciones.

ISH = Índice de Sostenibilidad Hídrica, el cual evaluará y analizará la sostenibilidad del recurso agua tanto en cantidad como en calidad, para lo cual se pretende hacer un modelo matemático que relacione el recurso agua con el crecimiento económico, cuidando el ambiente con equidad social, pues la presión que se ejerce sobre el recurso hídrico por parte de población demanda respuestas que se deben conocer para actuar sobre los posibles conflictos económicos y medioambientales, de la siguiente forma:

$$ISH = F(C_A, C_E, C_S) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para la determinación de los diferentes componentes, CA, CE, CS se hizo uso del análisis multivariado, por medio de los softwares SPSS, Excel y R, para determinar sus valores de significancia, haciendo una relación múltiple de las diferentes variables que agrupe cada componente, pues la finalidad de este análisis es determinar cuáles son las relaciones de mayor peso, de acuerdo a los análisis de confiabilidad respectivos.

Una vez conocidos los componentes CA, CE, CS ya se pudo plantear la ecuación matemática que define el ISH, y por lo tanto ya se pudo proceder a calcular el ISH actual y el retrospectivo para concluir la fase 2 de la metodología propuesta también llamada construcción de la base analítica e histórica.

Para facilitar la construcción del modelo del ISH se hizo uso del software llamado EUREKA que posee la particularidad de manejar bases de datos grandes y generar varias ecuaciones alternativas con sus respectivos análisis de error y correlaciones respectivas.

Ya con el modelo construido se pudo dar inicio con la fase 4 de la metodología propuesta llamada fase prospectiva, la cual definió los futuros escenarios en base a la probabilización de las hipótesis de acuerdo a las metodologías MORPHOL y MULTICRITERIO, cada uno con sus respectivos análisis de error y criterios de aceptación.

Para la obtención de este modelo se inició por proponer una red conceptual de multinivel tal y como se propone en la figura 4 de la página 43 de esta investigación y para ello se hizo necesario definir los criterios de sostenibilidad por cada componente que integro la sostenibilidad hídrica tal y como se definió anteriormente en la ecuación 1.

A manera de resumen se puede decir que se definieron 3 criterios de sostenibilidad hídrica ambiental: CA1, CA2 y CA3; para la sostenibilidad hídrica económica también se definieron 3 criterios: CE1, CE2 y CE3; y finalmente para la sostenibilidad hídrica social se definieron 2 criterios: CS1 y CS2.

### 5.6.1 Discusión de índice de criterio ambiental 1 f (CA1)

Este criterio dice: “Que el suministro de agua cubra las demandas de la población”, bajo el criterio que se logren satisfacer las necesidades actuales del agua, a través de una explotación sostenible de los recursos hídricos permitiendo a las próximas generaciones satisfacer sus necesidades de agua = F (CA1). Lo anterior se puede expresar matemáticamente de la siguiente forma:

$$\text{Suministro} = \text{Demanda}$$

$$1 = \frac{\text{Suministro}}{\text{Demanda}}$$

$$F(\text{CA1}) = \frac{A}{D}$$

Para definir la **F (CA1) P** (de la población) o **F (CA1) T** (Total) debe calcularse tanto la demanda (D) como el suministro (A), para lo cual se procede a proponer los diferentes modelos así: DT = Demanda Total = Dp + Dpp (Dp = Demanda de la población y Dpp = Demanda para producir).

$$F(\text{CA1}) P_{\text{ciudad}} = A_c / D_{pc}$$

$$F(\text{CA1}) T_{\text{ciudad}} = A_c / D_{Tc}$$

$$F(\text{CA1}) P_{ze} = A_{ze} / D_{pze}$$

$$F(\text{CA1}) T_{ze} = A_{ze} / D_{Tze}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z11} = A_{z11} / D_{pz11}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z11} = A_{z11} / D_{Tz11}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z12} = A_{z12} / D_{pz12}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z12} = A_{z12} / D_{Tz12}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z13} = A_{z13} / D_{pz13}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z13} = A_{z13} / D_{Tz13}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z14} = A_{z14} / D_{pz14}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z14} = A_{z14} / D_{Tz14}$$

$$F(\text{CA1}) P_{z21} = A_{z21} / D_{pz21}$$

$$F(\text{CA1}) T_{z21} = A_{z21} / D_{Tz21}$$

En las ecuaciones presentadas con anterioridad se incorpora la demanda del sector privado para producir (Dpp), la cual fue calculada para establecer la condición ideal, en la cual el suministro de agua incorpore las necesidades del



sector privado, y también sirvió en los escenarios del futuro. También se presentan sin ella para establecer la brecha del agua.

Para muchos hidrólogos la relación  $A/D$  no es más que el índice de escases de agua lo cual es cierto siempre y cuando este valor sea menor que 1 pero si es igual a 1 o mayor que este en esta investigación indica que el sistema que se está evaluando es sostenible y por lo tanto no hay escases de agua.

Este índice se logró determinar para la población al cual se le denominó  $(p)$ , y también para el sector privado  $(pp)$  que indica que se tomó en cuenta el agua que el sector industrial necesita para producir, si fuera el sector comercio sería el agua que necesita para operar.

Por lo pronto la condición real de la demanda es únicamente solo para la población a la cual se le denominó  $(Dp)$  y esta no incorpora las necesidades del sector privado para producir, en la ecuación basta con poner Cero en esta variable.

La evaluación de este primer criterio es muy importante para esta investigación pues analiza detenidamente el fenómeno de estudio de esta investigación el cual es los escases de agua.

Reiterando nuevamente que desde el punto de vista hidrológico  $F$  (CA1) es definido como índice de escasez de agua de una región, y es de vital importancia y estratégico para definir planes de acción que puedan prevenir impactos directos a la población. Además, el fenómeno estudiado en esta investigación es la escasez de agua, por tal motivo no podía dejar de ser tomado en cuenta como el primer criterio a estudiar.

Tabla 200. Resumen de los modelos matemáticos del indicador F (CA1)T

Variable	Coeficientes del modelo matematico F (CA1)T en algunas áreas de Guatemala						
	Ciudad	Zona de Estudio	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21
Intercepción	0.726582585	0.554308654	-0.020214779	0.314583722	0.874126745	0.250924694	2.69546503
a	4.22707E-08	1.51396E-07	1.08128E-06	3.2017E-07	1.68189E-06	1.98694E-06	2.22709E-06
p1	3.54148E-08	9.86329E-08	1.01328E-06	-5.24317E-08	1.55037E-06	1.50199E-06	1.61627E-06
p2	1.22881E-07	4.02427E-07	4.6255E-07	1.35837E-06	2.35547E-06	7.75544E-07	2.96973E-06
wo	0.00034309	0.000402103	0.000105309	0.000431795	0.000172235	0.000403076	0.001274507
Aa	-0.06405543	-0.06573545	-1.48360745	0.03296841	-2.545528156	0.102750155	-0.698873413
Xrp	-0.00268056	-0.0018634	-0.004397082	-0.000757338	-0.00334082	-0.003453074	-0.009000939
Xrpv	0.009121347	0.004397136	0.007451951	0.007713295	0.015068084	0.007022856	0.034202209
Xall	0.019193639	0.005730621	0.011459693	-0.009646102	0.015716036	0.003009245	0.018259942
hab.d	-8.8489E-08	1.08595E-08	6.97942E-06	6.08859E-07	1.39316E-06	4.58381E-06	-8.72575E-06
hab.e	7.47589E-08	1.06368E-07	-5.57703E-07	1.10692E-06	-9.68232E-07	-1.38652E-06	-7.73427E-05
hab.a	1.03242E-08	-1.8647E-07	-3.34904E-06	-1.79193E-06	-3.71087E-07	-1.31054E-06	-1.40658E-05
Rmm.hab.d	-0.00111832	-0.00188122	0.001936622	-0.000799638	-0.002589375	0.000354247	-0.014410089
Rmm.hab.e	0.00145959	-0.0040671	-0.00035407	-0.001026363	0.006406062	-0.005771609	0.035749681
Rmm.hab.a	0.004443095	0.014431756	-0.004385601	-0.002466399	-0.002708809	0.002525888	0
Dpp	-3.52E-08	-6.6194E-08	-4.16586E-07	-7.1595E-08	-7.95576E-07	-3.60888E-07	-3.39755E-06

Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa Excel ® 2016

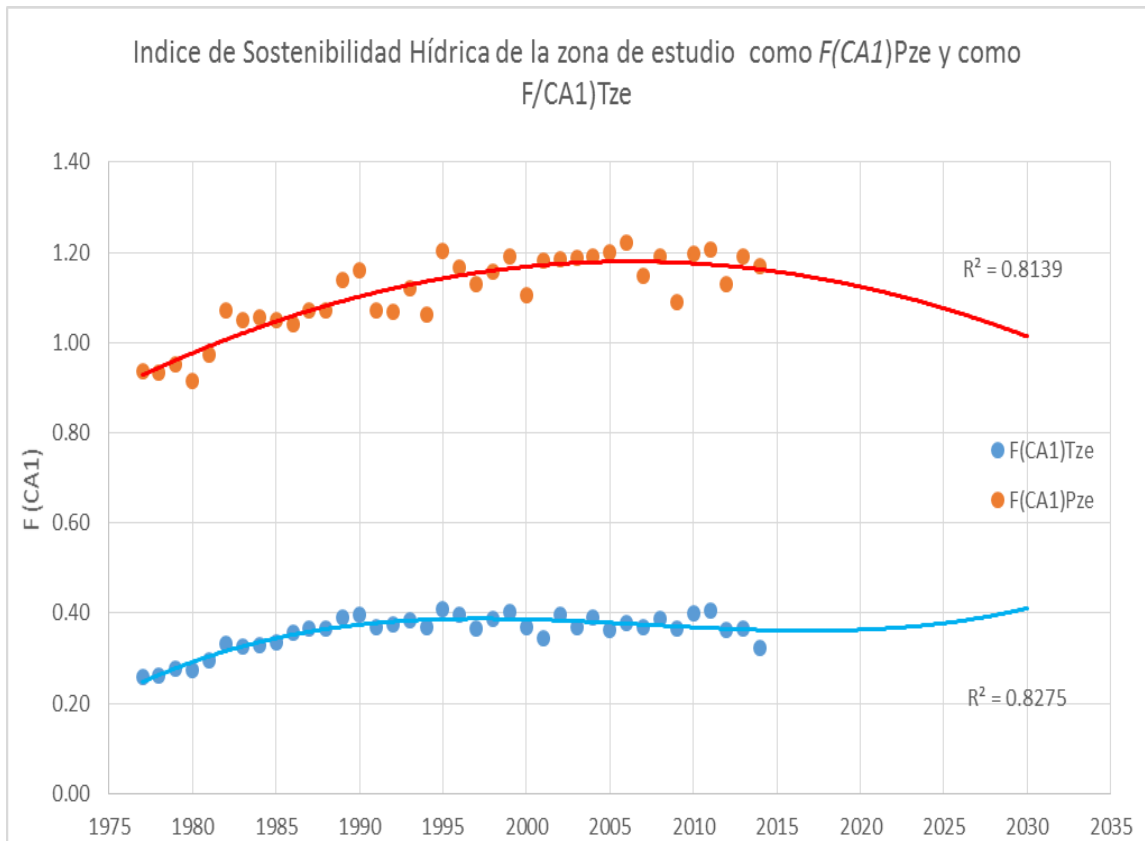
$$F(CA1)Tc = 0.72658 + 4.227E-08 (a.c) + 3.54147E-08 (p1.c) + 1.228E-07 (p2.c) + 0.0003430 (wo.c) - 0.064055 (Aa.c) - 0.00268 (Xrp.c) + 0.00912134 (Xrpv.c) + 0.01919 (Xall.c) - 8.8489E-08$$

Tabla 201. Resumen de los modelos matemáticos del indicador F (CA1)P

Variable	Coeficientes del modelo matematico F (CA1)P en algunas áreas de Guatemala						
	Ciudad	Zona de Estudio	Zona 11	Zona 12	Zona 13	Zona 14	Zona 21
Intercepción	3.165828259	1.890637249	1.890637249	2.884411049	0.089123797	0.66679084	3.560270652
a	1.43751E-07	5.49714E-07	5.49714E-07	2.92194E-06	1.25585E-07	3.01399E-06	2.67779E-06
p1	1.41049E-07	5.29302E-07	5.29302E-07	2.428E-06	1.30173E-07	2.74757E-06	2.50597E-06
p2	1.4307E-07	5.75007E-07	5.75007E-07	5.94184E-06	4.12186E-07	2.24664E-06	2.94865E-06
wo	4.09307E-05	7.01011E-05	7.01011E-05	0.00021169	4.02539E-06	4.25917E-05	8.9789E-05
Aa	-0.133332124	-0.19375749	-0.193757489	-0.860753835	0.264343843	-0.756056385	-1.227660865
Xrp	-0.004787644	-0.00824332	-0.008243325	-0.010068496	0.000385004	-0.005096718	-0.01113484
Xrpv	0.027459844	-0.00171265	-0.001712649	0.033320636	0.002710808	0.013457666	0.024725255
Xall	0.017383652	0.026755196	0.026755196	0.04428463	0.00190028	0.0120869	0.038169801
hab.d	-2.68915E-06	-1.9306E-06	-1.93055E-06	-1.05898E-05	1.78432E-06	6.10238E-06	-1.74712E-05
hab.e	-3.61084E-07	-5.5935E-07	-5.59348E-07	-4.19144E-06	1.99994E-07	-1.97336E-06	-0.000114673
hab.a	3.70891E-07	9.65705E-08	9.65705E-08	4.30725E-06	3.55328E-07	-5.68582E-07	3.11271E-05
Rmm.hab.d	-0.005465259	-0.0070477	-0.007047702	-0.010994871	0.00039531	-0.00092019	-0.018371894
Rmm.hab.e	0.014947001	-6.0466E-05	-6.04665E-05	-0.011968751	0.002858776	-0.018143987	0.043058586
Rmm.hab.a	0.011333365	0.024793806	0.024793806	-0.002552296	0.003545628	0.0172928	0

Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa Excel ® 2016

$$F(CA1)Pc = 3.16582 + 1.437E-07 (a.c) + 1.410E-07 (p1.c) + 1.430E-07 (p2.c) + 0.00004093 (wo.c) - 0.1333 (Aa.c) - 0.00478 (Xrp.c) + 0.0274 (Xrpv.c) + 0.0173 (Xall.c) - 2.6891E-06 ( hab.d.c) - 3.6108E-07 (hab.e.c) + 3.7089E-07 (hab.a.c) - 0.005465 (Rmm.hab.d.c) + 0.01494 (Rmm.hab.e.ze) + 0.01133 (Rmm.hab.a.ze)$$



*Figura 134.* Tendencia de la sostenibilidad hídrica en la zona de estudio para la población y total. Fuente: Elaboración propia. 2016

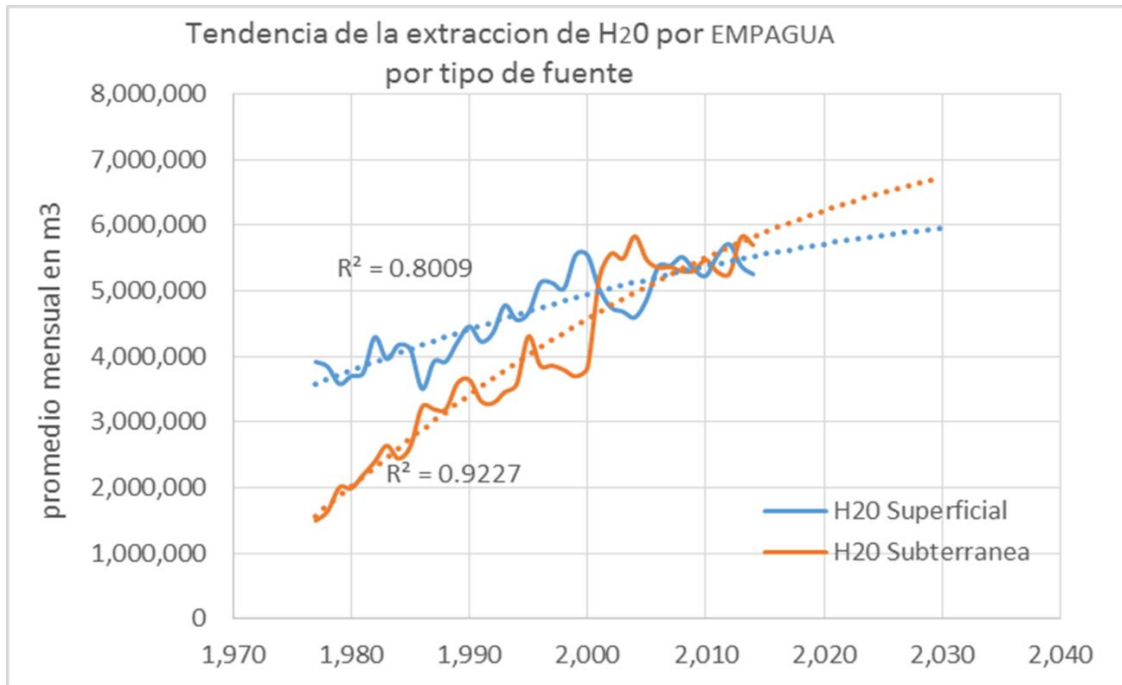
Como puede observarse en la gráfica anterior, la componente ambiental 1 también llamado índice de escasez de agua, denota para la zona de estudio dos grandes hallazgos, el primero consiste en evaluar el índice de sostenibilidad hídrico aplicado únicamente a la presión que ejerce la población denominado como  $F(CA1)P$  y la trayectoria que tiene desde 1977 al 2005 muestra que ha

mejorado desde un 0.93 hasta un 1.20 en un periodo de 28 años (0.01 % de incremento anual).

Lo anterior indica que durante ese periodo el incremento del suministro de agua para la subcuenta sur de la ciudad mejoro y sobre todo se mantuvo por arriba de la demanda de la población, pues este año con año se incrementa, por otro lado, las medidas que EMPAGUA implemento fueron muy oportunas en su momento.

Por otro lado, a partir del año 2005 se ha empezado a observar un descenso progresivo en este indicador, que muestra que, de continuar así, se estaría alcanzando para el año 2030. Si no es que antes, el punto de equilibrio, o sea la escasez de agua ya estaría alcanzando a otros sectores de la población (tradicionalmente han sido las áreas periféricas de la ciudad y los asentamientos) se estima que las primeras zonas en deteriorarse serán las 12, 21 y 11 respectivamente.

Como causa principal de este descenso, se considera entre una de las más importantes la cada día más dependencia del recurso hídrico subterráneo, tal y como se muestra en la siguiente gráfica, que a partir del año 2008 la tendencia comenzó a marcarse a tal punto que se espera como escenario tendencia que para el año 2030 este recurso hídrico será el que más se utilice alcanzando valores cercanos a los 7 millones de metros cúbicos como un promedio mensual.



*Figura 135.* Tendencia de la extracción de agua de toda la ciudad por EMPAGUA  
Fuente: Elaboración propia, 2016

Las anteriores proyecciones de extracción de agua se realizaron bajo el criterio de que solo EMPAGUA extrae del subsuelo del valle de la ciudad de Guatemala, pero eso no es cierto, pues existen otros sectores tales como el sector privado que maneja el crecimiento inmobiliario compuesto por todas las colonias, condominios y proyectos habitacionales verticales que han tenido un crecimiento apreciable en la última década, y que al parecer esta será la tendencia habitacional en ciudad Guatemala, con una alta demanda de agua en menores áreas ocupadas (lo cual incrementa la densidad poblacional, que será otro nuevo fenómeno social a considerar en posteriores estudios)

Otro sector tan importante a considerar corresponde también al sector privado que utiliza el agua para producir, el cual se abastece de agua por medio

de pozos, y en su momento el desafío fue conocer los volúmenes que cada sector extrae.

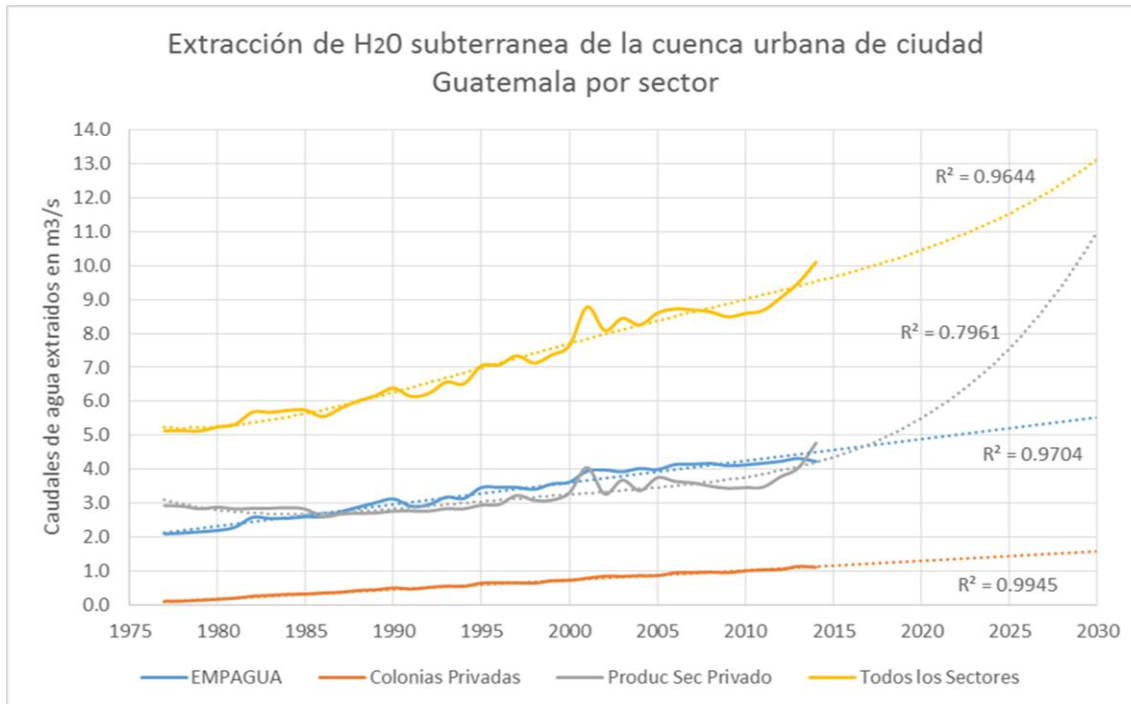


Figura 136. Volúmenes de agua subterránea extraídos por cada sector.

Fuente: Elaboración propia, 2016

Entonces después de establecer aproximadamente los caudales de agua extraídos por cada sector, se puede concluir que existe una clara competencia en cuanto a la extracción de agua por el sector privado para producir y el sector público representado por EMPAGUA, ambos sectores extraen en diferentes puntos de la cuenca urbana de la ciudad alrededor de unos 4.5 metros por segundo, y por su parte el sector de las colonias privadas 1.2 m³/s para alcanzar un valor total de 10.2 m³/s.

Ahora que ya se conoce un valor aproximado de la cantidad de agua que se extrae, la pregunta que surge nuevamente y que fue la que originó la idea de

investigar fue: ¿Se contara con suficiente agua para abastecer a la población actual y futura de la ciudad de Guatemala?

Analizando la anterior pregunta se establece que tiene dos respuestas, la primera consiste en indicar que actualmente si se cuenta con el agua necesaria para abastecer a la población puesto que F (CA1)P al año 2017 es de 1.17, y la segunda respuesta involucra a la pregunta central de investigación que dice:

¿Existe alguna forma de establecer, sobre si se contara con el recurso hídrico suficiente y sostenible en un futuro cercano, sobre una cuenca urbana, donde se ejerce mucha presión sobre el recurso agua?

Para responder adecuadamente se necesita considerar lo que indica el escenario tendencia, que para año 2030 F (CA1)P será 1.02 o sea llegando al umbral que marca la escasez de agua de forma teórica, pero la percepción por parte de la población será más acentuada.

Ahora bien, de acuerdo al escenario pesimista el F (CA1) P estará en 0.75 cifra nunca alcanzada en ciudad Guatemala, con altas probabilidades de conflictos sociales en zonas populares como 12, 21 e inclusive la 11, lo anterior está respaldado sobre los siguientes estudios:

En 1978 el INSIVUMEH realizó un balance hídrico en las subcuencas norte y sur (la del río Villalobos fue una de ellas) del valle de la ciudad de Guatemala, y se determinó que el resultado del balance ya era negativo o sea se estaba extrayendo más agua de la que ingresaba al acuífero con descensos apreciables en los niveles.

En 1982 un grupo de expertos contratados por el PLAMABAG (Plan Maestro de Abastecimiento de Agua de la ciudad) estimó que el acuífero subterráneo localizado en el valle de la ciudad de Guatemala poseía una recarga de unos 100 a 120 millones de m<sup>3</sup>/año (3.9 m<sup>3</sup>/s) y recomienda a EMPAGUA que una explotación de 1 m<sup>3</sup>/s, durante un período de diez a 15 años era muy apropiado para no explotar al acuífero.

Posteriormente en 1989 el Proyecto de Rehabilitación del Abastecimiento de Agua de la Ciudad de Guatemala (REAGUA) publica los resultados de un estudio con una duración de 20 años, desde 1968 a 1988 en el que muestra descensos de nivel de hasta 30 metros en algunas áreas del valle, pero en promedio de 0.9 m/año, atendiendo a esta información desde 1988 al 2018 ya harán transcurrido 30 años con un descenso total de 27 metros equivalentes a 89 pies.

De acuerdo a estudios más recientes realizados por la dirección de aguas subterráneas de EMPAGUA, en la estación de bombeo de Ojo de Agua y El Diamante han mostrado reducciones promedio de 9 y 25 metros, respectivamente, para el periodo 1968-1996. En promedio se puede decir que en los pozos del Ojo de Agua se ha observado el descenso de 13.2 metros en nueve años, mientras que para El Diamante ha sido de 22.3 metros en siete años. También reportan que el acuífero de las calizas de la zona norte, evidencia también la disminución de los niveles según la siguiente gráfica:

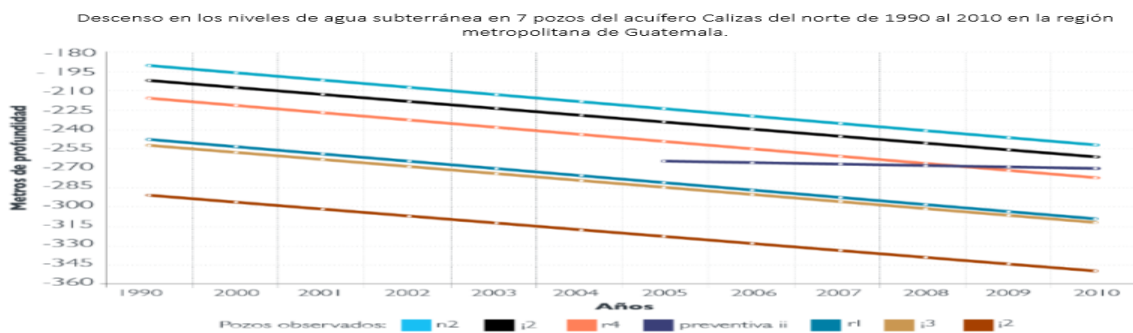


Figura 137. Descenso de niveles en pozos de EMPAGUA zona norte. Fuente: Iarna, 2016



Tabla 202. Porcentaje de extracción de agua por cuenca y profundidad de pozos.

Cuenca	% de agua Subterránea para el consumo en el área metropolitana	Profundidad de pozos en metros	Municipio de Ubicación
Aguacapa	1	150 - 210	Fraijanes
Amatitlán	1	90 - 300	Villa Canales Amatitlán Villa Nueva San Vicene Pacaya
El Cangrejal	0	150 - 210	Fraijanes
El Zapote	6	150 - 600	San Raymundo San Juan Sacatepéquez San Pedro Sacatepéquez Mixco Chinautla
La Cuya	0	120 - 450	San José Pinula
Las Cañas	3	180 - 390	Chinautla San Pedro Ayampuc Guatemala
Las Flores	0	150 - 330	Fraijanes
<b>Las Vacas</b>	<b>32</b>	150 - 210	Mixco Santa Catarina Pinula Guatemala Chinautla
Lo Diéguez	1	150 - 315	Fraijanes
Los Ocotes	3	120 - 390	Santa Catarina Pinula San José Pinula Guatemala
Michatoya	5	24 - 330	Sabta Narua de Jesus Antigua Guatemala Magdalena Milpas Altas Villa Nueva Amatitlán Palín San Vicente Pacaya Escuintla
Paxot	1	120 - 180	San Juan Sacatepéquez San Pedro Sacatepéquez
Rustrián	0	90 - 210	Santa Catarina Pinula
Sactzi	0	270 - 300	San Pedro Sacatepéquez San Raymundo
Teocinte	3	90 - 450	Fraijanes San José Pinula Palencia Guatemala
<b>Villalobos</b>	<b>35</b>	<b>30 - 600</b>	San Juan Sacatepéquez San Pedro Sacatepéquez Santiago Sacatepéquez San Lucas Sacatepéquez San Bartolomé Milpas Altas Santa Lucía Milpas Altas Magdalena Milpas Altas Mixco Guatemala Villa Nueva Santa Catarina Pinula Villa Canales San Miguel Petapa
<b>Xayá-Pixcayá *</b>	<b>9</b>	90 - 150	Chimaltenango

Fuente: Iarna, 2016 / \* incluye extracción por pozos de 4 subcuencas.

De las de las 16 cuencas que abastecen de agua a la región metropolitana, las cuencas más explotadas para extraer agua son Las Vacas, Villalobos y Xayá-Pixcayá.

Y apoyando los estudios anteriores cuando se entrevistó a un experto en junio del 2016 en la perforación de pozos del área metropolitana indico que para el año 1990 el agua se encontraba con facilidad a 160 m. de profundidad, luego para el año 2005 la encontraban a 410 m. y para el 2013 la alcanzaron hasta los 650 m. y por lo tanto el costo se ha quintuplicado y por lo tanto ya no cualquier persona lo puede contratar.

En resumen podemos indicar que si en 1982 la recarga hídrica era de 3.9 m<sup>3</sup>/s y ya se estaba extrayendo 5.2 m<sup>3</sup>/s, en el 2013 la recarga fue de 221 millones m<sup>3</sup>/año (7.002 m<sup>3</sup>/s) y se extrajo los 10 m<sup>3</sup>/s efectivamente el balance ha sido negativo, ahora bien atendiendo al crecimiento de la ciudad y sobre todo al incremento de la carpeta asfáltica (impermeabilización del suelo), más los efectos del cambio del uso de suelo al incrementarse las áreas deforestadas y sustituidas por viviendas, hacen pensar que toda esa agua que se infiltraba hacia los acuíferos de la ciudad se han disminuido grande mente según se puede observar en las siguientes gráficas.

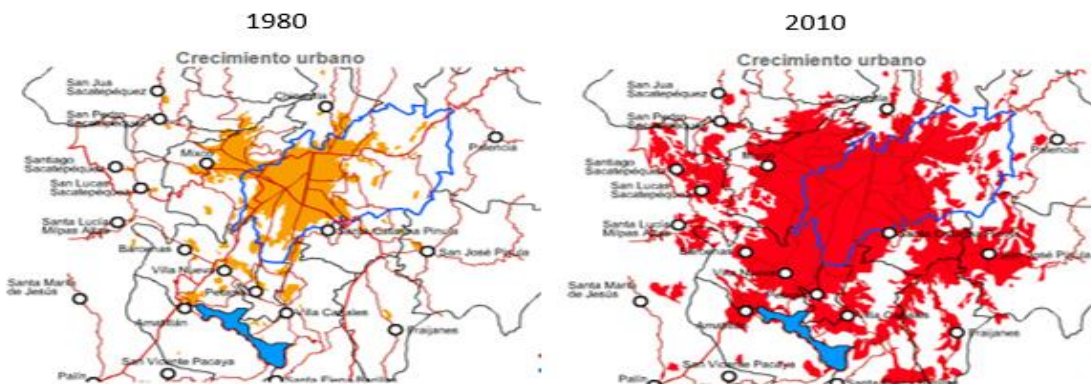


Figura 138. Crecimiento de la región metropolitana de Guatemala. Fuente: Municipalidad de Guatemala, POT. 2016

Según el POT indica que la ciudad de Guatemala en 30 años se ha extendido casi 3.5 veces.

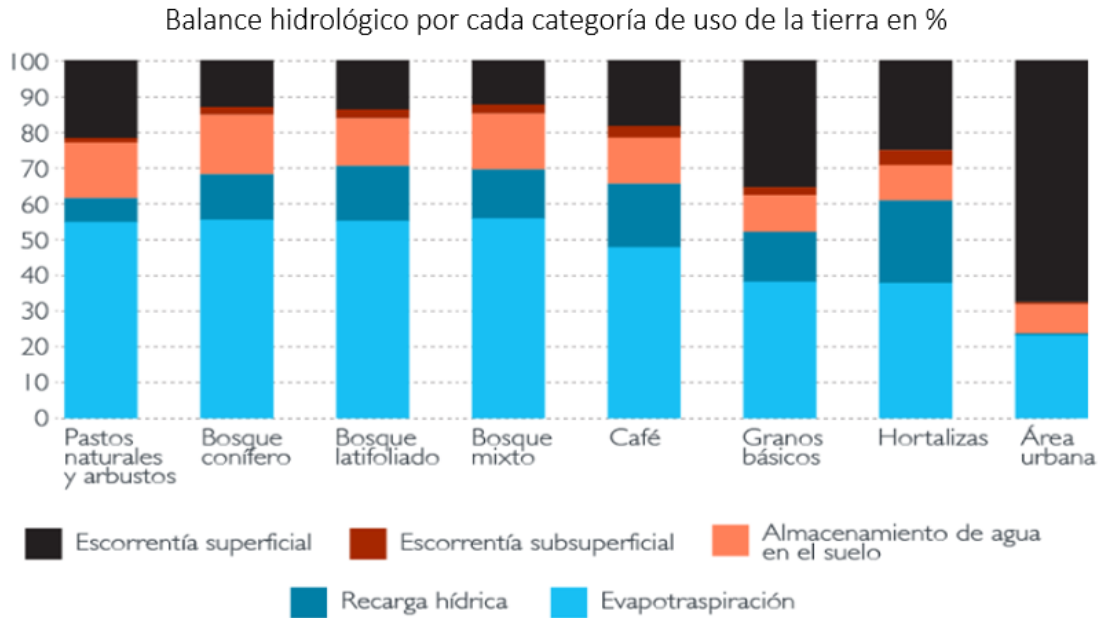


Figura 139. Balance hídrico en % en la cuenca urbana. Fuente IARNA, 2015

La recarga hídrica en un área urbana apenas alcanza el 0.5 % por lo tanto se debe invertir en mejorar cualquier área verde, para incrementar y optimizar cualquier espacio, desde el punto de vista económico extraer agua del acuífero es más caro, pero menos contaminado y su tratamiento de potabilización es mucho más barato, si EMPAGUA usara este recurso tendría serios problemas económicos pues limita los escasos recursos de EMPAGUA para invertir en nuevos proyectos que mejoren la condición del suministro.

En cuanto al segundo hallazgo se trata de incorporar la demanda de agua del sector privado para producir, dentro de la ecuación de la sostenibilidad hídrica, también llamada F (CA1)T. El punto central es que países más desarrollados como Panamá, también atienden la demanda de agua de la

industria y el comercio y por lo tanto no invierten tiempo y recursos en atender los problemas de abasto de agua y se dedican con mayor atención a sus actividades propias de generación de riqueza. En cuanto a la trayectoria que tiene esta curva desde 1977 al 2014 muestra que ha mejorado en 20 puntos en todo el periodo, casi se podría estar hablando de un 0.54 % anual de forma consistente.

En cuanto a los volúmenes de agua que necesitaría EMPAGUA para abastecer a este sector se estaría hablando de un 14.5 m<sup>3</sup>/s cifra aproximada de la cual muchos hidrólogos mencionan en sus estudios y constituye al escenario deseado.

### **5.6.2 Discusión de índice de criterio ambiental 2 f (CA2)**

Para el análisis de este criterio de sostenibilidad ambiental se considero que como consecuencia del calentamiento global existe un incremento de temperatura ambiente y por esta causa la población incrementa su consumo de agua y a este fenómeno se le denomino Demanda de agua por calentamiento global (Dcc) y la forma en que este incremento de agua afecta al primer criterio es directamente a la demanda del agua, por lo tanto, el nuevo modelo a evaluar quedo como:

$$F (CA1, CA2) = \frac{A}{[(D) [Dcc]]}$$

A simple vista se puede observar que este segundo criterio disminuye el índice de escases de agua, ósea incrementa el problema del agua en la Ciudad el cual tuvo que ser incorporado a consecuencia del cambio climático.

Por último, en la figura 72 se puede observar que desde 1977 hasta el año 2014 la anomalía de temperatura se ha incrementado desde  $-0.5^{\circ}\text{C}$  hasta  $1^{\circ}\text{C}$  lo cual indica que es una evidencia clara y precisa del incremento de temperatura por efectos del calentamiento global lo cual es real y desafortunado para el ecosistema de la ciudad exactamente en la sub cuenca sur del valle de la ciudad de Guatemala.

El criterio de sostenibilidad hídrico dice que no se puede dejar de considerar que la demanda de agua sea afectada por el calentamiento Global = F (CA2)

Según los resultados observados se puede observar fácilmente que el factor de demanda por calentamiento global se aplicó casi al 80 % de todos los datos de demanda, pues el calentamiento global es un hecho, y no son puramente repeticiones de discursos importados.

En este trabajo de investigación se logró establecer que a partir del año de 1990 la temperatura media mensual del ambiente supero la temperatura media promedio interanual de toda la serie en todos los meses del año, y a partir del año de 1990 ya no ha logrado bajar, por el contrario, sigue en aumento, al punto que para el año 2015 ha alcanzado un valor de  $0.94^{\circ}\text{C}$  por arriba de la medida interanual de la serie estudiada desde 1970 al 2015. (Apenas 45 años, se recomienda hacer análisis de más de 100 años si se puede)

Este factor de demanda por calentamiento global (Dcc) originalmente fue diseñado para aplicarse a la demanda de agua que la población ejerce propiamente dicho (Dp), pero posteriormente se aplicó a la demanda total (DT) o sea aquella que incluye la demanda del sector privado para producir, y la razón primordial es porque muchos productos que utilizan agua, principalmente el sector de bebidas, incrementa su producción en temporadas de mayor calor al año y esto por supuesto incrementa la demanda.

### 5.6.3 Discusión de índice de criterio ambiental 3 *f* (CA3)

Este tercer criterio dice: es imprescindible que se minimice la cantidad de contaminación en peso que se vierte al sistema hídrico = *F* (CA3).

La forma más adecuada que se logró establecer de acuerdo a la información existente para medir este índice fue:

$$F (CA3) = V = \frac{H_2O \text{ Residual tratada}}{H_2O \text{ Residual Generada}} = 1$$

Lo que la ecuación anterior quiere decir es que mientras toda el agua usada y contaminada en el sistema ciudad pueda ser tratada y regresada nuevamente al ambiente, en este momento podrá llegar a pensarse en la sostenibilidad de este criterio.

De igual manera para el caso de la contaminación de los cuerpos de agua, que cada día tiene a incrementarse, esto reduce la disponibilidad, neta, también sin tomar en cuenta el caudal ecológico, pues se ha desviado el cauce de, más de 40 ríos, según reportes del ministerio de ambiente y recursos naturales, esto crea un panorama menos favorable que el presentado, pero sirve de mucho como referente.

De la tabla 133 de la pág en la que determina el índice de sostenibilidad como *F* (CA3) muestra que no llega ni al 1% lo cual indica que muy poca del agua contaminada es tratada, por lo tanto su afectación al agua de suministro es prácticamente nula debido a que la principal fuente de abastecimiento de agua a

la sub cuenca sur (65%) proviene de los ríos Xaya-Pixcaya y el restante es de agua subterránea.

Se estableció que la sub cuenca sur del valle de la ciudad de Guatemala contamina al ambiente en un 29% y que el 71% se va para la sub cuenca norte afectando al final al río Motagua, la sub cuenca sur lo hace específicamente al lago de Amatitlán por medio del río Villalobos que esta fuera del área de estudio de esta investigación, pero como en su recorrido este río pasa al lado de la fuente de suministro de agua subterránea que abastece a las zonas 12 y 13 de la sub cuenca sur se consideró que en algún momento en un futuro podría llegar a contaminar la fuente de agua se le asignó un peso en la fórmula del 5%, algunos especialistas suelen denominar a este fenómeno como externalidades, pues aunque no afecten al sistema en sí si lo hacen directamente a otras cuencas.

Para cuantificar este criterio es necesario conocer las cantidades de vertidos y flujos de aguas residuales que se desechan anualmente, es por ello que se logró recopilar la siguiente información:

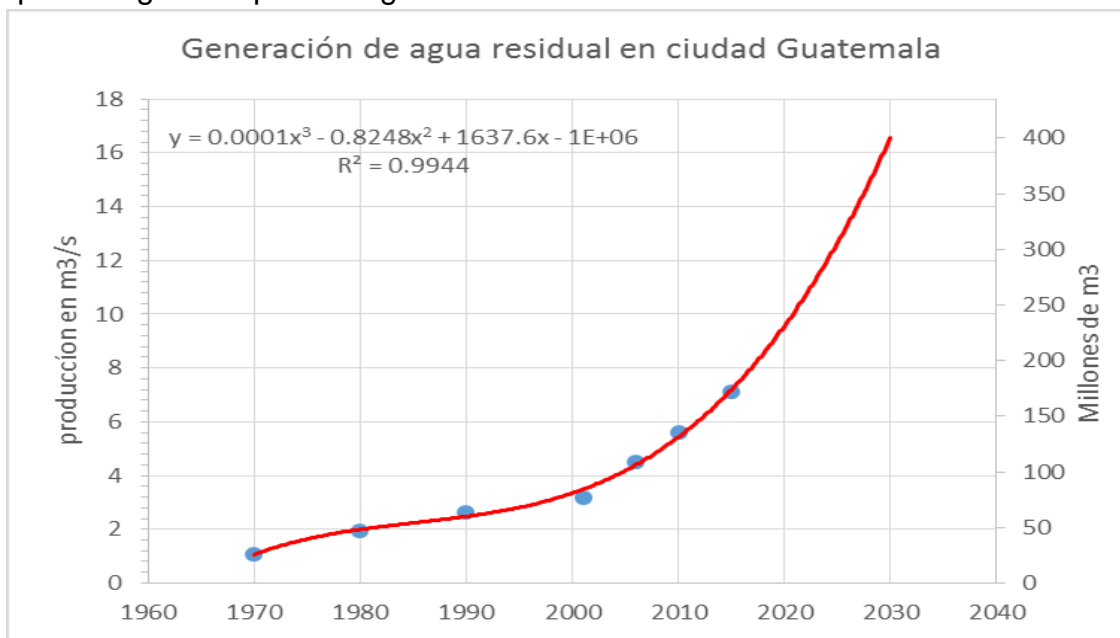


Figura 70. Tendencia de las aguas residuales en ciudad Guatemala

Fuente: Elaboración propia con datos del MARNS, 2016

Para el caso de la recopilación de datos de las aguas residuales tratadas, de la subcuenca sur, se utilizaron las bases de datos del Ministerio de ambiente, INE, SEGEPLAN, AMSA, USAC, más las visitas de campo.

La situación actual en el tema del tratamiento de las aguas residuales es penosa, y muestra una dejadez por parte de las autoridades, pero en últimos años la iniciativa privada ha mostrado síntomas de interés y de responsabilidad social empresarial. Se ha detectado que aún no existe conciencia ambiental, principalmente de alcaldes para resolver el tema. En base a la ecuación de la gráfica se genera una tabla con datos más precisos.

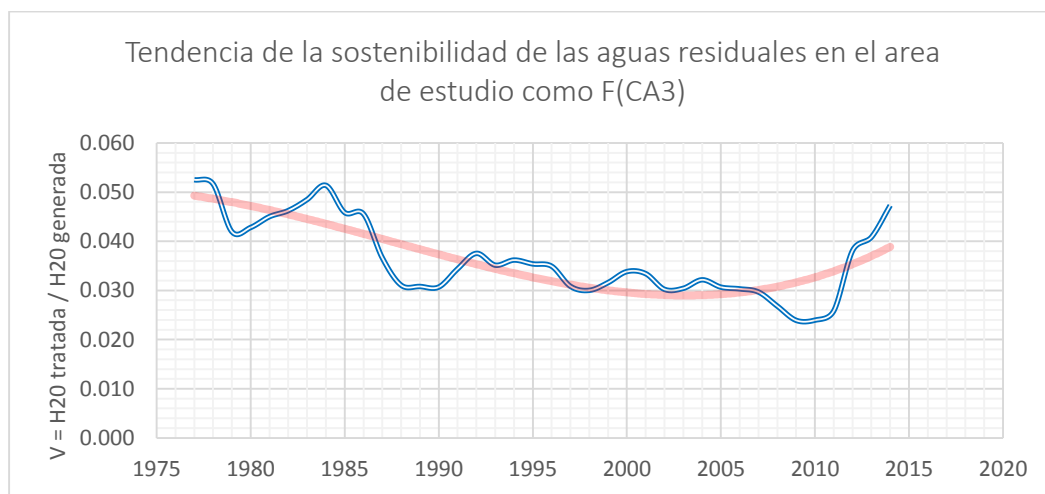


Figura 74. ISH del agua residual en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con datos de MARNS, INE, USAC, AMSA.

#### 5.6.4 Discusión de índice total de la componente ambiental $f$ (CA1, CA2, CA3)

Inicialmente se modeló con valores para  $a$ ,  $c$ ,  $d$ , y  $\theta = 1$ , tal y como se analizó los criterios anteriores, por otro lado la razón por la cual los vertidos multiplican al suministro es porque una contaminación a la fuente de agua (aguas subterráneas del ojo de agua, muy cercanas al río Villalobos) en lo que impacta es a minimizar el suministro, por lo tanto el valor del exponente de los vertidos



(b) se propuso como un impacto del 5 %, pues durante 37 años de análisis (1977 a 2014) no se ha encontrado evidencia de contaminación, pero tampoco se descarta.

De lo que si hay evidencias claras es de una gran contaminación aguas abajo y es a lo que le denominó como externalidades del problema.

Después de varios intentos de modelación con niveles de ajuste bajos entre los datos observados y los modelados, se escogió como modelo aceptable, el generado por el programa EUREKA®, de la empresa de NUTONIAN, basado en redes neurales, y los resultados obtenidos son:

$$ISH = 56.1 + 4.4e-11D^2 + \frac{-1.07e12}{1.01e6A + 2.61e10 \sin(0.433 + 0.296D V)} - 9.69e-5 D - 1.24Dcc$$

Con los siguientes valores de ajuste:

Coefficiente de correlación = R = 0.9484699

Coefficiente de correlación ajustado R2 = 0.89958639

Error máximo = 0.045784927

Error medio cuadrático = 0.00033703034

Error medio absoluto = 0.013762569

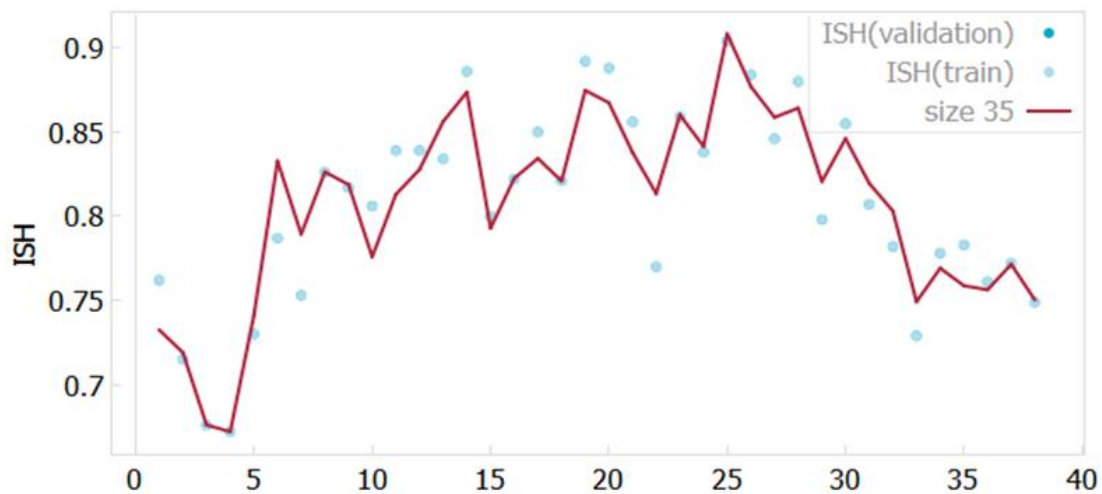


Figura 78. Curva ajustada del modelo propuesto. Fuente elaboración propia, 2016.

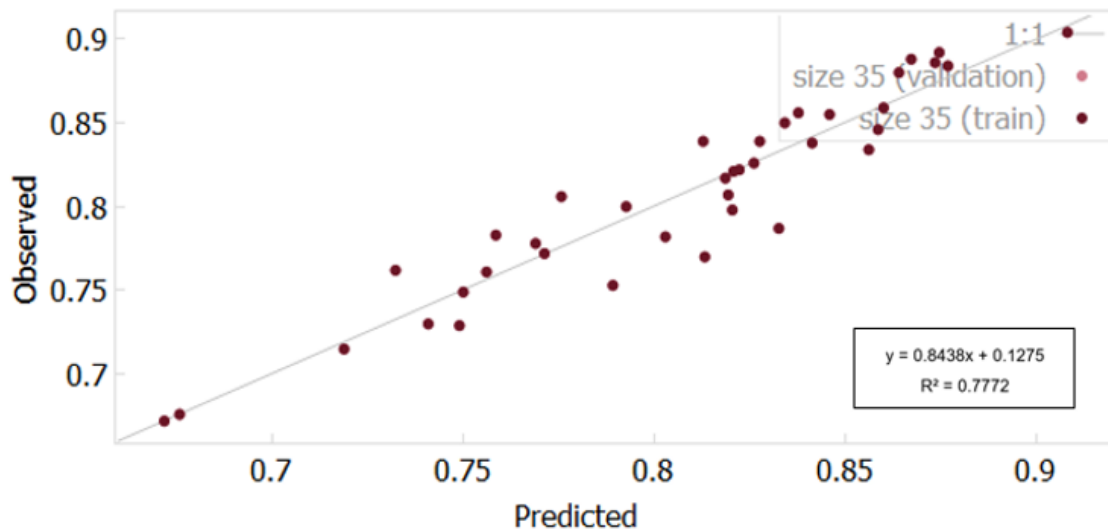


Figura 140. Ajuste del modelo propuesto para las 3 componentes ambientales. Fuente: Elaboración propia 2016

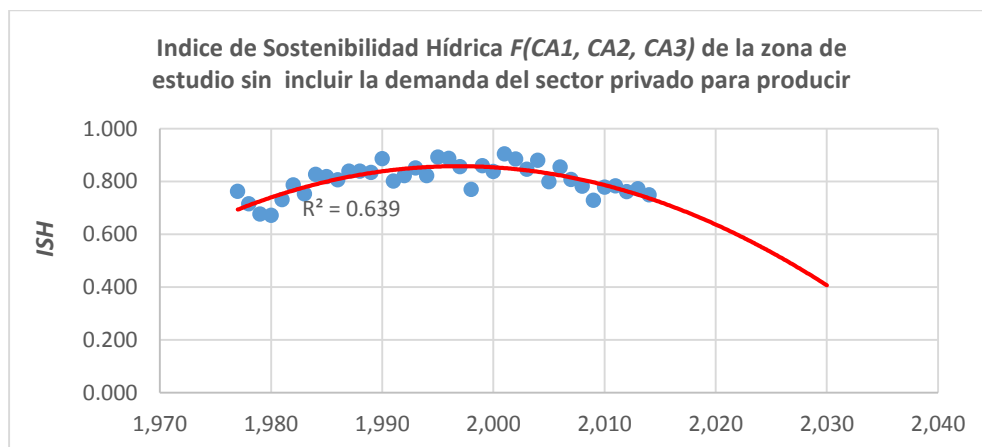


Figura 75. ISH con todas las componentes ambientales, Fuente: elaboración propia. 2016

Obsérvese que, según la tendencia de la sostenibilidad hídrica ambiental, tiende a disminuir hasta un valor de 0.40 si no se hace nada para el año 2030. Ahora que ya se conocen los tres componentes que definen la sostenibilidad ambiental, el desafío fue que tipo de relación deberían mantener unos con otros, se pensó en un momento que podría ser un simple promedio y darles el mismo peso, pero posteriormente se analizó la relación y se propuso la siguiente ecuación:

$$F(CA1, CA2, CA3) = \frac{\theta * (A^a * V^b)}{(D^c * D_{cc}^d)}$$

### 5.6.5 Discusión de índice de criterio económico 1 f (CE1)

Según el enunciado del criterio planteado dice: Para que cualquier sistema se mantenga, los costos de operación deben ser cubiertos por las tarifas prestadas = F (CE1)

Para cuantificar este criterio de sostenibilidad económica hubo necesidad de hacer una minuciosa investigación para saber cómo opera EMPAGUA, desde el punto de vista técnico administrativo y se encontraron los siguientes hallazgos\_

Las tarifas de EMPAGUA no han sido modificadas desde el año 2004 y actualmente funcionan bajo el sistema de bloques crecientes. Pero desde 1990 al 2003 sufrieron 5 modificaciones y varias derogatorias, con el afán de hacer sostenible financieramente la operación de EMPAGUA.

Tabla. 203. *Historial de las tarifas del agua en ciudad Guatemala*

		cargo fijo 0		cargo fijo 2		cargo fijo 10		cargo fijo 10		cargo fijo 16	
		Antes de 1992		Durante 1992 y 1993		De 1994 a 2000		Del 2001 al 2003		Del 2004 al 2016	
Sectores	Consumo por Sector	Rango de consumo	Valor Fijo en Q.	Consumo max por sector en m3	Valor Fijo en Q./m3	Consumo max por sector en m3	Valor Fijo en Q./m3	Consumo max por sector en m3	Valor Fijo en Q./m3	Consumo max por sector en m3	Valor Fijo en Q./m3
Marginal	Minimo	1		1		1		1		1	
	Promedio	10	1.13	10	0.2	10	0.5	10	0.7	10	1.12
	Maximo	20		20		20		20		20	
Económico	Minimo	21		21		21		21		21	
	Promedio	30	2.00	30	0.6	30	0.8	30	1.1	30	1.76
	Maximo	30		40		40		40		40	
Normal	Minimo	31		41		41		41		41	
	Promedio	52	4.66	52	0.8	52	1	52	1.4	52	2.24
	Maximo	60		60		60		60		60	
Intermedio	Minimo	61		61		61		61		61	
	Promedio	150	6.98	87.8755879	1.3	87.8755879	2	87.8755879	2.8	87.8755879	4.48
	Maximo	240		120		120		120		120	
Alto Consumo	Minimo	241		121		121		121		121	
	Promedio	270	9.31	234	1.5	234	2.5	234	3.5	234	5.6
	Maximo	300		300		300		300		300	

Fuente: Municipalidad de Guatemala. 2016

Actualmente EMPAGUA cuenta con 5 plantas de tratamiento de aguas superficiales de las cuales la planta lo de Coy es la que abastece en un 69 % de agua a la ciudad, y además con un total de 91 pozos distribuidos en toda la ciudad de los cuales el sistema Ojo de agua es el que más agua extrae, entonces desde el punto de vista estratégico, cualquier novedad que exista en cualquiera de estos sistemas afectara grandemente a buena parte de la ciudad.

Actualmente los usuarios de EMPAGUA no superan los 210,000 usuarios y está tendiendo a estancarse a razón de 1.2 % anual mientras que el crecimiento de viviendas en la ciudad anda alrededor del 3.8 % lo que indica que cada se incrementa el número de usuarios de los que EMPAGUA no puede atender (sector privado de inmobiliarias, colonias y condominios) o sea se está incrementando la extracción de agua subterránea sin ningún control.

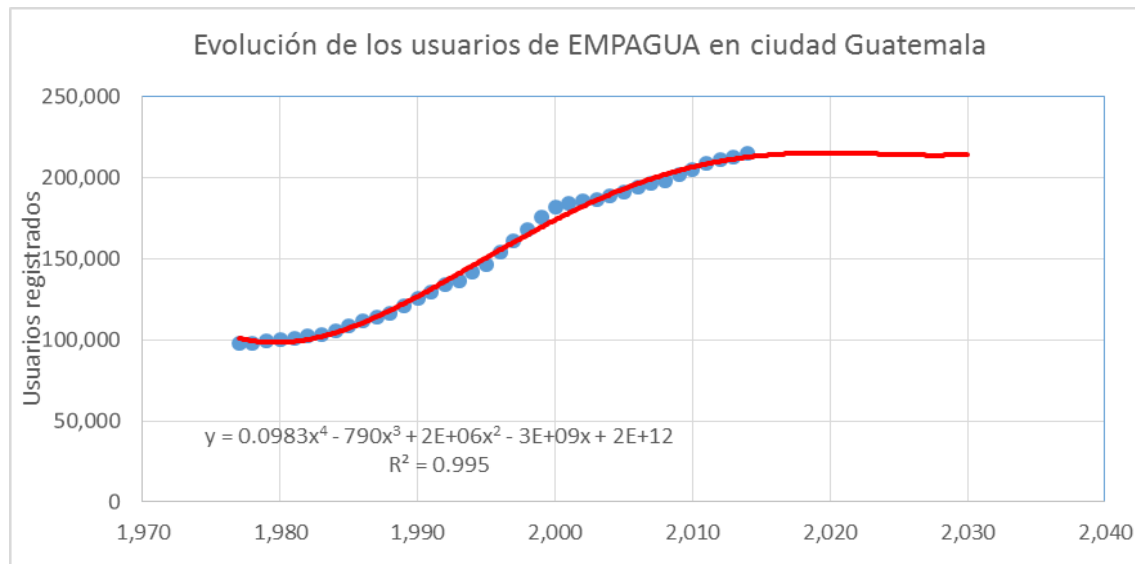


Figura 81. Tendencia de los usuarios de EMPAGUA al 2030. Fuente EMPAGUA. 2016

Actualmente EMPAGUA produce alrededor de los 10 millones de metros cúbicos de agua mensuales, de los cuales en algunos caos tiene pérdidas del 40 % por problemas de tuberías obsoletas, conexiones no autorizadas, fallas en los contadores y otros.

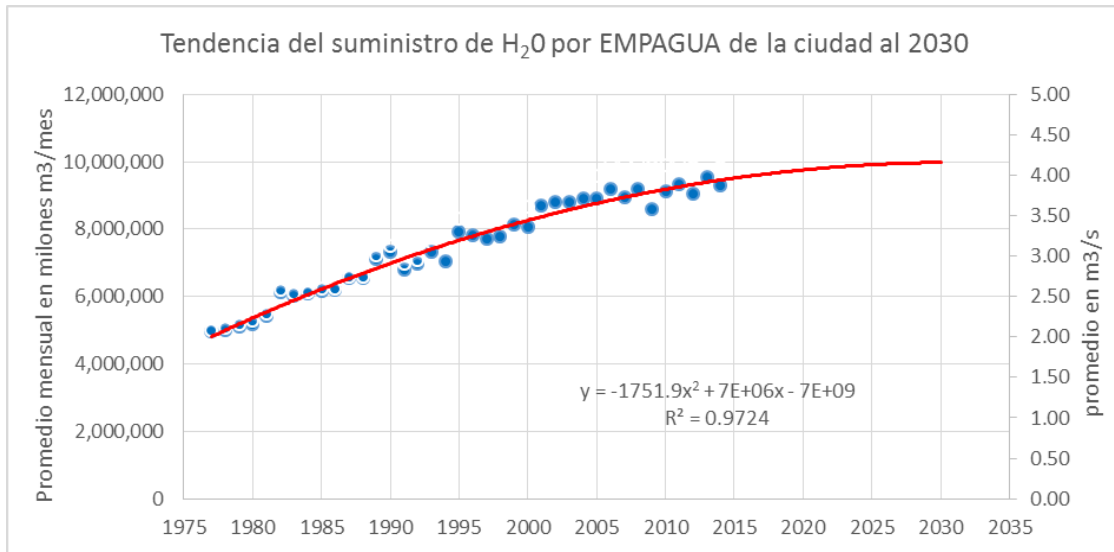


Figura 141. Producción mensual de EMPAGUA. Fuente EMPAGUA. 2016

A partir del año 2009 la extracción de agua subterránea empezó a igualar y en otros a superar la producción de agua superficial, por temas puramente de captación de agua, y esto ha ocasionado que los recursos financieros de EMPAGUA tiendan a desmejorarse y no le permite invertir en temas de mantenimiento ni exploración de nuevas fuentes, ni de generación de proyectos, en algunos presupuestos de operación, se encontró que los gastos de extracción de agua subterránea supera el 40 % de los gastos de operación.

Y efectivamente de todos es sabido que el agua de origen superficial es relativamente más barata que la extraída del subsuelo, aunque en los últimos tiempos y por temas de deforestación el agua llega a las plantas de tratamiento casi con valores de 8,000 y más en NTU (unidades nefelometrías de turbidez), lo cual encárese el costo de tratamiento.

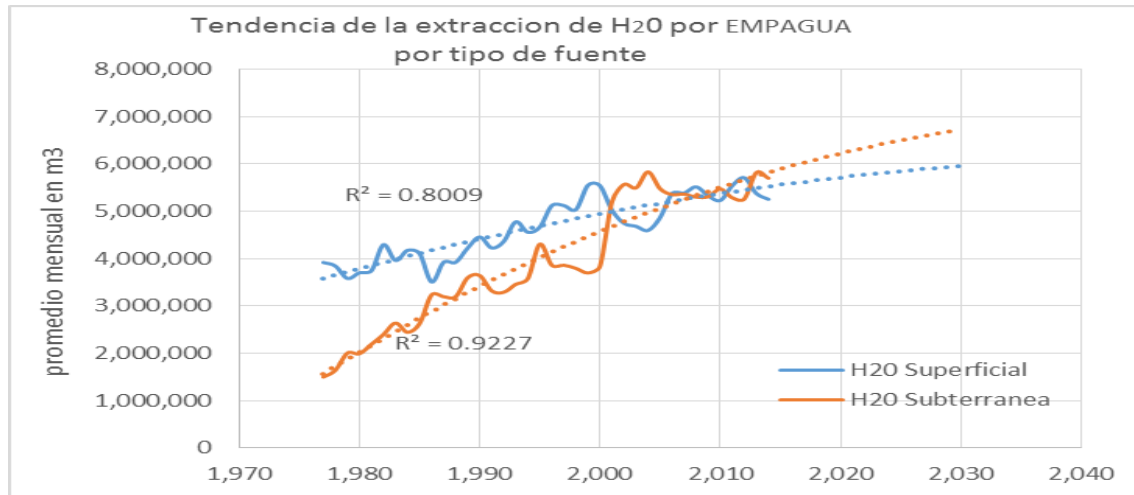


Figura 142. Tendencia de la extracción de agua subterránea. Fuente EMPAGUA 2016

En el análisis de cuanto le cuesta a EMPAGUA producir un metro cubico de agua y cuál será el precio de venta real autorizado a cobrar al cliente (canon promedio real autorizado) se realizó el siguiente análisis que muestra porque EMAPGUA esta como esta.

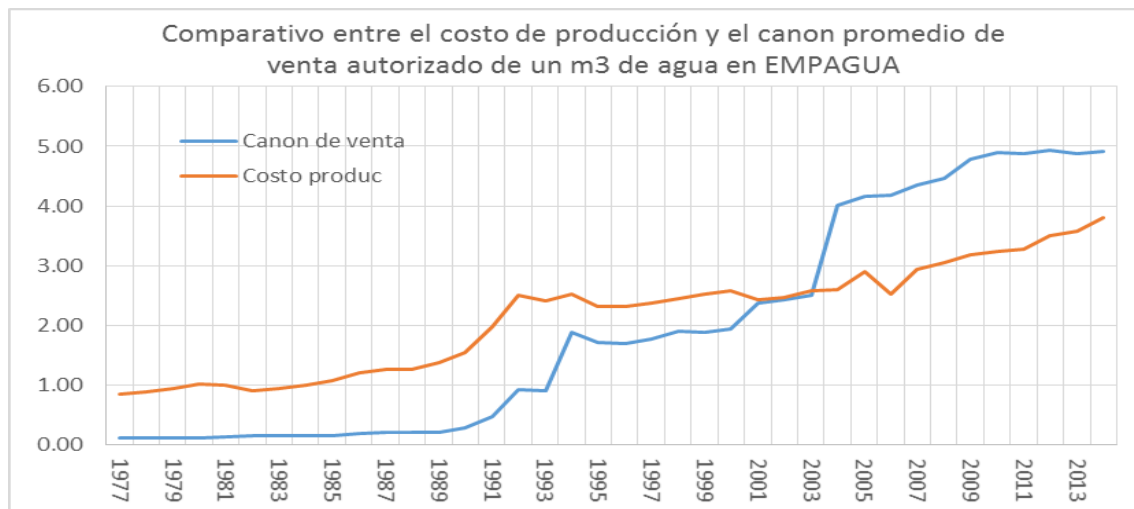


Figura 143. Trayectoria del costo de producción y el precio de venta real al consumidor de un metro cubico de agua. Fuente: EMPAGUA 2016.

Como puede observarse, durante muchos años EMPAGUA ha operado con pérdidas tal y como lo indican los reportes públicos, lo cual explica cómo es que los personeros de EMPAGUA, lograron convencer en varias oportunidades al consejo municipal, pero según se ve en la gráfica a partir del año 2004 la situación se revierte y coincide precisamente con la entrada en vigor del cobro de la tarifa por bloques crecientes.

Con esta grafica también se logra explicar porque desde el año 2004 ya no ha habido ajustes a las tarifas autorizadas al canon de agua.

Debido a que el cálculo del canon de agua promedio real cobrado por EMPAGUA no es fácil de estimar, pues está sujeto a varias variables tales como el número de usuarios por sector, volumen de agua entregado, excesos cobrados, y todo lo anterior para los restantes sectores, hubo necesidad de hacer una simulación, con algunos datos proporcionados por EMPAGUA, pues al parecer esta información EMPAGUA, la cuida como si fueron las joyas de la corona. Entonces el cálculo se hizo así, todos los ingresos percibidos por la venta de agua, dividido por toda el agua facturada (agua que llego a la vivienda del usuario, es el dato del canon promedio de venta real autorizado, por supuesto aplicando las tarifas autorizadas a cada sector, de lo anterior se logró resumir algunos datos importantes en la siguiente tabla:

Tabla 204. *Costo de un metro cubico de agua en Q./m3*

Extracción por el sector publico (EMPAGUA)	3.82
Cannon de agua para usuarios del sector Marginal	1.12
Cannon de agua para usuarios del sector Económico	1.76
Cannon de agua para usuarios del sector Normal	2.24
Cannon de agua para usuarios del sector Intermedio	4.48
Cannon de agua para usuarios del sector Alto consumo	5.60
Cannon promedio real autorizado a cobrar por EMPAGUA	4.95

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA. 2016

A pesar de los hallazgos anteriores, los usuarios de muchas zonas de la ciudad de Guatemala, siguen quejándose de los constantes racionamientos de agua, con los que prácticamente han crecido y siguen criando a sus hijos bajo ese sistema de operación, ¿y la pregunta normal que cualquier usuario se hace es porque no mejora este servicio?

Al entrevistar a un experto de EMPAGUA sobre este cuestionamiento, el respondió que un servicio satisfactorio entregado al usuario, es aquel que se provee por lo menos, durante 12 horas continuas, todos los días con un caudal mínimo de 3 litros/minuto.

Entonces reflexionando sobre ese concepto se generó la siguiente tabla que explica, sobradamente la situación actual.

Tabla 205. *Servicio contratado por EMPAGUA y el usuario.*

Tipo de Usuario	Vol. max Contratado	Conversiones según datos de EMPAGUA de un servicio satisfactorio
Marginal	20	4 Hr/día * 3 L/min * 30 días/mes * 60 min/ Hr * 1 m <sup>3</sup> /1000 L = <b>21.6 m<sup>3</sup>/mes</b>
Económico	30	6 Hr/día * 3 L/min * 30 días/mes * 60 min/ Hr * 1 m <sup>3</sup> /1000 L = <b>32.4 m<sup>3</sup>/mes</b>
Normal	60	12 Hr/día * 3 L/min * 30 días/mes * 60 min/ Hr * 1 m <sup>3</sup> /1000 L = <b>64.8 m<sup>3</sup>/mes</b>
Intermedio	240	15 Hr/día * 9 L/min * 30 días/mes * 60 min/ Hr * 1 m <sup>3</sup> /1000 L = <b>243 m<sup>3</sup>/mes</b>
Alto consumo	300	20 Hr/día * 9 L/min * 30 días/mes * 60 min/ Hr * 1 m <sup>3</sup> /1000 L = <b>324 m<sup>3</sup>/mes</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA. 2016

Desafortunadamente por los problemas de pérdidas en la red de distribución de agua EMPAGUA tiene limitaciones de caudales de agua y poder abastecer a su población por más horas de servicio, que por supuesto cobraría, pero actualmente según el índice de escasez de agua F (CA1) no lo puede entregar, y si materialmente no busca otra fuente que le provea, tendera a explotar aún más los recursos subterráneos.



Lo anterior implica que EMPAGUA para mantener este equilibrio económico debe seguir restringiendo (racionando el agua por sectores), pues no puede facturar más de lo que entrega, de lo contrario sería inmoral, e ilegal hacerlo,

En cuanto a los volúmenes mensuales por sector se determinó en esta simulación económica que EMPAGUA no puede entregar más agua a otros sectores sin tener que afectarlos, y en promedio estos volúmenes no pueden ser mayores a:

- Al sector Marginal 10 m<sup>3</sup>/usuario,
- Al sector Económico 30 m<sup>3</sup>/usuario,
- Al sector Normal 52 m<sup>3</sup>/usuario,
- Al sector Intermedio 85 m<sup>3</sup>/usuario y
- Al sector de Alto consumo 234 m<sup>3</sup>/usuario.

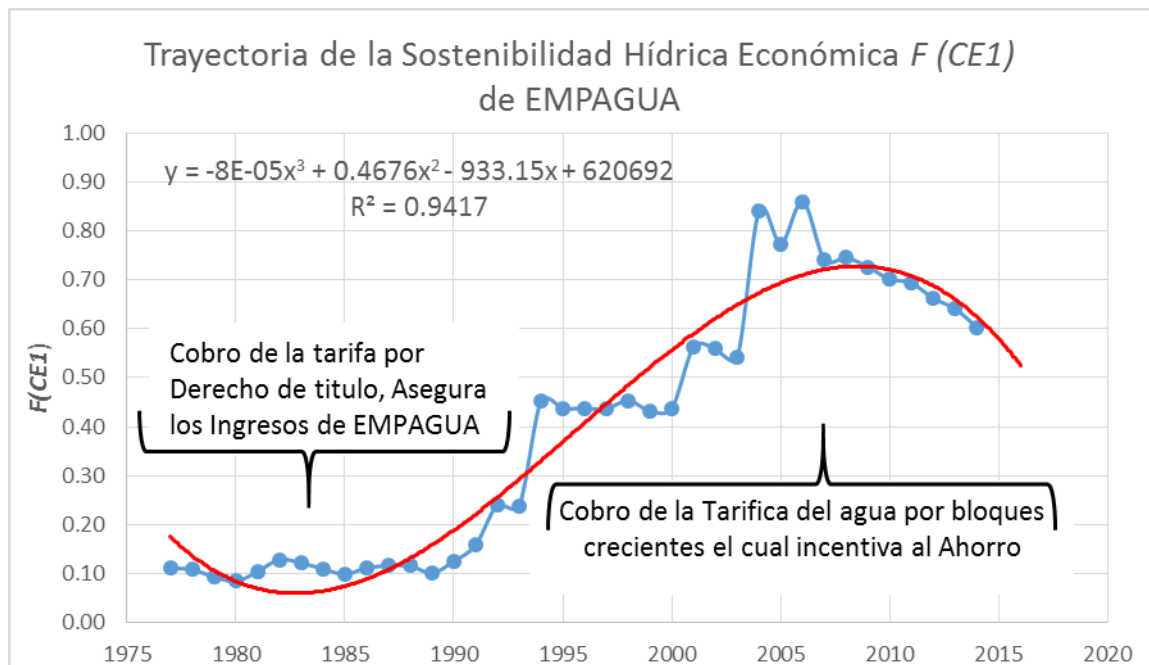


Figura 144. Trayectoria de la sostenibilidad hídrica económica  $F(CE1)$ . Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA. 2016

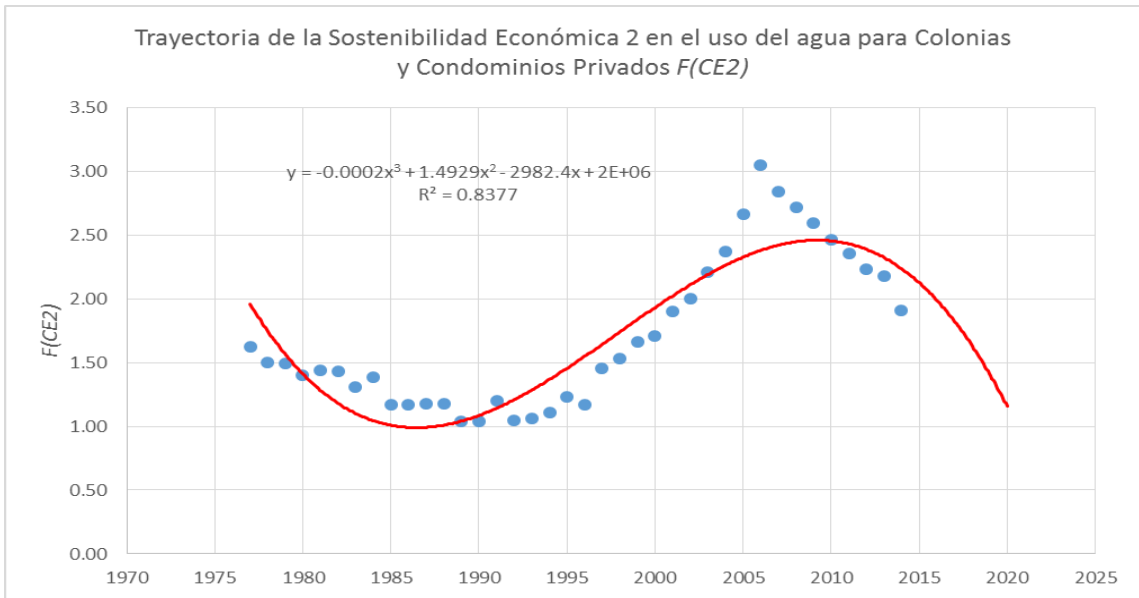
Entonces, se puede concluir que todo lo dicho anteriormente por partes se resume en la gráfica anterior la cual demuestra la escasa sostenibilidad económica de operación que ha tenido EMPAGUA a lo largo del tiempo durante el periodo de análisis. Y muestra dramáticamente los dos grandes momentos que ha tenido, en cuanto a su tarifa.

El modelo matemático generado para describir el comportamiento de este criterio económico necesito de 25 variables explicativas.

### 5.6.6 Discusión de índice de criterio económico 2 $f(CE2)$

Según el segundo criterio F (CE2) dice: Para que un sistema privado de abastecimiento de agua pueda funcionar, como mínimo todos los gastos de inversión, operación y mantenimiento deben ser cubiertos por los usuarios. De forma matemática se escribe así:

$$F(CE2) \geq 1 \geq \frac{(P_v * p_{2d})}{C_{p2} * p_2} = \frac{Q}{Q} = \text{adimensional}$$



*Figura 145.* Trayectoria de la sostenibilidad económica del sector privado de colonias y condominios. Fuente: Elaboración propia con datos de la cámara de la construcción. 2016

Como puede observarse en la gráfica, la sostenibilidad económica de este grupo de usuarios antes de 1990 fue muy solvente, pero en la medida que la situación del público mantuvo muchas variaciones de las tarifas del servicio de agua generó especulaciones que repercutieron en los costos de operación del sector privado a tal extremo que muchos sistemas operaron en su punto de equilibrio.

Tabla 174. Principales variables que definen la sostenibilidad económica 2

	Y	X1	X2	X3	X4	X5
	F(CE2)	Cap	Ao	z2	Xrpv	Cp2
año	F(CE2) = Índice de Sostenibilidad Económica 2 $F(CE2) = (Pv * p2d) / (Cp2 * p2) = Q. / Q.$ = adimensional	Cap = Canon del agua privada en colonias por el derecho de consumir 30 m3 de agua en Q. / mes	Toda el agua Producida por EMPAGUA superficial y subterránea que sale de las plantas potabilizadoras para toda la ciudad $Ao = (a) + (p1)$ en m3 / mes	% de Demanda insatisfecha por EMPAGUA	porcentaje (%) de pérdidas de agua en la red de distribución privada	Costo de extraer un m <sup>3</sup> de agua en las colonias y condominios Q. /m <sup>3</sup>
1977	1.62	30.00	5,416,667	5	1.00	0.61
1978	1.50	30.00	5,485,083	5	1.05	0.66
1979	1.49	30.00	5,586,667	6	1.35	0.66
1980	1.40	30.00	5,693,833	7	1.90	0.70
1981	1.44	33.00	5,939,167	8	1.90	0.75
1982	1.43	33.00	6,692,000	9	2.20	0.75
1983	1.31	33.00	6,600,833	10	2.23	0.82
1984	1.39	35.00	6,618,833	11	2.50	0.82
1985	1.17	35.00	6,737,667	11	2.53	0.97
1986	1.17	35.00	6,742,667	12	2.80	0.97
1987	1.18	40.00	7,119,250	12	2.80	1.10
1988	1.18	40.00	7,472,083	13	2.90	1.10
1989	1.04	50.00	7,816,750	13	3.10	1.55
1990	1.04	50.00	8,099,471	14	3.10	1.55
1991	1.20	65.00	7,543,083	14	3.20	1.75
1992	1.05	65.00	7,653,181	15	3.20	2.00
1993	1.06	80.00	8,234,893	15	3.50	2.42
1994	1.11	90.00	8,134,010	15	3.50	2.61
1995	1.23	100.00	8,970,061	16	3.80	2.61
1996	1.17	100.00	8,978,213	16	3.80	2.75
1997	1.46	125.00	8,980,575	16	3.90	2.75
1998	1.53	125.00	8,830,066	16	3.90	2.62
1999	1.66	130.00	9,245,183	17	4.00	2.50
2000	1.71	130.00	9,376,780	17	4.23	2.43
2001	1.90	145.00	10,223,021	17	4.44	2.43
2002	2.00	145.00	10,310,670	18	4.90	2.30
2003	2.21	150.00	10,174,416	18	5.08	2.15
2004	2.37	150.00	10,425,951	18	5.20	2.00
2005	2.67	155.00	10,340,510	18	5.58	1.83
2006	3.05	175.00	10,726,693	19	6.00	1.80
2007	2.84	175.00	10,746,950	19	6.50	1.92
2008	2.71	175.00	10,812,500	19	6.93	2.00
2009	2.59	185.00	10,636,000	19	7.63	2.20
2010	2.47	185.00	10,696,500	20	8.03	2.30
2011	2.35	185.00	10,824,250	20	8.42	2.40
2012	2.23	185.00	10,967,333	20	8.60	2.53
2013	2.17	190.00	11,191,000	21	9.00	2.65
2014	1.91	190.00	10,950,667	21	9.50	3.00

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE y EMPAGUA, 2016

Y el modelo matemático que describe este comportamiento es:

$$F(CE2) = 1.5430 + 0.0186 (Cap) - 9.008E-10 (Ao) + 0.00487 (z2) - 0.1145 (Xrpv) - 0.7252 (Cp2)$$

Coeficiente de correlación múltiple es de 0.99266286637771

Por último tal y como se estimó al momento de plantear el criterio de sostenibilidad económica 2 se comprobó tal planteamiento y se logró conocer el grado de solvencia con el que operan muchos sistemas en la diferentes colonias, sin que exista ninguna ley que los obligues a reportar caudales extraídos ni restricción de cuotas.

Otra variable que los hace sostenibles es el número de usuarios, pues mientras más se acojan al sistema mejor serán los ingresos percibidos. Según la tendencia observada es a que al año 2030 estén operando en el punto de equilibrio, pues los caudales ya no serán suficientes para mantener al número de usuarios adquiridos.

### **5.6.7 Discusión de índice de criterio económico 3 f(CE3)**

Según el tercer criterio de sostenibilidad económico dice: Debido a que el agua extraída en la cuenca interna del sistema ciudad por parte del sector privado para producir, supera a la entrega del sector público (EMPAGUA), debe considerarse que dentro del costo del agua extraída empresarial se incluya un porcentaje para inversión en zonas de recarga hídrica, como parte de su responsabilidad social = F (CE3)

Para resumir el criterio anterior, lo que se busca es saber que tan rentable es la operación de vender agua pura embotellada, como la representante de la mejor sostenibilidad del sector privado para producir, por supuesto que hay otros procesos que incorporan agua a su producto (industria alimenticia), y otros que son parte del proceso como el lavado (industrias textiles) hasta los que la requieren como su propia materia prima, tales como el embotellado de agua pura para la venta, que es a la que se le dedicara la atención para este análisis, y se propone la siguiente relación:

$$F(CE3) = \frac{(Pv/m^3)}{(Cpv)}$$

$Pv/m^3$  = Precio de venta por vender 1 m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O embotellada en Q. / m<sup>3</sup>

$Pv/m^3 = 2000 * Pv$

$Pv$  = Precio de venta de 1 Botella de 500 ml en Q. / unid.

$Cpv$  = Costo de 1 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O empacado en el punto de venta en Q. / m<sup>3</sup>

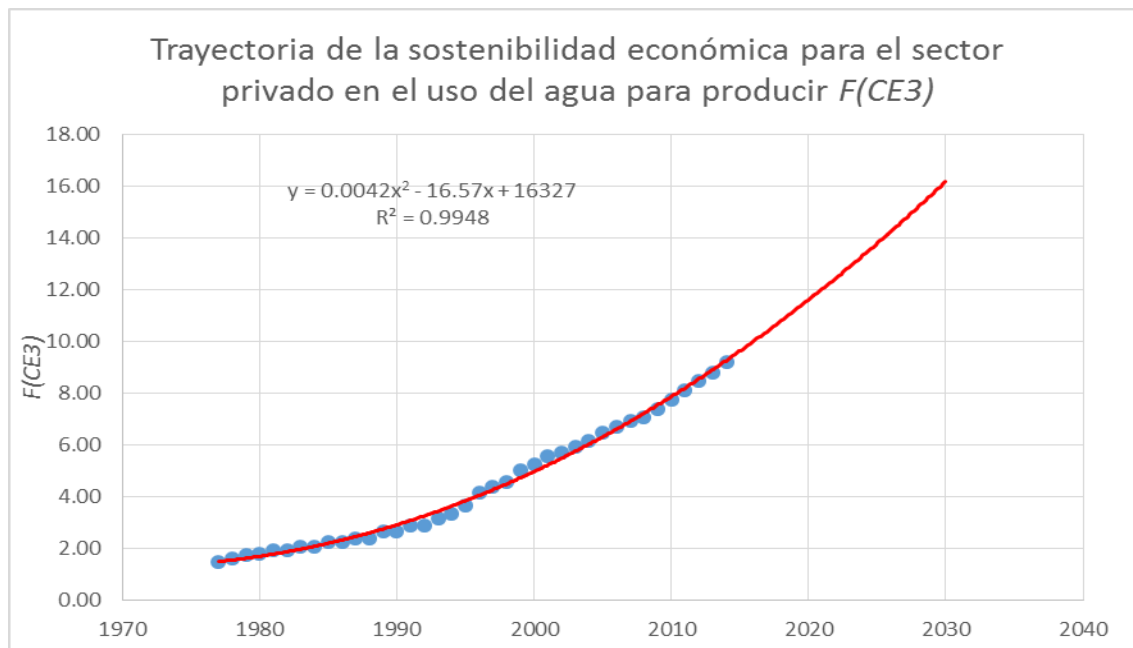


Figura 88. Trayectoria de la sostenibilidad económica.<sup>3</sup> Fuente elaboración propia, 2016

Lo que indica la gráfica es una creciente solvencia económica de esta operación.

Tabla 176. Resumen de variables para la modelación

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y
Año	Cp3	Cptb	Cemp	Cmo	Cdist	Cemb	Cpv	Pv	Pv/m3	F(CE3)
1977	0.28	0.070	3,200.00	320.00	160.00	1.60	3,680.35	2.75	5,500.00	1.49
1978	0.28	0.070	3,000.00	300.00	150.00	1.50	3,450.35	2.80	5,600.00	1.62
1979	0.29	0.073	2,900.00	290.00	145.00	1.45	3,335.36	2.90	5,800.00	1.74
1980	0.29	0.073	2,800.00	280.00	140.00	1.40	3,220.36	2.90	5,800.00	1.80
1981	0.3	0.075	2,700.00	270.00	135.00	1.35	3,105.38	3.00	6,000.00	1.93
1982	0.3	0.075	2,700.00	270.00	135.00	1.35	3,105.38	3.00	6,000.00	1.93
1983	0.31	0.078	2,600.00	260.00	130.00	1.30	2,990.39	3.10	6,200.00	2.07
1984	0.31	0.078	2,600.00	260.00	130.00	1.30	2,990.39	3.10	6,200.00	2.07
1985	0.32	0.080	2,500.00	250.00	125.00	1.25	2,875.40	3.25	6,500.00	2.26
1986	0.32	0.080	2,500.00	250.00	125.00	1.25	2,875.40	3.25	6,500.00	2.26
1987	0.33	0.083	2,400.00	240.00	120.00	1.20	2,760.41	3.30	6,600.00	2.39
1988	0.33	0.083	2,400.00	240.00	120.00	1.20	2,760.41	3.30	6,600.00	2.39
1989	0.34	0.085	2,200.00	220.00	110.00	1.10	2,530.43	3.40	6,800.00	2.69
1990	0.34	0.085	2,200.00	220.00	110.00	1.10	2,530.43	3.40	6,800.00	2.69
1991	0.35	0.088	2,100.00	210.00	105.00	1.05	2,415.44	3.50	7,000.00	2.90
1992	0.35	0.088	2,100.00	210.00	105.00	1.05	2,415.44	3.50	7,000.00	2.90
1993	0.37	0.093	1,960.00	196.00	98.00	0.98	2,254.46	3.55	7,100.00	3.15
1994	0.37	0.093	1,840.00	184.00	92.00	0.92	2,116.46	3.55	7,100.00	3.35
1995	0.38	0.095	1,700.00	170.00	85.00	0.85	1,955.48	3.60	7,200.00	3.68
1996	0.38	0.095	1,500.00	150.00	75.00	0.75	1,725.48	3.60	7,200.00	4.17
1997	0.39	0.098	1,460.00	146.00	73.00	0.73	1,679.49	3.70	7,400.00	4.41
1998	0.39	0.098	1,400.00	140.00	70.00	0.70	1,610.49	3.70	7,400.00	4.59
1999	0.40	0.100	1,300.00	130.00	65.00	0.65	1,495.50	3.75	7,500.00	5.02
2000	0.40	0.100	1,240.00	124.00	62.00	0.62	1,426.50	3.75	7,500.00	5.26
2001	0.41	0.103	1,180.00	118.00	59.00	0.59	1,357.51	3.80	7,600.00	5.60
2002	0.41	0.103	1,160.00	116.00	58.00	0.58	1,334.51	3.80	7,600.00	5.69
2003	0.41	0.103	1,140.00	114.00	57.00	0.57	1,311.51	3.90	7,800.00	5.95
2004	0.43	0.108	1,100.00	110.00	55.00	0.55	1,265.54	3.90	7,800.00	6.16
2005	0.43	0.108	1,060.00	106.00	53.00	0.53	1,219.54	3.95	7,900.00	6.48
2006	0.44	0.110	1,020.00	102.00	51.00	0.51	1,173.55	3.95	7,900.00	6.73
2007	0.44	0.110	1,000.00	100.00	50.00	0.50	1,150.55	4.00	8,000.00	6.95
2008	0.45	0.113	980.00	98.00	49.00	0.49	1,127.56	4.00	8,000.00	7.09
2009	0.45	0.113	960.00	96.00	48.00	0.48	1,104.56	4.09	8,183.33	7.41
2010	0.46	0.115	920.00	92.00	46.00	0.46	1,058.58	4.10	8,200.00	7.75
2011	0.47	0.118	900.00	90.00	45.00	0.45	1,035.59	4.20	8,400.00	8.11
2012	0.47	0.118	860.00	86.00	43.00	0.43	989.59	4.20	8,400.00	8.49
2013	0.48	0.120	840.00	84.00	42.00	0.42	966.60	4.25	8,500.00	8.79
2014	0.49	0.123	800.00	80.00	40.00	0.40	920.61	4.25	8,500.00	9.23

Fuente: Elaboración propia, con datos de Producción más limpia. 2016

La principal razón del incremento de la rentabilidad es por los altos volúmenes de venta, y la poca confianza de la población en la calidad del agua. Y el modelo matemático que describe este comportamiento es:

$$F(CE3) = 0.0237 + 1.18e-9(Pv/m3)^2 + \frac{(Pv/m3)}{C_{pv} - 0.35 C_{emb}} - 0.228 Cp_3$$

Y en resumen el grado de ajuste es:  $R^2 = 0.9999999$

Una de las grandes conclusiones de este criterio es que el sector privado puede incorporar dentro de la operación financiera un pago de impuesto llámese ambiental el cual serviría para el mantenimiento exclusivo de las áreas de recarga hídrica y de perforación de pozos de absorción que incrementen la recarga del subsuelo de la ciudad, tan dañado por la impermeabilización de calles de la ciudad.

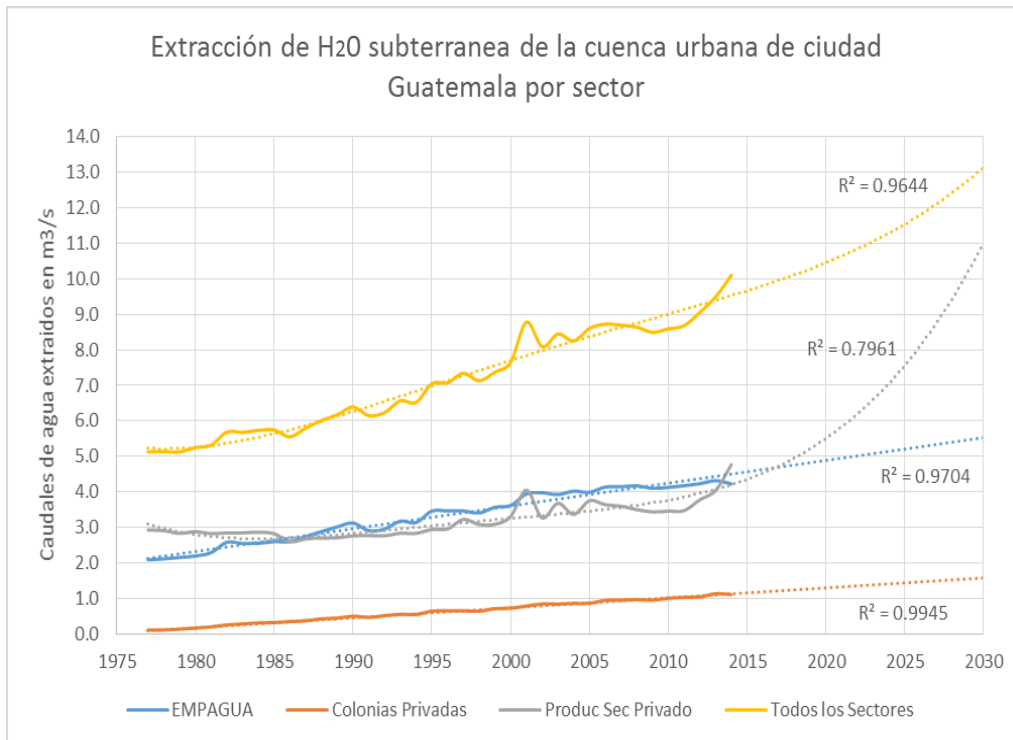
Además, dentro de una ley de aguas se debería incluir por lo menos la dotación del 10 % del caudal de agua extraído hacia el sistema de distribución de EMPAGUA, para que mejore la condición de abastecimiento hacia sectores poco favorecidos.

### **5.6.8 Discusión de índice total de la componente económica $f$ (CE1, CE2, CE3)**

Nuevamente ahora que ya se conocen las tres componentes económicas, la pregunta es qué tipo de relación deben guardar. Para este caso particular se apoya el modelo de acuerdo a la tendencia que cada sector ha hecho uso del recurso hídrico, y sobre todo el caudal total que se está extrayendo del subsuelo, y más aún que se está haciendo para preservar este recurso y que planes hay



para mantener la sostenibilidad hídrica de la cuenca a sabiendas que la variabilidad climática ha impuesto un régimen de lluvias al descenso.



*Figura 90.* Trayectoria del caudal subterráneo extraído en ciudad Guatemala. Fuente elaboración propia, 2016

Como puede observarse tanto el sector público (EMPAGUA) como el sector privado para producir, están compitiendo en cuanto a la extracción con alrededor de  $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$  cada uno y el sector de colonias apenas con  $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , en total se están extrayendo unos  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  y tal vez un poco más pues estas mediciones son solo aproximaciones, pero muestran una buena idea de la realidad. En base a estos volúmenes se convierten en porcentajes y luego se transforman en forma de fracción o sea de 0 a 1 del uso del agua se utilizaron como factores de peso ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) para proponer el modelo:

$$F(CE1, CE2, CE3) = ((FCE1)^{w1}) * ((FCE2)^{w2}) * ((FCE3)^{w3}) = 1$$

Tabla 181. Principales variables para interrelacionar todos los sectores

Año	Var. Dependiente	Variables independientes			Pesos de las variables		
	Y	X1	X2	X3	donde $\sum W_t = 1$		
	F(CE1, CE2, CE3)	F(CE1)	F(CE2)	F(CE3)	w1	w2	w3
1977	0.52	0.11	1.62	1.49	0.41	0.02	0.57
1978	0.53	0.11	1.50	1.62	0.41	0.02	0.57
1979	0.51	0.09	1.49	1.74	0.42	0.03	0.55
1980	0.50	0.08	1.40	1.80	0.42	0.03	0.55
1981	0.54	0.10	1.44	1.93	0.43	0.04	0.53
1982	0.56	0.13	1.43	1.93	0.45	0.05	0.50
1983	0.57	0.12	1.31	2.07	0.45	0.05	0.50
1984	0.55	0.11	1.39	2.07	0.45	0.05	0.50
1985	0.53	0.10	1.17	2.26	0.45	0.06	0.49
1986	0.53	0.11	1.17	2.26	0.47	0.06	0.47
1987	0.54	0.12	1.18	2.39	0.47	0.06	0.46
1988	0.53	0.12	1.18	2.39	0.48	0.07	0.45
1989	0.51	0.10	1.04	2.69	0.49	0.07	0.44
1990	0.56	0.13	1.04	2.69	0.49	0.08	0.43
1991	0.69	0.16	1.20	2.90	0.47	0.08	0.45
1992	0.82	0.24	1.05	2.90	0.47	0.08	0.44
1993	0.83	0.24	1.06	3.15	0.48	0.08	0.43
1994	1.17	0.45	1.11	3.35	0.48	0.08	0.43
1995	1.17	0.44	1.23	3.68	0.49	0.09	0.42
1996	1.23	0.44	1.17	4.17	0.49	0.09	0.42
1997	1.34	0.44	1.46	4.41	0.47	0.09	0.44
1998	1.38	0.45	1.53	4.59	0.48	0.09	0.43
1999	1.38	0.43	1.66	5.02	0.48	0.10	0.42
2000	1.46	0.44	1.71	5.26	0.47	0.09	0.43
2001	1.81	0.56	1.90	5.60	0.45	0.09	0.46
2002	1.63	0.56	2.00	5.69	0.49	0.10	0.40
2003	1.77	0.54	2.21	5.95	0.46	0.10	0.44
2004	2.11	0.84	2.37	6.16	0.49	0.10	0.41
2005	2.21	0.77	2.67	6.48	0.46	0.10	0.44
2006	2.33	0.86	3.05	6.73	0.47	0.11	0.42
2007	2.17	0.74	2.84	6.95	0.48	0.11	0.41
2008	2.15	0.75	2.71	7.09	0.48	0.11	0.41
2009	2.14	0.73	2.59	7.41	0.48	0.11	0.40
2010	2.14	0.70	2.47	7.75	0.48	0.12	0.40
2011	2.15	0.69	2.35	8.11	0.48	0.12	0.40
2012	2.21	0.66	2.23	8.49	0.47	0.12	0.42
2013	2.26	0.64	2.17	8.79	0.45	0.12	0.43
2014	2.48	0.60	1.91	9.23	0.42	0.11	0.47

Fuente: Elaboración propia, con datos del INE, EMPAGUA y Producción más limpia. 2016

Y el modelo que mejor se ajusta a este grupo de datos fue:

$$Y = X_1 + 0.162X_3 + \frac{X_1X_2}{X_3}$$

$$f(CE1, CE2, CE3) = F(CE1) + 0.162 * F(CE3) + \frac{F(CE1) * F(CE2)}{F(CE3)}$$

Y el coeficiente de correlación de este modelo fue: 0.9963

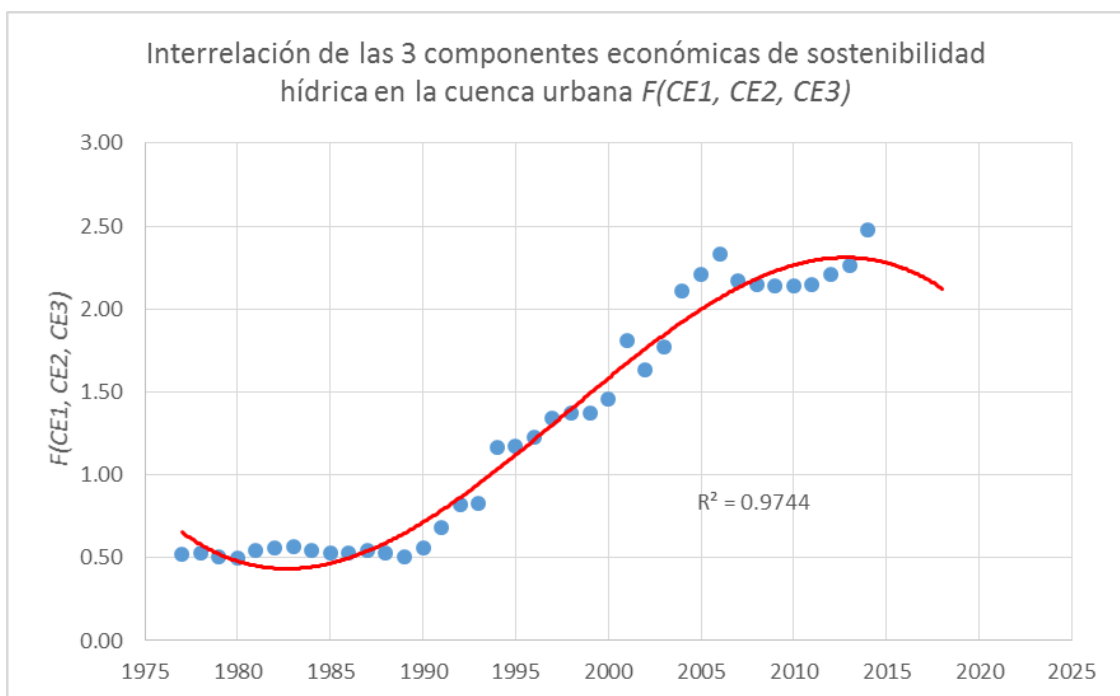


Figura 93. Tendencia de la sostenibilidad hídrica económicas. Fuente elaboración propia 2016

Como puede observarse el  $F(CE1)$  del sector EMPAGUA afecto a todo el sistema hasta el año de 1995, momento en el cual comienza el sistema de cobros por bloques crecientes. A continuación, domina el sector privado para la producción. Al final de cuentas todos los sectores extraen agua de la misma cuenca, y lo que predomina es el valor económico que cada sector le asigna a la misma gota de agua.

### 5.6.9 Discusión de índice de criterio social 1 $f(CS1)$

El criterio social 1 dice: que la satisfacción del servicio que percibe el cliente sea igual al servicio satisfactorio dado por el proveedor =  $F(CS1)$

Para darle vida a este criterio se lee claramente que existen dos elementos importantes en la ecuación que son:

Percepción del cliente = compromiso del proveedor

Para conocer la percepción del cliente se midió por medio de una encuesta, dentro de la cual, se plantearon preguntas estratégicas, que permitieron conocer la información buscada, para introducirla en siguiente ecuación matemática:

$$F(CS1) = \frac{(\text{Agua recibida})}{(\text{Agua contratada})}$$

En el mejor de los casos  $F(CS1) = 1$

Para conocer el agua contratada, basta con revisar los acuerdos del consejo municipal donde se detallan los pliegos tarifarios, a continuación, se presenta un resumen:

Tabla 184. Volúmenes de agua contratados por sector

<u>Tipo de usuario en el sector</u>	<u>Volumen Máximo (m<sup>3</sup>)</u>
Marginal	20
Económico	30
Normal	60
Intermedio	240
Alto consumo	300

Fuente: Elaboración propia con datos de EMPAGUA, 2016

Y según expertos de EMPAGUA, consideran que un servicio satisfactorio es aquel que se provee por lo menos, durante 12 horas continuas todos los días con un caudal mínimo de 3 L / min.

$$4 \text{ Hr. /día} * 3 \text{ L/min} * 30 \text{ días/mes} * 60 \text{ min/ Hr} * 1 \text{ m}^3/1000 \text{ L} = 21.6 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$6 \text{ Hr. /día} * 3 \text{ L/min} * 30 \text{ días/mes} * 60 \text{ min/ Hr} * 1 \text{ m}^3/1000 \text{ L} = 32.4 \text{ m}^3/\text{mes}$   
 $12 \text{ Hr. /día} * 3 \text{ L/min} * 30 \text{ días/mes} * 60 \text{ min/ Hr} * 1 \text{ m}^3/1000 \text{ L} = 64.8 \text{ m}^3/\text{mes}$   
 $15 \text{ Hr. /día} * 9 \text{ L/min} * 30 \text{ días/mes} * 60 \text{ min/ Hr} * 1 \text{ m}^3/1000 \text{ L} = 243 \text{ m}^3/\text{mes}$   
 $20 \text{ Hr. /día} * 9 \text{ L/min} * 30 \text{ días/mes} * 60 \text{ min/ Hr} * 1 \text{ m}^3/1000 \text{ L} = 324 \text{ m}^3/\text{mes}$

Por lo tanto, se puede concluir que si se logra cumplir con las horas de servicio y caudales especificados, se puede cumplir con el volumen de agua contratado por el usuario. Y con los datos extraídos de la encuesta se pueden resumir en la siguiente tabla que género el indicador buscado, también obsérvese que para una misma zona se obtuvieron diferentes valores de frecuencia, días y horas lo que demuestra el régimen de racionamiento del agua por sectores:

Tabla 187. *Resumen de la sostenibilidad social hídrica por zonas.*

Zona	F (CS1) F (CS1) = [(Agua recibida)] / (agua Contratada ) en el mejor de los casos F (CS1) = 1	Hra Horas abastecidas de agua según percepción del cliente en encuesta realizada en	Fr Fr = frecuencia de cuantos días recibe agua a la semana en (días)	H2Or Caudal recibido por el cliente según percepción en encuesta realizada en (L/ min)	Qr Qr = Caudal recibido m3/mes	Vc Vc = Volumen de agua contratado en m3
11	0.90	5	7	6	54	60
11	1.03	10	3	4	31	30
11	0.39	5	2	3	8	20
12	0.90	5	7	3	27	30
12	0.77	10	3	6	46	60
12	0.93	12	2	3	19	20
13	0.90	5	7	6	54	60
13	1.03	10	3	4	31	30
13	1.03	15	2	8	62	60
14	0.90	5	7	6	54	60
14	1.03	10	3	8	62	60
14	1.03	15	2	4	31	30
21	0.60	5	7	4	36	60
21	0.77	10	3	3	23	30
21	0.77	15	2	6	46	60
Ze	0.90	5	7	6	54	60
Ze	0.77	10	3	3	23	30
Ze	0.77	15	2	6	46	60

Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta 2016

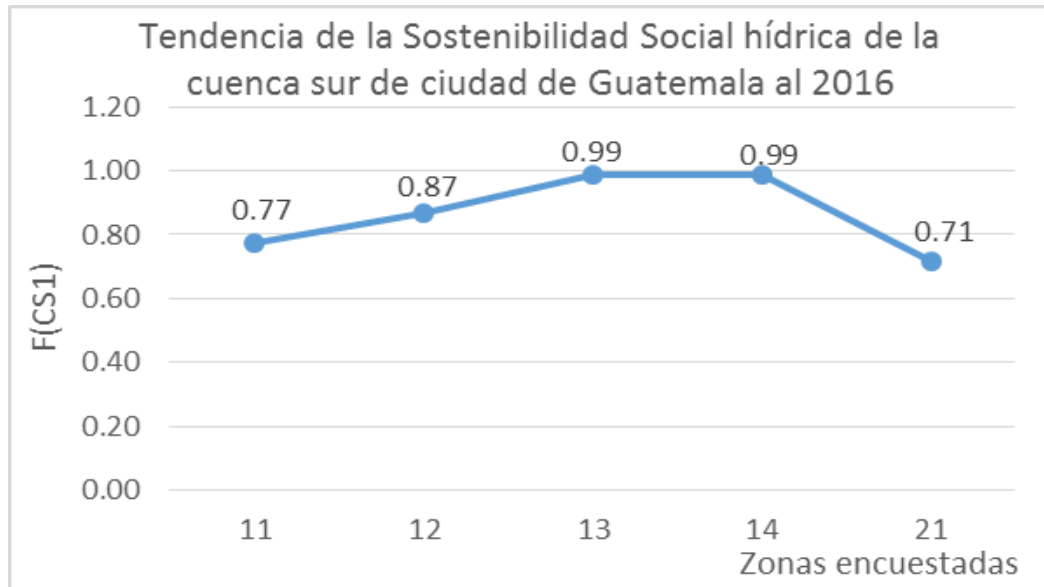


Figura 104. Indicador de sostenibilidad social por zona, 2016

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la gráfica se resume el valor promedio de la zona reportada en la tabla anterior, y nuevamente se confirma por medio de la encuesta, o sea la voz del usuario, que las zonas mejor atendidas siguen siendo las zonas 13. Y 14, que nuevamente no son ninguna sorpresa.

Y el modelo matemático que describe el comportamiento del grupo de datos anteriores es:

$$F(CS1) = \frac{0.26*(Hra)*(Fr)*(H2Or)}{Vc} - 0.01$$

Coeficiente de Regresión  $R^2 = 0.99973856$

En resumen, se puede concluir que de acuerdo a la percepción de los usuarios de EMPAGUA de la subcuenca sur de la ciudad de Guatemala, manifiestan tener un nivel de satisfacción del servicio de agua que reciben de un 77 a un 99 %, dato muy interesante (aunque no se esperaba, pero los datos son los datos), y satisfactorio para EMPAGUA.

## Discusión de la encuesta de evaluación del servicio

En resumen, la boleta de la encuesta constó de 10 preguntas directas para evitar el error en la objetividad y capturar la percepción del usuario sin ningún sesgo.

Con el uso de la siguiente ecuación se calculó el número de boletas a encuestar (n) por cada una de las zonas que integran la zona de estudio.

$$n = \frac{N\sigma^2}{\frac{(N-1)E^2}{Z^2} + \sigma^2}$$

### Resumen de hallazgos de la encuesta:

1. En cuanto a la pregunta 1 esto es muy importante pues este grupo es el principal usuario del agua, pues conoce y sufre el servicio del agua.
2. En cuanto a la pregunta 2 estas son personas mayores de 41 años, conocedoras del tema y sobre todo personas locales, lo cual le da gran representación a sus comentarios.
3. En cuanto a la pregunta 3, ¿cuánto paga mensualmente usted por el servicio de agua? Fue crucial para clasificar el tipo de servicio contratado, y con ello saber a cuanta agua tiene derecho mensualmente.
4. En cuanto a la pregunta 4, ¿si el servicio de agua lo tiene todos los días? Mostro un hallazgo que no es ninguna novedad, pues las zonas 12 y 21 están clasificadas como de vivienda popular, contrariamente a las zonas 11, 13 y 14

que según la municipalidad de Guatemala están catalogadas como áreas de alto comercio, turismo y desarrollo empresarial.

5. En cuanto a la pregunta 5 que fue formulada al grupo de personas que indicaron no recibir el agua diariamente y que fue básicamente, ¿cuántos días a la semana le conectan el servicio de agua? Fue en un 75 % para las zonas 11, 12 y 13, 3 veces, y el restante 2 veces para la zona 21, lo cual nuevamente confirma el grado de preferencia que manifiesta la zona 14.

6. En cuanto a la pregunta 6 sobre ¿cuántas horas al día tiene agua? La cual se consideró como una de las preguntas cruciales indicando que las zonas 12 y 21 mantenían al menos 5 horas continuas de agua por arriba del 63 % de los encuestados en esas zonas, las zonas 11 y 13 reportaron tener por arriba del 60 % 10 horas de abastecimiento de agua y el 69 % de los encuestados en la zona 14 reportaron tener agua 15 horas diarias, se consideró como crucial pues con esta información se logró calcular la cantidad de agua que llega a cada vivienda.

7. En cuanto a la pregunta 7 que dice ¿dispone de algún medio para guardar agua? La respuesta más frecuente por arriba del 80 % de los encuestados en las zonas 11, 12, 13 y 14 fue que sí y solamente la zona 21 reporto un 63 % probablemente por la escasa capacidad económica de la zona, este mismo fenómeno es el que mantiene Guatemala y es una de las principales causas de la escases económica.

8. En cuanto a la pregunta 8, ¿en cuánto tiempo calcula usted que se llena la pila (minutos)? La respuesta fue más variada pues las zonas 11 y 13 reportaron que el 53 % de los encuestados se llenaba en 20 minutos, equivalente a 6 litros por minuto. En cambio, las zonas 12 y 21 reportaron en promedio el 70 % de los



encuestados que se llenaba en 30 minutos equivalente a 4 litros por minuto. Y por último la zona 14 reporto que el 75 % de los encuestados llena la pila en 20 minutos equivalente a 6 litros por minuto.

Esta pregunta también está considerada como una de las cruciales para establecer la cantidad de agua que recibe cada usuario.

9. En cuanto a la pregunta 9, ¿compra agua embotellada para beber? Los resultados fueron que al menos en un 80 % de los encuestados de las zonas 11, 13 y 14 si lo compran, las zonas 12 en un 47 % y la zona 21 solamente en un 21 %.

Esta pregunta es interesante, pues a pesar de que existe una reglamentación legal de potabilizar el agua para consumo humano, la población en general no confía en la calidad del agua.

10. En cuanto a la pregunta 10: ¿Si mejorara el servicio estaría dispuesto a pagar más por el servicio? Demostró que los usuarios de las zonas 11, 13 y 14 en un 85 % están dispuestos a pagar más por el servicio de agua, lo cual demuestra que están más conscientes del valor del agua, por el contrario, las zonas más populares todavía creen en un gobierno más proteccionista y dador de cosas y están más reacios a pagar por el agua.

### 5.6.10 Discusión de índice de criterio social 2 f (CS2)

Según el criterio planteado dice que se pueda medir la condición de escasez de agua en un en el área de estudio y la capacidad de adaptación por la sociedad = F (CS2)

Inicialmente fue planteado por L. Ohlsson en 1999 y fue diseñado para medir la capacidad de adaptación de una comunidad al fenómeno de la escasez de agua, su indicador es:

$$\mu_5 = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{d_{5,i}}{h_i}\right)$$

$\mu_5$  = Índice social de estrés hídrico, adimensional

$d_{5,i}$  = Índice de estrés hídrico, adimensional y para el caso particular de estudio

$d_{5,ZE}$  = Índice de estrés hídrico, en la zona de estudio, también llamado F (CA1) que anteriormente fue definido como  $(A_{ZE} / D_{ZE})$  adimensional, definido como Suministro de agua (A) / Demanda de agua (D)

$h_i$  = IDH Índice de desarrollo humano, Adimensional

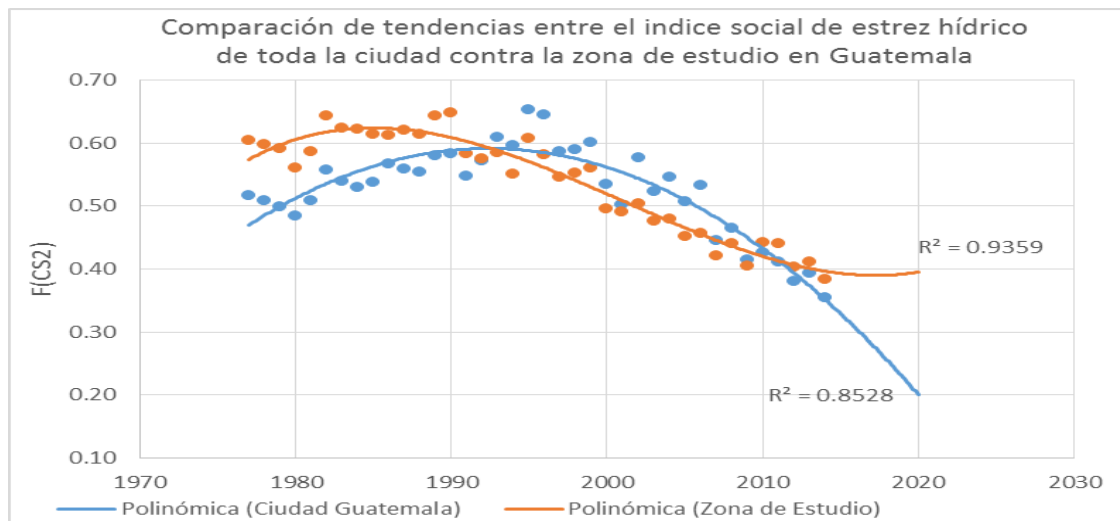
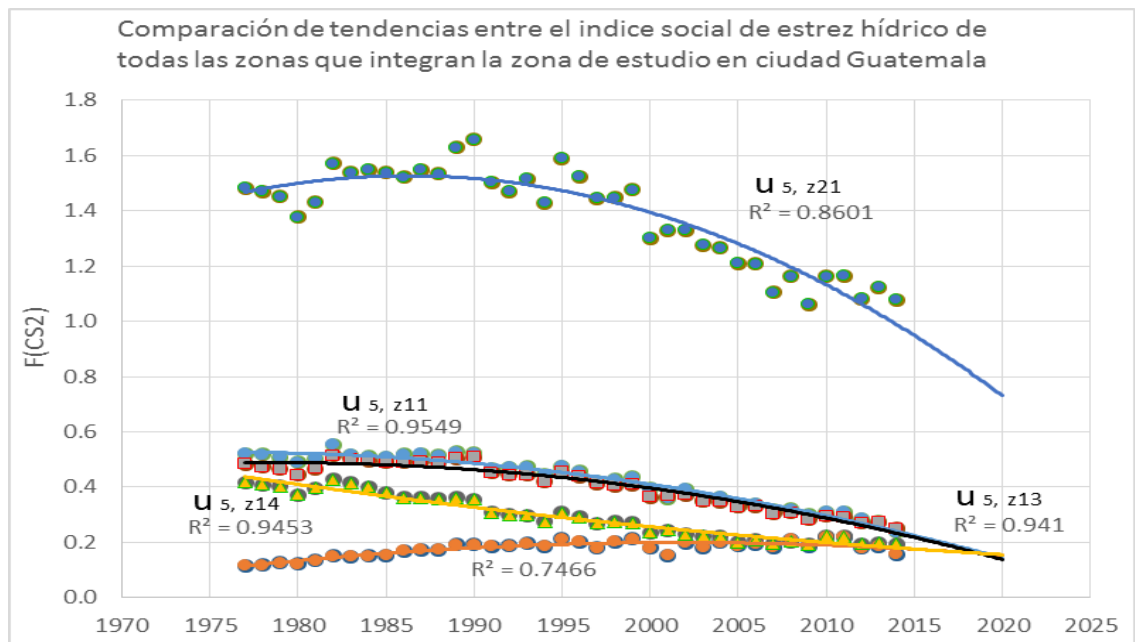


Figura 107. Comparación de tendencia del indicador de estrés social hídrico, entre toda la ciudad y la zona de estudio. Fuente elaboración propia. 2016

Para poder calcular el indicador  $F(CS2)$  de la zona de estudio fue necesario calcular este indicador por cada una de las zonas que lo componen y a continuación se calculó un promedio que es el que se reporta en la tabla para modelar, el comportamiento de cada zona se muestra en la siguiente figura:



*Figura 108.* Comparación de tendencia del indicador de estrés social hídrico. Entre todas las zonas que integran la zona de estudio. Fuente elaboración propia. 2016

De acuerdo a Ohlsson, 1999 indica que mientras más alto es el índice de estrés social hídrico menor es el grado de adaptación de las personas al fenómeno de escases de agua que vive en esa región. Por lo tanto, al observar la comparación de este indicador entre la zona de estudio y la de toda la ciudad, se puede observar que en general toda la ciudad ha tendido más rápidamente a adaptarse a este fenómeno, no así la zona de estudio, que se ha demorado más tiempo y al parecer está tendiendo a relajarse en el valor de 0.40 probablemente influenciado por el abasto de las zonas 11, 13 y 14.

### 5.6.11 Discusión de índice total de la componente social $f$ (CS1, CS2)

F (CS1) es la modelación matemática producto del resultado de una encuesta, la cual recoge la opinión del usuario del servicio de agua en la zona de estudio, que a pesar de ser muy valiedera, tiene sus limitaciones tales como: Los meses del levantamiento de la encuesta fueron julio y agosto del 2016, época del año en la que, la escasez de agua no es tan acentuada como en los meses de febrero y marzo, por lo tanto se considera que la opinión probablemente no hubiese sido la misma. Por las anteriores razones expuestas anteriormente se propone darle un peso a esta variable de un 20 % y el resto a F (CS2), para plantear el siguiente modelo

$$F (CS1, CS2) = F (CS1)^{0.20} * F (CS2)^{0.80} = 1$$

Y el modelo matemático que mejor describe el comportamiento de los datos es:

$$F (CS1, CS2) = 0.999 * F (CS2) + 0.208 * F (CS1) - 0.0951 - 0.125 * F (CS1) * F (CS2)^2$$

Coefficiente de correlación = 0.99991434 y la tendencia que sigue la interrelación de las dos componentes sociales a lo largo de la serie de tiempos es:

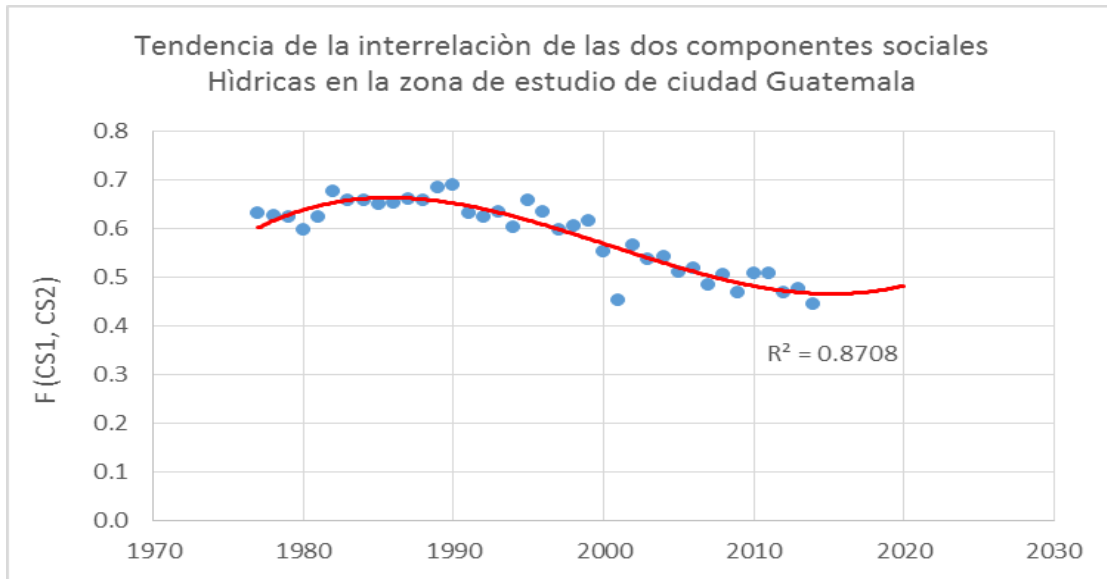


Figura 110. Trayectoria de la tendencia de las dos componentes sociales. Fuente: Elaboración propia. 2016

Como puede observarse la zona de estudio continúa adaptándose al fenómeno del estrés hídrico, a consecuencia de las constantes adecuación de las autoridades responsables de la gobernanza, gestión, administración y distribución del recurso agua

### 5.7 Modelo matemático del índice de sostenibilidad hídrica

Para la obtención de este modelo matemático se inició por proponer un modelo conceptual a través de una red conceptual de multinivel que incluyó como objetivo general evaluar la sostenibilidad hídrica, pero como no se puede hablar de sostenibilidad sin que se incluya sus tres componentes básicos (ambiental, económico y social) tal y como se propone en la figura 4 de la página 43 de esta investigación y que matemáticamente puede ser escrita como:

$$ISH = F(F(CA), F(CE), F(Cs)) \quad (\text{ecuación 1})$$

De acuerdo a la construcción del modelo conceptual, fue necesario definir cada componente por medio de los criterios de sostenibilidad que impactarían directamente al recurso hídrico, para tal efecto se propuso tres criterios de sostenibilidad ambiental, tres económicos y dos de índole social, todos relacionados al recurso hídrico, de tal manera que la ecuación 1, al aplicar los principales criterios de sostenibilidad a cada componente queda como sigue:

$$ISH = F [ F (CA1, CA2, CA3)], [F (CE1, CE2, CE3)], [F (CS1, CS2)] \text{ Ec. (22)}$$

A partir de esta ecuación y con la ayuda de las variables claves definidas por los expertos se propuso la red conceptual de multinivel, que definió el modelo conceptual que logra evaluar la sostenibilidad hídrica con todos los observables que explican cada criterio de sostenibilidad en su respectiva componente.

Ahora que ya se conocen los tres principales modelos matemáticos que describen el comportamiento de la sostenibilidad hídrica de cada componente, se propuso el modelo para la ecuación 1, así:

$$ISH = F (CA, CE, CS) = 1$$

$$F (CA, CE, CS) = F [(CA)^{0.4} * (CE)^{0.35} * (CS)^{0.25}]$$

Y el modelo matemático que describe el comportamiento de los datos con un coeficiente de modelación = 0.99387634 y un nivel de ajuste entre los datos observados y los modelados es:

$$ISH = F (CA, CE, CS) = 0.234 + 0.455 (CE) (CS) + 0.346 (CA)^2]$$

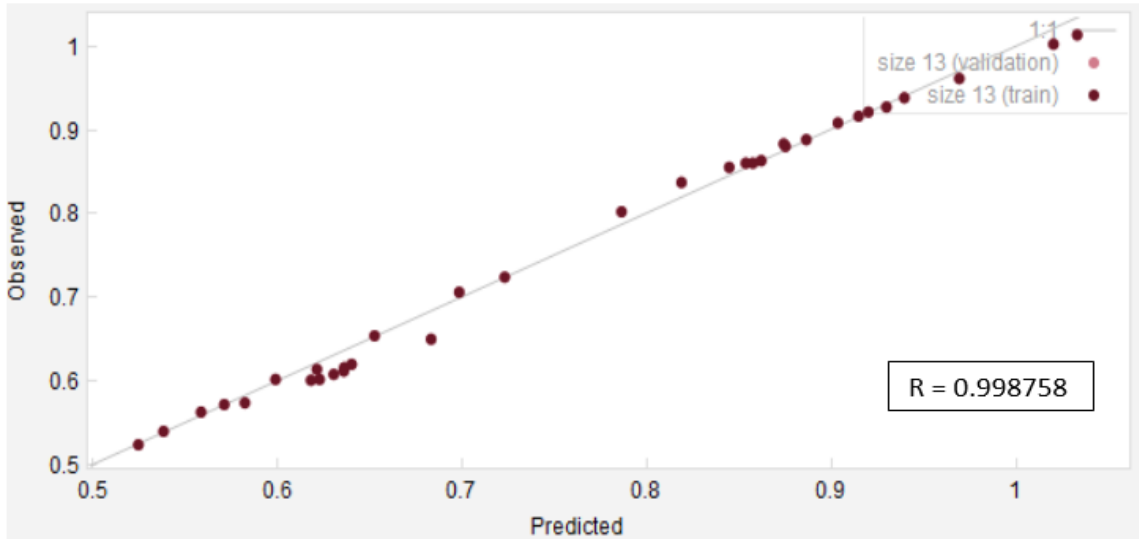


Figura 111. Nivel de ajuste del modelo entre datos observados y pronosticados.  
Fuente: elaboración propia con la ayuda del programa Eureka®.2016

Y la tendencia del indicador de sostenibilidad hídrica es:

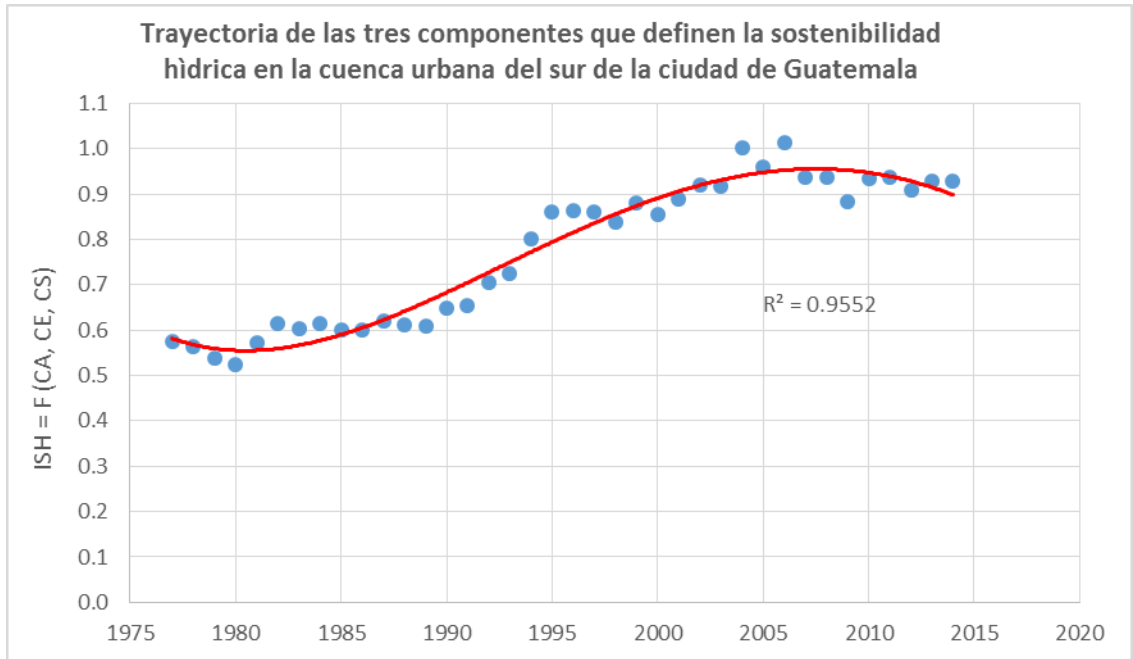


Figura 112. Trayectoria del índice de sostenibilidad hídrica total (ISH). Fuente: Elaboración propia. 2016

Se esperaba que la trayectoria de la sostenibilidad hídrica fuese decreciente, o sea que con respecto al tiempo esta se fuera deteriorando, pero su comportamiento es totalmente al revés, pero los datos son los datos, y esa es la realidad de lo que ha pasado en la cuenca sur de la ciudad de Guatemala. Aunque en los últimos cinco años, ha comenzado a decrecer desde un 0.95 a un valor de 0.90

Tomando en consideración que los actuales sistemas de potabilización con que cuenta EMPAGUA, están tendiendo a ser obsoletos y que los recursos de abastecimiento de las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneos, tienden a desmejorarse, panorama que se aproxima es poco alentador, pero esto se discutirá con más detalle en los escenarios futuros.

## **5.8 Propuesta de escenarios**

A continuación, se presenta un resumen de los posibles escenarios que se plantean para el futuro cercano al año 2030, por cierto, no muy lejano, pero con un abanico de oportunidades si se decidiera hoy que acciones deberán emprenderse para alcanzar el escenario elegido.



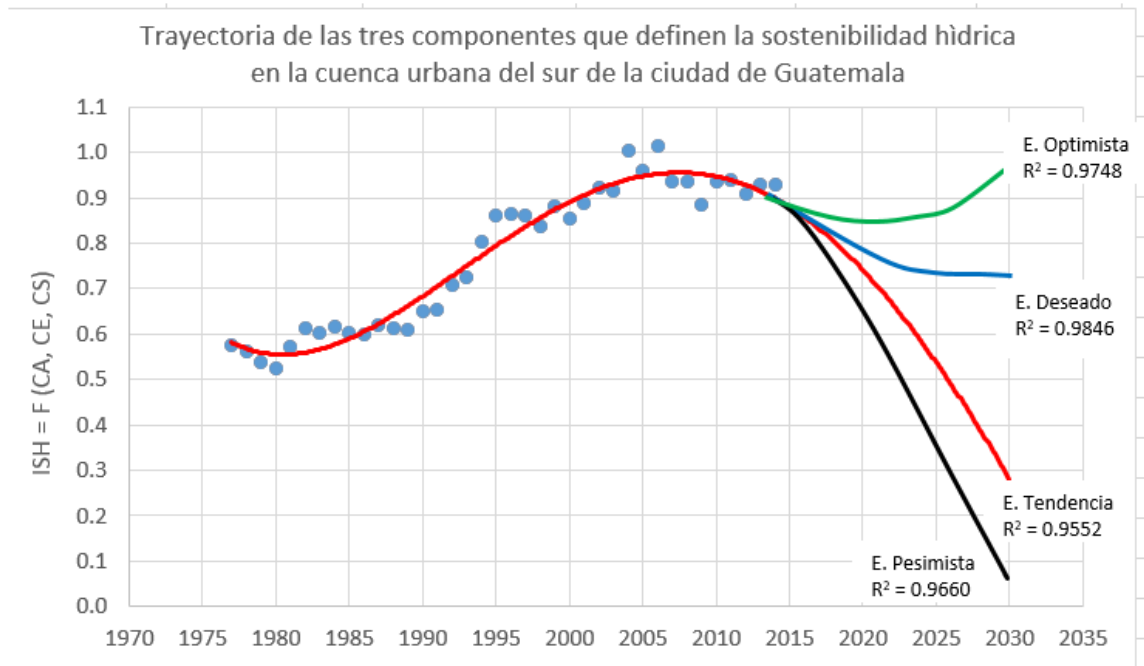


Figura 129. Resumen de los posibles escenarios del índice de sostenibilidad hídrica (ISH). Fuente: Elaboración propia. 2016

Tanto el escenario tendencia como el pesimista, son muy similares pues la caída del indicador de sostenibilidad hídrica es dramática, pero en ambos escenarios la carencia física del agua es el principal detonante, y el restante de variables son a consecuencia del primero. La diferencia del pesimista es que aparte de no hacer nada por resolver la situación los niveles freáticos del agua subterránea se caen, evento que fue probabilizado con un valor de 0.59 también nada nuevo.

Otro evento relevante de ambos escenarios es el incremento del valor del precio del agua, a consecuencia de la escasez física del recurso. Se estima que se triplique el valor de un metro cúbico a nivel generalizado, al elevarse costos de extracción, y trasvase de un punto a otro, evento probabilizado en 0.65

En cuanto a los escenarios optimista y deseado, ambos contemplan la implementación de un proyecto de trasvase de agua de una cuenca externa,

construcción de un acueducto y de una represa por lo menos, también se contempla la inversión en la renovación de la tubería de abastecimiento para reducir a por lo menos un 5 % de fugas. Y por supuesto la modernización administrativa de EMPAGUA.

Finalmente, en ambos escenarios se plantea la existencia de una ley de aguas con una implementación del 75 % por lo menos para el año 2020

## CONCLUSIONES

1 El proceso de modelación matemática logra aproximarse al conocimiento real de lo que sucede con la sostenibilidad hídrica en la subcuenca sur de la ciudad de Guatemala, determinando la trayectoria y el valor en que se encuentra actualmente, además se puede establecer con gran facilidad, que componentes son las que más impactan al recurso hídrico, a la hora de tomar alguna decisión.

2 La propuesta metodológica incluye el estudio de subsistemas de los cuales se seleccionó el componente ambiental, componente económico y componente social. La generación de modelos individuales permite su valoración por separado cada una. Por último, se pudo confirmar que el modelo matemático actualmente propuesto ( $ISH = F(CA, CE, CS) = 0.234 + 0.455(CE)(CS) + 0.346(CA)^2$ ), es sencillo, práctico y de fácil utilización, en el cual se puede observar que la componente ambiental (CA) es la que mayor peso tiene en la ecuación teórica.

3 La metodología propuesta para generar el modelo matemático, permitió no solamente el modelo mismo, si no que dio la oportunidad para su validación sobre la subcuenca sur de la ciudad de Guatemala, permitiendo conocer sobre cada una de las zonas del área de estudio. Durante la validación del modelo se obtuvieron muy buenos coeficientes de correlación y de modelación (0.9973207 y 0.9938763 respectivamente) que dan la certeza que el grupo de datos y variables ajustados responden adecuadamente al modelo propuesto.

4 En el modelo propuesto se utilizaron las herramientas prospectivas que permitieron plantear el escenario deseado al 2030 con respecto a las condiciones hídricas que deberían imperar, se proyecta al presente para revisar en que aspectos se debe trabajar, identificando las líneas de acción y estrategias que deberán emprenderse para preservar el recurso hídrico en ciudad Guatemala, se

generó una gráfica que permite visualizar la trayectoria de cada uno de los posibles escenarios que podría esperarse sucedan de acuerdo a la probabilidad de eventos sugeridos y analizados por los expertos.

## RECOMENDACIONES

1 Durante el desarrollo de la fase 2 se recomienda agendar a un número de por lo menos 60 o más expertos, pues originalmente se tenía contemplado a un número de 30 expertos, pero el asesor de tesis subió la lista 51, y al final no fue posible agendar al 35 %, por múltiples actividades de ambas partes, y premuras del programa del Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, programó un total de 51 expertos, entonces se recomienda aumentar el tiempo de esta fase particularmente a por lo menos 5 meses o más. También en otras ocasiones fue necesario realizar una doble entrevista para profundizar algunas cuestiones sobre el tipo de relaciones de variables sugeridas que consideraba relacionar.

Por último después de la recogida de la información de los expertos fue necesario realizar una revisión bibliográfica sobre los tipos de indicadores hídricos más utilizados.

2 En cuanto al tema de contaminación ambiental, se recomienda ahondar un poco más sobre los caudales y caracterización de las aguas residuales de los ríos tributarios, tanto para la subcuenta norte (la que más caudales tiene) como para la subcuenta sur, que finalmente servirán de apoyo para medidas de mitigación para el rescate del lago de Amatitlán, por lo tanto es un tema de actualidad, relevante y de mucho impacto.

3 Para el tema de las series ambientales se recomienda ampliar la base de datos a 100 o más años de ser posible para encontrar evidencias de cambio climático más sólidas y con mejores tendencias para su análisis.

4 Se ha identificado que los posibles beneficiados de esta investigación serán en primera instancia todos los habitantes de la ciudad capital de Guatemala de hoy y de mañana, o sea todos los hijos de esta generación, serán las futuras familias, puesto que de las acciones que se emprendan hoy así será el futuro que se construya; este estudio también le servirá a los decisores, alcaldes y gobernadores para la toma de decisiones sobre seguro y no en base a percepciones personales, partidistas o de momento; para instituciones como las universidades del país, le servirá de guía en cuanto a nueva técnica metodológica para el análisis prospectivo en la evaluación de otros temas ambientales referentes al recurso hídrico.

## Referencias Bibliográficas

- Abraham E, Montaña E, Torres L (2006) Desertificación e indicadores: posibilidades de medición integrada de fenómenos complejos. En: Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Vol. X, núm. 214, 01-06-2006. Univ. de Barcelona, p. 41. ISSN: 1138-9788.
- Alberti M. and Susskind I., (1996): "Managing urban sustainability: Introduction to the special issue." *IA Review*, p.16:4-6, July-Nov. 1996.
- Andreu, J. (1993). Conceptos y métodos para la planificación hidrológica. Cinme Barcelona, España. 391 p.
- Anónimo (1979) Map of the world distribution of arid regions. Man and Biosphere (MAB). Technical Notes 7. UNESCO. Paris, Francia. 1 Mapa-Memoria de Cálculos, Escala 1: 25 000 000. 54 pp. Anónimo (1992) World Atlas of Desertification. UNEP. Edward Arnold, Sevenoaks, UK, p.69.
- AVANCSO (2003), "El proceso de Crecimiento Metropolitano de la Ciudad de Guatemala", Cuaderno de Investigación No. 18, Septiembre 2,003 p. 110.
- Azpurua, P.; Gabaldón, A. (1976). Recursos hidráulicos y desarrollo. Editorial tecnos, Madrid. 92 p.
- Banco Mundial (1997) "Informe sobre el desarrollo Mundial" en Tantaean y Vigier, OpCit, p.4. Distribución del agua:  
[http://www.solidaridadandalucia.org/derecho\\_agua/img/mapa07.jpg](http://www.solidaridadandalucia.org/derecho_agua/img/mapa07.jpg)
- Barlow, Maude. (2009). El Convenio azul: La crisis global del agua y la batalla futura por el derecho al agua. Chile, Council of Canadian y Chile Sustentable, p. 12.
- Benavides Muñoz, Holger. (2010). Diagnóstico de la sostenibilidad de un abastecimiento de agua e identificación de las propuestas que la mejoren. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España, p. 24- 56

- Bergkamp, G., Orlando, B. and Burton, (2003). Change. Adaptation of Water Management to ClimateChange IUCN. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido, Costa Rica (traducción), UICN-ORMA, p. 6.
- Brundtland, H Gro (1987). "Nuestro Futuro Común". Naciones Unidas, 1987, p. 22.
- Calabuig C. (2008). Agenda 21 local y gobernanza democrática para el desarrollo humano sostenible: bases para una gestión orientada al proceso. Proyectos de Ingeniería. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral: 588, p. 101.
- Cámara J. (2003). "La AGENDA 21 LOCAL, de Río 1992 a Johannesburgo 2002". I Plenario de Municipios, agenda\_fempclm\_eu: 5, p.43.
- Carpenter S.R (1995) Development and StrongSustainability. "Sostenible. Congreso Internacional Tecnología, Desenvolupament Sostenible I Desequilibris". Barcelona, Icaria- Generalitat de Catalunya, 1995. p.49-60.
- CEPIS/OPS (2002). Análisis del sector agua potable y saneamiento en Guatemala. Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. Capítulo 4, p. 2. accesado en julio de 2015.  
<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/guatemala/capitulo4.html>,
- Ciurana ER (2001) Complejidad: Elementos para una definición. Instituto Internacional para el Pensamiento Complejo y Asociation para la penséecomplexe. UNESCO. Paris, Francia. 25 p.
- Cochilco. (2008). Buenas prácticas y uso eficiente del agua en la industria minera. Chile, Cochilco. 52 p.
- Colom de Morán, Elisa y Marco Morales-de la Cruz. (2011), Asesores del Gabinete Especifico del Agua, en la publicación de la "Política Nacional del Agua de Guatemala y sus estrategias". 22 p.
- Colom, E. (1978). Análisis crítico de la legislación del agua en Guatemala. Tesis de grado Universidad de San Carlos de Guatemala. 40 p.



- Colom, E. (2010). Propuesta para actualizar los contenidos de Política Nacional y Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de SEGEPLAN, 2006. GEA / BID, Guatemala, 35 p.
- Colom, E.; Ballesteros, M. (2003). Gobernabilidad eficaz del agua: acciones conjuntas en Centroamérica. GWP / Comité Asesor para América Central. 50 p.
- Colom, E.; Morales-de la Cruz, M.; Ferraté, L. (2010). Planificación hidrológica, obras de regulación y gobernabilidad del agua de Guatemala: proyecto nacional GEA del Plan de Reconstrucción con Transformación. GEA, Guatemala, 20 p.
- CONCYT. 2005. Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2005-2014. Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, Guatemala. 22 p.
- Côte, Claire. (2010). Water in mining 2010 (2a, 2010, Santiago, Chile). WaterAccounting in MiningOperation. Santiago, Chile. 4 p.
- DalyHermán (1993) Por unos principios operativos del Desarrollo Sostenible Rev. ALFOZ., N. 96. Madrid, 1993.
- Daza Sánchez, Francisca. (2008). Demanda de agua en zonas urbanas de Andalucía, tesis doctoral. Córdoba. España, 100 p.
- Díaz R. y Escárcega S. (2009). Desarrollo sustentable. Oportunidad para la vida. México. 73 p.
- Dixon John; Fallón Louise (1991) El concepto de sustentabilidad: sus orígenes, alcances, y utilidad en la Formulación de políticas. Desarrollo y Medio Ambiente. CIEPLAN, Santiago de Chile, 1991.
- DMA, (2000) Directiva Marco del Agua, unión europea, acuerdo 60EC, p. 56.
- Doménech, Juan Luis. (2009). Huella ecológica y desarrollo sostenible. 2a edición. España, Aenor. 89 p.
- DRAE, Diccionario de la Real Academia Española, 23.<sup>a</sup>, publicada en octubre de 2014, <http://www.rae.es/diccionario-de-la-lengua-espanola/acceso-desde-navegadores-y-dispositivos-moviles>.

- Dréo J. (2007). "Desarrollo sostenible." Imágenextsvg, from [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Desarrollo\\_sostenible.svg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Desarrollo_sostenible.svg). 6 p.
- EMPAGUA (2010) Empresa Municipal de Agua, Reporte anual, Guatemala, ciudad capital [www.empagua.com](http://www.empagua.com) 23 p.
- Engelman.(2009). State of worldpopulation 2009: Facing a changingworld: women, population and climate UNFPA. 12 p.
- Expo Zaragoza, S. W. f. t. w.-E. (2008). Agua y desarrollo sostenible. Zaragoza. 14 p.
- Fajardo L. (2008). Desarrollo Humano Sustentable: Concepto y Naturaleza. U. S. Arboleda. Bogotá - Colombia, Civilizar. 23 p.
- FAO. (2006), FAO 56: Evapotranspiración de cultivo. Roma, FAO. 123 p.
- Fernández B., Francisco (2003) Cuidar la Tierra, filosofía y práctica de la Sostenibilidad. La Insignia. España, septiembre del 2003. 45 p.
- Fetter, C. W. (1994). AppliedHydrogeology. Third ed. Prentice Hall. 691 p.
- FFA, (1999), Fundació Fórum Ambiental, Salvador, Rueda Palenzuela. Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles, 1999, pág. 24
- Franco, M. (2008). Género y Agua en Centro América. Alianza Género y Agua (GWA), Red Sudamericana del Agua (SAWN) y Red Centroamericana de Acción del Agua. 56 p.
- Galindo, H.; Molina, J. (2007). Valoración Estratégica sobre la importancia del agua potable y el saneamiento básico para el desarrollo, la salud y la educación en Guatemala. RASGUA, Guatemala, 101 p.
- García Lirios, Cruz (2012) Los constructos de la sustentabilidad hídrica,
- García R. (1986). Conceptos Básicos para el Estudio de Sistemas Complejos. In Leff, E. (coord.), Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo. Edit. México Siglo XXI. México. 243 p.
- GEA. (2009) a. Priorización de acciones-compromisos institucionales del agua de las instituciones que conforman el Gabinete Específico del Agua. GEA, Guatemala. 13 p.

- GEA. (2009) b. Sistema de información de agua potable y saneamiento: boleta SAS de cobertura de agua potable y saneamiento. MSPAS / AFP / GEA / SEGEPLAN / INFOM / SESAN, Guatemala. 4 p.
- GEA. (2009) c. Acciones inmediatas del plan de urgencia del agua para la zona semiárida (corredor seco). Comité de Acción del Agua / GEA, Guatemala, 8 p.
- GEA. (2009). Avances del Gabinete Específico del Agua durante el año 2009. GEA, Guatemala. 6 p.
- GEA. (2010) a. Sistema integrado de información del agua SIAGua: boleta IEFA 2010 de inventario del estado de las fuentes de agua. GEA / MARN / CONAP / INAB / MAGA / SEGEPLAN. Guatemala, 5 p.
- GEA. (2010). Avances del Gabinete Específico del Agua durante el año 2010. GEA, Guatemala. 18 p.
- Gleick, P. H. (1993). Water in Crisis – A guide to theWorld’ s FreshWater Resources. Oxford UniversityPress. 473 p.
- Global WaterPartnership (2003). La gobernabilidad de la gestión del agua en el Ecuador. Gobernabilidad del sector del agua G.-S. -. Japón Global WaterPartnership. 23 p.
- Godet Michel (1994) Fromanticipation to action. UNESCO Publishing. 87 p.
- Godet Michel (2005) La Caja de Herramientas de la Prospectiva Estratégica. Cuadernos de LIPSO Sitio WEB “Experiencias del Ordenamiento para la Planificación Territorial y Empresarial: Cienfuegos, una provincia de referencia en Cuba. Colectivo de Autores. 23 p.  
([www.codesyntax.com/es/prospectiva/programas-prospectiva/micmac](http://www.codesyntax.com/es/prospectiva/programas-prospectiva/micmac)).
- Godínez G. Lopsany (2009). Análisis financiero para el diseño de un sistema tarifario aplicado al servicio de agua potable de la ciudad de Guatemala, facultad de ciencias económicas, escuela de estudios de postgrado maestría en administración financiera. USAC. 9-12 p.

- Gross M. (2014). Del Pensamiento Imaginativo de la Prospectiva Estratégica. Nacimiento, evolución y aplicaciones. Disponible en: <http://manuelgross.bligoo.com/20140629-desarrollo-organizacional-los-7-roles-del-lider-innovador> [Acceado el 30 de junio de 2014], p. 3
- Guatemala. (2006). Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Acuerdo Gubernativo 236-2006, Guatemala, Diario de Centroamérica, 17 p.
- Guatemala. (2008). Creación del Gabinete Específico del Agua. Acuerdo Gubernativo 204-2008, Diario de Centroamérica, Guatemala, 3p.
- Guatemala. (2009) b. Política nacional de cambio climático. Acuerdo Gubernativo 329-2009, Guatemala, 23 p.
- Guatemala. (2009). Reglamento de normas sanitarias para la administración, construcción, operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua para consumo humano. Acuerdo Gubernativo 113-2009, Guatemala, Diario de Centroamérica, 3 p.
- Guatemala. (2010). Política nacional de producción más limpia. Acuerdo Gubernativo 258-2010. Guatemala, 50 p.
- HEATHCOTE, I. W.(1998). Integrated Watershed Management – principles and practice. John Wiley&Sons Inc. 414 p.
- Hernández, S et al. (2007) Fundamentos de metodología de la investigación. México: Mac Graw Hill. 66 p.
- Hillel D, Rosenzweig C (2002) Desertification in relation to climate variability and change. *Advances in Agronomy* 77: 1-44 p.
- Hoekstra, Arjen Y., Gervens-Leenes, W., & Van der Meer, T. H. (2009 a) Reply to Pfister and Hellweg Water footprint accounting, impact assessment, and life-cycle assessment. *PNAS*, 106 (40): 114 p.
- Hoekstra, Arjen. (2010). The water footprint: water in the supply chain, *the environmentalist*. 93 p: 12- 13

- Hoekstra, Arjen. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). WaterFootprint Manual, State of the Art 2009. Holanda. WaterFootprint Network. 2009 a. 123 p.
- INA (2007). Instituto nacional del agua. Condiciones y usos del recurso hídrico en la provincia de Mendoza en el 2025. Argentina, p. 5
- INDE. (2006). Banco de datos hidrometeorológico de Guatemala. INDE, Guatemala. 40 p.
- INE (2012) Instituto Nacional de Estadística Resumen Anual, Ciudad Guatemala. [www.ine.com](http://www.ine.com) 4 p.
- INE. (2002). XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación: CENSO 2002. Gobierno de Guatemala, Guatemala. 52 p.
- INE. (2006). Encuesta nacional de condiciones de vida: ENCOVI – 2006. Gobierno de Guatemala, Guatemala, 45 p.
- INSIVUMEH, CIV, (2008). Guatemala. 12 p.
- INSIVUMEH. (2006). Archivo de datos hidrológicos y meteorológicos de Guatemala. INSIVUMEH, CIV, Guatemala. 78 p.
- INSIVUMEH. (2009). Evaluación del recurso hídrico superficial a nivel nacional, balance hídrico de Guatemala 1970-2003. 97 p.
- Investigador, profesor y consultor. Departamento de Psicología Social y Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. 1 p. accesado <http://www.eepsys.com/es/los-constructos-de-la-sustentabilidad-hidrica-2/>
- IPCC (2013) Intergovernmental Panel on Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013 (ed. by Thomas F. Stocker, D. Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, YuXia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley). Cambridge University Press, Cambridge, UK. (last accessed 14 Febrero 2014). <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uv6y4GJ5Ph5> 43 p.

- ISO 14000-23. (2002). Determinación del Ciclo de Vida de productos y servicios. 2002. 67 p.
- Jones P. D., M. New, D. E. Parker, S. Martin, and I. G. Rigor. (1999) Surface Air Temperature and its charges over the past 150 year. Reviews of Geophysics, 37, 2 / May 1999 ,1 p. 73-199.
- Juárez Sánchez-Rubio, Cipriano, Indicadores Hídricos de Sostenibilidad y Desarrollo Turístico y Residencial en la costa Blanca (Alicante), 2008, Universidad de Alicante, Boletín de la A.G.E, No. 47, p 215.
- Kerlin, Ernesto. El significado del Desarrollo Sostenible. Rev. ALFOZ., N. 96. Madrid, 2002, p.153
- Kowalczak, Piotr & Zbigniew W. Kundzewicz (2011) Water-related conflicts in urban areas in Poland, Hydrological Sciences Journal, 56:4, p. 588-596, DOI:10.1080/02626667.2011.572554, <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2011.572554>
- Lentini, E. (2010). Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala, 45 p.
- Macedo B. (2005). El concepto de sostenibilidad. OREALC/2005/PI/H/12. Santiago de Chile, UNESCO - Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe: 4 p.
- Manuel de Prospective Stratégique. (2005). Available from worldwide web: <<http://www.amazon.fr/exec/obidos/ASIN/210003118X>> 45 p.
- MARN; GEA; MINEX; SEGEPLAN; MINFIN. (2010). Plan sectorial multianual de ambiente y agua 2011-2013: proceso de la aplicación de los principios de la declaración de París al sector ambiente y agua. Gobierno de Guatemala, Sector Ambiente y Agua. 268 p.
- MARN; URL/IARNA; PNUMA. (2009). Informe Ambiental del Estado de Guatemala, GEO. Guatemala. 286 p.

- Marquardt B. (2006). "Historia de la sostenibilidad. Un concepto medioambiental en la historia de Europa central (1000-2006)." *Historia crítica* (32): p. 172 - 197.
- Masoner JR, Stannard DI, Christenson SC (2008). Differences in evaporation between a floating pan and Class A Pan onland. *Journal of the American Water Resources Association* 44(3): p. 552-561.
- Mays, Larry W. "Ancient Water Technologies". Ed. Springer, 2010, 23 p.
- Miklos T. Jiménez E. y Arroyo M. (2008). "Prospectiva, gobernabilidad y riesgo político" Editorial LIMUSA, México 2008 p.121
- Models in stochastic simulation. *European Journal of Operational Research*. 196. pp. 1031-1040.
- Morales-de la Cruz, M.; Pérez, M.; Calvo, R.; Devers, D. 2009. Sistema integrado de información y conocimiento del agua de Guatemala (SIAGua): aplicación del subsistema para tomar decisiones de inversión pública en agua potable y saneamiento, p. 56
- MSPAS. (2004). Acuerdo Ministerial 278-2004. Creación del Programa Nacional de vigilancia de La calidad de agua para consumo humano. 4 p.
- MSPAS. (2009). Acuerdo Ministerial 1148-2009: Manual de normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano. 3 p.
- MSPAS. (2010) a. Taller para la Coordinación del Desarrollo del Sistema de Información de Agua Potable y Saneamiento: principales aportes obtenidos. Gobierno de Guatemala / MSPAS / GEA. 5 p.
- MSPAS. (2010). Acuerdo Ministerial 595-2010. Creación de la Unidad Especial de ejecución administrativa para el control de agua potable y saneamiento. 3 p.
- Mudd, Gavin. M. (2008). Sustainability Reporting and Water Resources: a Preliminary Assessment of Embodied. *Mine Water Environment* (27): p. 144-163.

- MUNIGUATE. (2005). Municipalidad de Guatemala. Visita del Sr. Alcalde Álvaro Arzú a planta de bombeo ojo de agua. Declaraciones del Subgerente Técnico de EMPAGUA. Ing. Hugo Vásquez, accesado en julio 15 de 2015. <http://www.municipalidaddeguatemala.com/index.php/empagua/25-temas/5303-visitaaplanta>
- Naciones Unidas (2008). WorldPopulationProspects: The 2008 Revision, PopulationDivision of theDepartment of Economic and Social Affairs of theUnitedNationsSecretariat. <http://esa.un.org/unpp>. 65 p.
- Ohlsson, L. (1999): Environment, Scarcity, and conflict – A study of Malthusianconcerns. Dept. of Peace and DevelopmentResearch, University of Goteborg, 284 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2010). Objetivos de Desarrollo del Milenio, Informe 2010. New York, Consulta (Enero 2011) disponible//[www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG\\_Report\\_2010\\_SP.pdf](http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2010_SP.pdf) 67 p.
- Paolini R., Jorge (2011). Una red conceptual multinivel para analizar, modelizar y medir la sostenibilidad en sistemas socio-ecológicos. Revista Ciencia e Ingeniería. Edición Especial: “Jornada de Modelado y Simulación” pp. 147-156 ISSN 1316-7081.
- Paolini Ruiz, Jorge Iván (2013). Una propuesta metodológica para la modelación y prospección de la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas en la Guayana Venezolana. Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona. España. P.21
- Paolini, J (2008). Diseño de un modelo para el análisis de la sostenibilidad en la Cuenca Hidrográfica del río Caroní en la Guayana Venezolana. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. 3: 21-38
- Parris T. y Kates R. (2003). "Characterizing and measuringsustainabledevelopment." AnnualReview of Environment and Resources 28 p.



- PNRH (2006). Plan nacional de recursos hídricos. Agua para el futuro: Escenarios para 2020. Volumen 2. Brasil, p. 28, 38, 50.
- PNUD (1991). Informe sobre desarrollo humano 1991, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.  
[http://hdr.undp.org/en/media/hdr\\_1991\\_es\\_resumen.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/hdr_1991_es_resumen.pdf) 67 p.
- RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A G.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P.C.; CLEARY, R.W. (1989). Ingeniería hidrológica. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. ABRH. 404 p.
- REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (1999). Águas Doces no Brasil. Escrituras. IEA/Acad. Bras. Letras. 717 p.
- Rodríguez, J. (1541). Escribano de Cámara, Juan Rodríguez. Relación del Espantable Terremoto que agoranuevamente ha acontecido en las Yndias en una Ciudad llamada Guatimala. Casa Cromberg, Escribano de Cámara 1541, reproducida por Oficina Tipográfica de la Casa Editora de Miguel Ángel Purruo, México, 2009, p.83
- Sachs Ignacy (1992) Ecodesarrollo: desarrollo sin destrucción El Colegio de México. México, 1982.
- Salinas-Zavala CA, Lluch-Cota SE, Hernández-Vázquez S, Lluch-Cota DB (1998). La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. *Atmósfera* 2(1): p. 29-44.
- Sánchez F. Gabriela. Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 2009. 21, 3, p.
- SEGEPLAN / UN / BID / USAID. (2010). Guatemala. 12 p.
- SEGEPLAN. (2006) a. Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala: Diagnóstico. SEGEPLAN, Guatemala, 83 p.
- SEGEPLAN. (2006) b. II Informe de Avances: hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en Guatemala. 31 p.

- SEGEPLAN. (2006). Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (PNGIRH) y de la Estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (ENGIRH). SEGEPLAN, Guatemala, 33 p.
- SEGEPLAN. (2008). Plan Nacional de Servicios Públicos de Agua Potable y Saneamiento para el Desarrollo Humano 2008-2011. Gobierno de Guatemala / SEGEPLAN / GEA, Guatemala. 29 p.
- SEGEPLAN. (2010) a. Plan de recuperación y reconstrucción con transformación: después de Agatha y Pacaya. Gobierno de Guatemala / SEGEPLAN, Guatemala, 85 p. ambientales críticas y su relación con el desarrollo. URL / IARNA, Guatemala.
- SEGEPLAN. (2010). Informe de avances en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo del milenio: objetivo 7, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Guatemala / SEGEPLAN, Guatemala, 64 p.
- Segger C. y Khalfan A. (2004). SustainableDevelopmentLaw: Principles, Practices&Prospects. CISDL, Oxford: Oxford UniversityPress. 45 p.
- SEMARNAT (2011). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. La agenda del agua 2030. México, p. 5.
- Sharma KD (1998) Thehydrologicalindicators of desertification. Journal of AridEnvironments 39(2): p. 121- 132.
- Shiklomanov, I.A , John C. Rodda, (2003). WorldWaterResources al theBeginnig of thetwenty-FirstCenture. Unesco 2003. 8 p.
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., &Dikshit, A. K. (2009). Anoverview of sustainabilityassessmentmethodologies. EcologicalIndicators (9): p. 189-212.
- Strong, M., 1975. (Director Ejecutivo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, PNUMA, 1975)
- Sullivan, C. (2002). Calculating a waterPovertyIndex. Worlddevelopment, Vol. 30, num. 7 p.1195-1210

- Tánchez U. Claudia C. (2007). Estudio de prefactibilidad de un proyecto para envasar y comercializar agua pura en la planta cambray de la empresa municipal de agua, ciudad de Guatemala, departamento de Guatemala. USAC. 18 p.
- UNESCO-PHI, (2004). Programa Hidrológico Internacional.  
<http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/water-chairs/> 13 p.
- URL / IARNA. (2009). Situación del agua en Guatemala: síntesis desde la perspectiva de las cuentas verdes. URL / IARNA, Guatemala. 64 p.
- URL / IARNA; IIA. (2006). Perfil ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. Guatemala, IARNA-URL / IIA. 249 p. 41
- Vergara, María Antonieta. (2002). Efecto de la localización en el impacto ambiental de un proceso: Evaluación mediante el Análisis de Ciclo de Vida. Tesis (Ingeniera Civil en Biotecnología). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química. 61 p.
- Wackernagel, Mathis, & Rees, William. (1996). Nuestra Huella Ecológica, reduciendo el impacto humano sobre la tierra. Canada, New society Publishers. 23 p.
- Walpole, R et al. (2007) Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. México: Pearson Educación. 8ª edición. 192 p.
- Wang Q, Takahashi H (1999) A landsurfacewaterdeficitmodel for an arid and semiarid region: Impact of desertification on the water deficit status in the Loess Plateau, China. Journal of Climate 12: p. 244-257.
- World Bank (2002). Más Allá Crecimiento Económico, Glosario. G. d. B. Mundial, 35 p.  
<http://www.worldbank.org/depweb/spanish/beyond/global/glossary.html>.

WorldResourcesInstitute, (2008). Roots of Resilience - GrowingtheWealth of the Poor. UnitedNationsDevelopmentProgramme, UnitedNationsEnvironmentProgramme, and WorldResourcesInstitute - July 2008. <http://www.wri.org/publication/world-resources-2008> p.43

WWDR (2000), WorldWaterDevelopmentReport.  
<http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr> 21 p.

ANEXO 1



Universidad de San Carlos  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Estudios de Postgrado  
 Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad

Proyecto de desarrollo de investigación de tesis  
 Doctoral, titulado: Modelación y prospección de  
 la sostenibilidad hídrica en una cuenca urbana:  
 Estudio de caso ciudad Guatemala

No. encuesta

**Encuesta de evaluación del servicio de agua en la cuenca sur de ciudad Guatemala**

Zona  colonia

- 1 Sexo
- 2 Edad
- 3 Cuanto paga mensualmente usted por el servicio de agua?
- 4 El servicio de agua lo tiene todos los dias?
- 5 Cuantas veces a la semana le conectan el servicio de agua?
- 6 Cuantas horas al dia tiene agua?
- 7 Dispone de algun medio para guardar agua?
- 8 En cuanto tiempo calcula usted que se llena la pila (minutos)?  
      
 8 L/min                  6 L/min                  4 L/min                  3 L/min
- 9 Compra agua embotellada para beber
- 10 Si mejorara el servicio estaria dispuesto a pagar mas por el?

## ANEXO 2

### DEFINICION DE UN EXPERTO

Según ROY PÉREZ<sup>3</sup>, “el experto es un práctico sin capacidad inventiva”, el cual “se sitúa en un estadio inferior al del inventor, sin su capacidad para producir un invento, pero con un conjunto de habilidades muy similares y con un acceso ilimitado a la información”.

Según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE), un experto es una persona “práctica, hábil y experimentada”.

El propósito de un experto, es ofrecer su *perspectiva* sobre un tema en cuestión. Esa es la razón por la cual las personas van a un experto: pues quieren saber su opinión, sus consejos, sus conocimientos, etc. En esencia, quieren escuchar su *perspectiva*. Quieren saber simplemente qué es lo que el experto piensa u opina sobre un tema en específico.

Nombre: \_\_\_\_\_

Profesión: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Hr. Inicio: \_\_\_\_\_ Hr. Fin: \_\_\_\_\_

Tipo de ocupación actual:

- Ambientalista    Periodista    Antropólogos    Abogado    Alcalde  
 Ingeniero    Biólogo    Hidrólogo    Medico    Docente universitario  
 Técnico especialista    Ministro    Director Área    Gerente

A continuación, algunos criterios específicos para la selección de un experto:

No.	Criterio de selección	valoración		
		Excelente	Reconocido	Bueno
1	Experiencia reconocida			
2	Relevancia de sus trabajos			
3	Experiencia científica			
4	Disposición a participar			
5	Capacidad de análisis			
6	Conocimiento del problema			
7	Publicaciones destacadas			
8	Creatividad y pensamiento lógico			
9	Posiciones ocupadas			
10	Antigüedad en la posición			

<sup>3</sup> ROY PÉREZ, C.: “La intervención del perito como experto en los procesos judiciales en materia de patentes”, Revista de Derecho Mercantil, nº 262, Madrid, 2006, pág. 1493.

## ANEXO 3

### Guía de preguntas claves para dirigir las entrevistas con los expertos

Para ayudar a evaluar la sostenibilidad actual y futura del agua en Guatemala y sus principales problemas relacionados con salud, pobreza, escasez de agua, educación, cambio climático, contaminación de los cuerpos de agua, escasas plantas de tratamiento de agua, y además la no existencia de una ley general de aguas, que complica, que la gestión de los recursos hídricos sea dificultosa de aplicar.

- 1 Cuál es su opinión en cuanto a la escasez de agua en la ciudad de Guatemala
  - Considera que la situación se ha ido agravando
  - Reconocimiento de causas
  - Planteamiento de posibles soluciones.
- 2 Está usted de acuerdo que la sostenibilidad hídrica puede evaluar la escasez de agua
  - Si la respuesta es afirmativa, cuáles deberían de ser las principales variables a considerar
  - Como qué tipo de ecuación o relación debería de ser.
- 3 Qué actores considera usted, que tienen que ver con la sostenibilidad hídrica?
- 4 Qué opinión le merecen los estudios relacionados al agua enfocados a la ciudad de Guatemala.
  - Tiene algunas preferencias específicas que usted considera que deberían incluirse o enfocarse en los estudios relacionados al agua en la ciudad de Guatemala
- 5 ¿En cuanto a los aspectos sociales cuál es su opinión al respecto de?
  - El cumplimiento de los parámetros de calidad del agua distribuido por EMPAGUA
  - La falta de controles de calidad del agua en los productos ofertados en el mercado, además de empresas surtidoras de llenado de garrafones.

- El abastecimiento público de agua segura en zonas marginales, asentamientos, a precios especiales o gratuitos.
- La racionalización permanente del agua en varias zonas de la capital, y el favorecimiento en otras de mejor condición social (falta de equidad)
- En cuanto a la ley de aguas, que no debería faltar en su reglamento
- Como se podría asegurar el abastecimiento de agua segura en las escuelas públicas mientras se implementas acciones y políticas de largo y mediano plazo.
- La escasez del agua y el abastecimiento de agua no segura es el principal vector de la mayoría de enfermedades gastrointestinales que padece la población, que alternativas considera deberían implementarse.

6 ¿En cuanto a los aspectos ambientales, ¿cuál es su opinión al respecto de?

- La contaminación de los cuerpos de agua,
- El cuidado de las cuencas,
- Los planes de educación sobre el uso del agua. Su opinión sobre
- Las áreas protegidas y zonas de recarga de agua.
- La relación del agua con los efectos del cambio climático.

7 ¿En cuanto a los aspectos económicos cuál es su opinión al respecto de?

- Las tarifas de agua.
- ¿Actualmente, tanto la municipalidad de Guatemala, como muchas otras municipales del país se quejan de que el servicio de agua no es autofinanciable y debe de subvencionarse de otros impuestos, según usted que soluciones hay, y entre ellas debería de privatizarse y por qué?
- El papel del servicio privado en el suministro de agua
- La comercialización del agua tanto a escala industrial (bebidas gaseosas, cerveza, jugos etc. Donde el 90 % del producto terminado es agua) como artesanal venta de agua en camiones cisterna.
- Según estadísticas el uso del agua subterránea que abastece a la ciudad de Guatemala en 1995 era de 40 %, al día de hoy alcanza casi el 60 % y resto del agua es de origen superficial, lo cual encarece el costo de



producción en cuanto al precio de la energía de eléctrica pero tiene la ventaja que el costo de potabilización es bajo, con respecto al tratamiento de aguas superficiales, de continuar esa tendencia, más los efectos del cambio climático, el fenómeno del niño y la variabilidad climática debería pensarse en actuar ya y qué medidas se deberían de toma.

- De las inversiones millonarias dejadas de hacer por EMPAGUA.
- Sobre la búsqueda de nuevas fuentes de suministro de agua.

#### 8 Preguntas relacionadas al futuro probable (prospectivas)

- Que puede pasar si nuestras autoridades actuales no le ponen atención a la problemática del agua en la ciudad de Guatemala o
- A dónde vamos a parar de aquí a 15 años.

#### 9 Preguntas relacionadas al futuro posible (estratégicas)

- Apropiado, y urgente un proyecto a mediano y largo plazo de un acueducto nacional de los principales ríos del norte de mayor caudal, hacia diferentes puntos del país, contemplando varias represas capaces de cubrir las necesidades de agua en la época de mayor estiaje, especialmente para la ciudad de Guatemala y el corredor seco.
- Que otras alternativas tenemos a corto, mediano y largo plazo para afrontar la escasez del agua en ciudad de Guatemala.

#### 10 Preguntas relacionadas al futuro deseable (estratégicas)

- Hacia donde pretendemos ir en el corto y mediano plazo (2030) para afrontar los problemas relacionados a la escasez del agua en la ciudad de Guatemala.
- Guatemala es un país con una gran riqueza hídrica, pero los altos niveles de contaminación y la mala gestión del recurso hídrico han ocasionado una escasez hídrica económica, ¿qué tipo de visión tiene, que sea realista y que le gustaría alcanzar en cuanto a la problemática del agua?
- Considera imprescindible en el futuro cercano la autorización de la ley de aguas, y la creación del Instituto Nacional del Agua, para hacer realidad, los proyectos de mejora, o cree que aun sin estas se puede hacer algo.

## 11 Preguntas relacionadas al presente proactivo (estratégicas)

- Como podemos construir desde ahora las acciones inmediatas para alcanzar el futuro que deseamos respecto al abasto del agua.
- Considera que es factible para la ciudad de Guatemala como respuesta inmediata a la problemática que vive adquirir tecnologías capaces de tratar el agua de nuestros ríos con niveles altos de contaminación, para que pudiéramos consumirla sin grandes inversiones de plantas de tratamiento de agua tradicional.