



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos  
Hidráulicos (ERIS)

**PLAN PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA UNIDAD  
HIDROGRÁFICA DEL RÍO SUCIO, CUENCA 64, NICARAGUA**

**Ing. Máximo Edelberto Angulo Jarquín**

Asesorado por MSc. Ing. Joram Matías Gil Larroj

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA  
UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SUCIO, CUENCA 64, NICARAGUA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS –ERIS-  
POR

ING. MÁXIMO EDELBERTO ANGULO JARQUÍN  
ASESORADO POR MSC. ING. JORAM MATÍAS GIL LAROJ

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN CIENCIAS EN RECURSOS  
HIDRÁULICOS OPCIÓN GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS**

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

EXAMINADOR(A)	MSc. Ing. Joram Matías Gil Laroj
EXAMINADOR(A)	MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR(A)	MSc. Ing. Juan José Sandoval

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PLAN PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SUCIO, CUENCA 64, NICARAGUA**

Tema que fue autorizado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), en octubre de 2016.

**Ing. Máximo Edelberto Angulo Jarquín**

Correo electrónico: maximo.angulo30@gmail.com

Carné No.100020853



Guatemala 13 de julio de 2017

MSc. Ing. Elfego Orozco  
Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado MSc. Ing. Orozco.

Habiendo revisado el documento titulado:

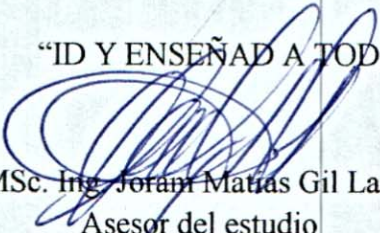
**PLAN PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA  
UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SUCIO, CUENCA 64, NICARAGUA**

Elaborado por el ingeniero Máximo Edelberto Angulo Jarquín, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Recursos Hidráulicos opción Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y revisión de lingüística, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente me suscribo de usted.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
MSc. Ing. Jofani Matías Gil Laroj  
Asesor del estudio  
ERIS/USAC

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería  
Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
COORDINACIÓN  
RECURSOS HIDRÁULICOS

Edificio ERIS,  
Area de prefabricados, CII  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,  
Ext. 86213 y 86212  
(502) 2418 9138

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

Guatemala, 17 de julio de 2017

Señores  
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el trabajo de Estudio Especial titulado:

**Plan para la sostenibilidad de los recursos hídricos de unidad hidrográfica del río Sucio, Cuenca 64, Nicaragua**

presentado por el estudiante,

**Ingeniero Máximo Edelberto Angulo Jarquín**

Les manifiesto que el estudiante cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) Y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Eifego Orozco  
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRAULICOS -ERIS-  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería  
Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
COORDINACIÓN  
RECURSOS HIDRÁULICOS

Edificio ERIS,  
Area de prefabricados, CII  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,  
Ext. 86213 y 86212  
(502) 2418 9138

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

Guatemala, 17 de julio de 2017

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Joram Matías Gil, MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes y MSc. Ing. Juan José Sandoval, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos hidráulicos; MSc. Ing. Elfego Orozco Fuentes y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Ruth Nohemí Cardona Mazariegos, Colegiada No. 12498, al trabajo del estudiante Ing. Máximo Edelberto Angulo Jarquín, titulado: **PLAN PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL RÍO SUCIO, CUENCA 64, NICARAGUA.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los diecisiete días del mes de julio de 2017.

**Imprimase**

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis  
**DIRECTOR**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** El ser supremo en quien creo firmemente, por brindarme salud, bienestar y sabiduría en este proceso.
- Mis padres** Por haberme traído a la vida, por su amor, por guiarme y apoyarme en cada momento. Por los valores y enseñanzas que me han forjado para ser de mí una persona exitosa y bendecida por Dios.
- Mi esposa** Por su infinito amor, paciencia, comprensión y apoyo en esta etapa de formación, en la que hemos tenidos que estar distantes, pero gracias al amor que une, salimos adelante.
- Mis hijos** Por su amor, paciencia y comprensión, por no estar junto a ellos durante este proceso de formación, pero que gracias Dios pronto estaremos juntos compartiendo en familia.
- Mis hermanos** Por la unidad que como familia ha llevado a compartir juntos muchas experiencias agradables en nuestras vidas. Para que este esfuerzo y entrega a la superación profesional y personal los motive a salir adelante.



**Mi país, Nicaragua**

El cual me siento orgulloso de ser nicaragüense,  
por gracias de Dios.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por haberme concedido sabiduría, con la que he crecido profesional y personalmente.
<b>ERIS y sus catedráticos</b>	Por la oportunidad, el conocimiento y todo el apoyo que me brindaron durante mis estudios.
<b>La República Federal de Alemania</b>	Que a través del Servicio de Intercambio Académico Alemán (DAAD) me concedió la beca para estudiar esta maestría.
<b>Profesor Joram Gil</b>	Por aceptar la tarea de conducirme en el proceso de investigación y elaboración de mi estudio especial.
<b>Autoridad Nacional del Agua</b>	Por su apoyo en el desarrollo de la investigación de campo y facilitación de información necesarias para la elaboración de mi estudio de tesis.
<b>Al GRUN y sus instituciones</b>	Por la información generada y facilitada, la que fue de mucha utilidad en la elaboración de mi estudio de tesis.

<b>Programa PROATAS/GIZ</b>	Por el apoyo en la facilitación de información clave para el desarrollo de la investigación.
<b>Alcaldía de Chichigalpa</b>	Por el apoyo y acompañamiento en las giras de campo, así como facilitación de información clave para mi estudio.
<b>Ingenio San Antonio</b>	Por el apoyo y acompañamiento en el trabajo de campo de mi estudio.
<b>Compañeros de clase</b>	Gracias por su amistad, conocimientos compartidos y momentos de alegría que hemos vivido.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
JUSTIFICACIÓN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Ciclo hidrológico.....	1
1.2. Hidrología.....	1
1.3. Cuencas hidrográficas.....	2
1.4. Gestión integrada de recursos hídricos.....	2
1.5. Agua y desarrollo sostenible.....	3
1.6. Gestión de la demanda de agua.....	5
1.7. Gobernanza del agua.....	6
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1. Recopilación de datos.....	7
2.2. Fase de campo.....	8
2.3. Análisis de la información.....	12
3. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SUCIO ...	13
3.1. Descripción general de la cuenca.....	13
3.1.1. Localización y división político-administrativa.....	13

3.1.2.	Delimitación.....	14
3.1.3.	Características demográficas .....	17
3.1.3.1.	Población.....	17
3.1.3.2.	Pobreza .....	19
3.1.3.3.	Actividad económica .....	20
3.1.3.4.	Abastecimiento de agua potable .....	22
3.1.3.5.	Saneamiento .....	25
3.1.3.5.1.	Aguas servidas y servicios higiénicos .....	26
3.1.3.5.2.	Gestión de desechos sólidos .....	29
3.1.4.	Características geofísicas .....	32
3.1.4.1.	Topografía.....	32
3.1.4.2.	Geomorfología.....	33
3.1.4.3.	Geología.....	45
3.1.4.3.1.	Geología regional.....	45
3.1.4.3.2.	Geología local .....	46
3.1.5.	Características de suelo.....	49
3.1.5.1.	Tipo de suelo.....	49
3.1.5.2.	Uso potencial de la tierra.....	51
3.1.5.3.	Uso de la tierra .....	53
3.1.5.4.	Confrontación de uso de la tierra .....	55
3.1.5.5.	Cobertura forestal.....	56
3.1.6.	Características climáticas y meteorológicas.....	58
3.1.6.1.	Clima .....	58
3.1.6.2.	Estaciones meteorológicas.....	59
3.1.6.3.	Precipitación.....	62
3.1.6.4.	Temperatura.....	65
3.1.6.5.	Evapotranspiración.....	68

4.	ESTADO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	69
4.1.	Estado cuantitativo .....	69
4.1.1.	Agua superficial .....	69
4.1.1.1.	Estimación de caudales.....	70
4.1.1.2.	Balance hídrico superficial.....	73
4.1.2.	Aguas subterráneas.....	77
4.1.2.1.	Descripción del acuífero .....	77
4.1.2.2.	Superficie freática del agua subterránea.....	79
4.1.2.3.	Aspectos hidráulicos del acuífero .....	86
4.1.2.4.	Evaluación de la recarga hídrica en la cuenca .....	91
4.1.2.5.	Balance hídrico de suelos.....	95
4.2.	Estado cualitativo .....	101
4.2.1.	Calidad de agua superficial .....	101
4.2.1.1.	Análisis de campo.....	101
4.2.1.2.	Análisis de laboratorio .....	104
4.2.2.	Calidad de agua subterránea .....	111
4.2.2.1.	Análisis de campo.....	111
4.2.2.2.	Análisis de laboratorio .....	117
5.	DEMANDA DE AGUA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SUCIO	131
5.1.	Agua potable .....	131
5.2.	Uso agrícola .....	133
5.3.	Uso pecuario .....	137
5.4.	Uso industrial.....	139
5.5.	Flujo de retorno en la cuenca .....	140

6.	DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SUCIO.....	143
6.1.	Proyección de la demanda en función de la disponibilidad hídrica .....	146
6.1.1.	Demanda de agua potable al 2026 .....	147
6.1.2.	Demanda agrícola al 2026 .....	148
6.1.3.	Demanda del rubro pecuario .....	150
6.1.4.	Demanda industrial al 2026.....	152
7.	GESTIÓN INSTITUCIONAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS .....	155
7.1.	Política hídrica.....	155
7.2.	Marco legal.....	157
7.3.	Gestión de la información hídrica.....	159
7.4.	Gestión participativa.....	161
7.5.	Gestión de riesgo hídrico .....	163
7.6.	Control de usuarios .....	165
7.7.	Planificación de los recursos.....	166
8.	IMPACTOS DE LA GESTIÓN ACTUAL SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS .....	169
9.	ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS .....	171
9.1.	Análisis FODA.....	172
9.2.	Análisis de escenarios.....	179
9.2.1.	Elaboración de escenarios narrativos .....	182
9.2.1.1.	Escenario tendencial .....	182
9.2.1.2.	Escenario alcanzable .....	183
9.2.1.3.	Escenario optimista .....	184

10.	PROPUESTA PLAN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	187
10.1.	Introducción .....	187
10.2.	Visión.....	187
10.3.	Misión .....	188
10.4.	Principios de la gestión hídrica .....	188
10.5.	Estrategias del plan .....	189
10.6.	Marco lógico del plan.....	192
10.7.	Plan de acción estratégica.....	196
10.8.	Organización y estrategias de sostenibilidad.....	199
10.9.	Estrategias de financiamiento y fondo para manejo de cuencas .....	200
	CONCLUSIONES .....	203
	RECOMENDACIONES .....	205
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	207
	ANEXOS .....	215





## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Vista de la zona de recarga de la cuenca .....	9
2.	Vista de la zona de descarga de la cuenca .....	9
3.	Sitio 1. Descarga de agua residual proveniente de la ciudad de Chichigalpa.....	10
4.	Sitio 2. Descarga de agua residual proveniente de la ciudad de Chichigalpa.....	10
5.	Vertedero a cielo abierto en el municipio de Chichigalpa.....	10
6.	Ríos en estación seca son utilizados como vía de acceso.....	10
7.	Vista en un lecho de río, material de flujos piroclásticos .....	11
8.	Corte de un suelo de origen volcánico, del grupo taxonómico inceptisol	11
9.	Delimitación de unidades hidrográficas .....	15
10.	Unidades hidrográficas delimitadas para el estudio. ....	16
11.	Laguna de oxidación y su estado .....	26
12.	Descarga de agua residual al río La Zopilota .....	26
13.	Calidad de agua proveniente de la laguna de oxidación y el río La Zopilota.....	27
14.	Segunda fuente de descarga de agua residual al río La Zopilota .....	28
15.	Depósito municipal de basura en Chichigalpa.....	30
16.	Gestión in situ de los desechos sólidos.....	30
17.	Depósitos de basura en la periferia de la ciudad de Chichigalpa. ....	31
18.	Tiraderos de basura en cuece, en la ciudad de Chichigalpa. ....	31
19.	Clasificación de las curvas hipsométricas .....	39
20.	Curva hipsométrica de la unidad hidrográfica río Sucio .....	40
21.	Frecuencia de altitudes de la cuenca .....	41
22.	Perfil litológico sitio ISA .....	48
23.	Distribución espacial de las estaciones en la cuenca.....	61

24.	Polígonos de Thiessen aplicados en la unidad hidrográfica .....	62
25.	Precipitación media de la cuenca .....	64
26.	Precipitación media ponderada por estación en la cuenca .....	64
27.	Comportamiento de la temperatura en la zona de la cuenca .....	66
28.	Polígonos de Thiessen para diferentes estaciones.....	66
29.	Temperatura media ponderada de la cuenca .....	67
30.	Red de drenaje de la cuenca .....	69
31.	Diagrama del balance hídrico .....	75
32.	Perfil geológico de la cuenca .....	78
33.	Niveles estáticos en la cuenca .....	83
34.	Piezometría mediante uso de Surfer 9.....	84
35.	Piezometría mediante el uso de ArcGis 10.3.....	84
36.	Vista en 3D los niveles piezométricos en la cuenca .....	85
37.	Distribución de valores de transmisividad en la cuenca.....	89
38.	Comportamiento de la infiltración, sitio Cosmapa .....	93
39.	Comportamiento de la infiltración, sitio Sirama .....	93
40.	Comportamiento de la infiltración, sitio Posoltega .....	94
41.	Comportamiento de la infiltración, sitio San José .....	94
42.	Comportamiento de la infiltración, sitio Apastepe .....	95
43.	Resultados del balance hídrico de suelo.....	99
44.	Valores de campo de la calidad de agua para T, OD y pH .....	102
45.	Valores de la calidad de agua para la CE y TDS .....	103
46.	Valores de conductividad eléctrica (CE) .....	114
47.	Análisis de temperatura .....	115
48.	Análisis de oxígeno disuelto.....	116
49.	Disponibilidad de agua superficial unidad hidrográfica río Sucio .....	144
50.	Disponibilidad de agua subterránea.....	145
51.	Disponibilidad de agua de la unidad hidrográfica río Sucio.....	146
52.	Proyección de la demanda de agua potable al 2026 .....	148

53.	Proyección agrícola al 2026 .....	150
54.	Proyección de la demanda del sector pecuario al 2026 .....	152
55.	Proyección de demanda industrial al 2026.....	153
56.	Esquema de clasificación de variables.....	176
57.	Influencia y dependencia entre variables .....	178
58.	Ejes de incertidumbres.....	180
59.	Análisis de causas de problemas .....	189
60.	Árbol de efectos del problema.....	190
61.	Árbol de problemas .....	191
62.	Árbol de objetivos a partir del análisis de problemas .....	192

## TABLAS

I.	Municipios en la unidad hidrográfica río Sucio.....	13
II.	Unidades hidrológicas en el nivel 9, según la codificación Fafstetter ..	17
III.	Población 2016 de la unidad hidrográfica río Sucio .....	18
IV.	Porcentaje de pobreza en la unidad hidrográfica río Sucio.....	19
V.	Economía urbana en la cuenca .....	21
VI.	Mini acueductos identificados en la unidad hidrográfica río Sucio.....	22
VII.	Características principales de los sistemas de abastecimiento de agua.....	24
VIII.	Déficit de servicios higiénicos en la unidad hidrográfica río Sucio .....	28
IX.	Déficit de servicio de recolección de basura en la cuenca, 2005.....	29
X.	Morfología de la unidad hidrográfica río Sucio.....	34
XI.	Índice de Gravelius para determinar la forma de la cuenca .....	35
XII.	Clasificación de pendientes, según sistema de Sheng .....	38
XIII.	Variables calculadas para la construcción de la curva hipsométrica ...	40
XIV.	Clasificación de corrientes en la cuenca.....	43
XV.	Clasificación de la densidad de drenaje.....	43
XVI.	Formación geológica del área de estudio .....	47
XVII.	Tipo de suelo en la unidad hidrográfica río Sucio .....	49
XVIII.	Clases de uso potencial de la tierra unidad hidrográfica río Sucio.....	51
XIX.	Uso de la tierra en la unidad hidrográfica río Sucio .....	54
XX.	Confrontación de uso de la tierra en la cuenca.....	55
XXI.	Cobertura forestal de la unidad hidrográfica río Sucio, 2015 .....	57
XXII.	Cobertura forestal en la cuenca, 2006 .....	58
XXIII.	Estaciones meteorológicas de referencia para la cuenca.....	60
XXIV.	Estimación de números de estaciones recomendadas.....	60

XXV.	Precipitación media mensual por estaciones con influencia en la cuenca.....	63
XXVI.	Precipitación media ponderada de la cuenca.....	63
XXVII.	Registro de temperaturas de estaciones en la cuenca.....	65
XXVIII.	Comportamiento de la temperatura 1966-2015.....	67
XXIX.	Cálculo de la evapotranspiración .....	68
XXX.	Aforos en ríos principales de la cuenca en 2013.....	71
XXXI.	Aforo de ríos principales de la cuenca 2016 - 2017 .....	72
XXXII.	Balance hídrico de la unidad hidrográfica río Sucio .....	74
XXXIII.	Efectividad de la aplicación del balance hídrico .....	75
XXXIV.	Monitoreo de pozos en la cuenca .....	79
XXXV.	Monitoreo de NEA de sitios en época lluviosa y seca .....	82
XXXVI.	Variables hidráulicas .....	86
XXXVII.	Pruebas de bombeo desarrolladas entre 2016 y 2017.....	90
XXXVIII.	Pruebas de infiltración desarrolladas .....	92
XXXIX.	Propiedades del suelo.....	97
XL.	Balance hídrico de suelo de la cuenca.....	98
XLI.	Estimación del escurrimiento subterráneo .....	100
XLII.	Parámetros de calidad medidos en campo .....	101
XLIII.	Análisis fisicoquímicos de fuentes superficiales.....	105
XLIV.	Valores guías de parámetros de calidad de agua .....	107
XLV.	Parámetros microbiológicos en agua superficial .....	109
XLVI.	Valores guías de parámetros microbiológicos.....	110
XLVII.	Parámetros de pesticidas.....	111
XLVIII.	Parámetros de calidad medidos en campo .....	112
XLIX.	Calidad de agua de pozos monitoreados .....	117
L.	Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua subterránea .....	119
LI.	Parámetros microbiológicos .....	126
LII.	Evaluación de pesticidas en agua subterránea en la cuenca.....	128

LIII.	Parámetros de pesticidas en pozos, sitios de 1-5.....	129
LIV.	Parámetros de pesticidas en pozos, sitios 6-17.....	130
LV.	Demanda estimada en agua potable .....	132
LVI.	Demanda de agua superficial para riego agrícola.....	134
LVII.	Demanda de agua subterránea para riego agrícola.....	135
LVIII.	Demanda de agua del sector pecuario .....	138
LIX.	Demanda de agua industrial .....	139
LX.	Demanda total de agua en la unidad hidrográfica río Sucio .....	140
LXI.	Estimación de flujo de retorno en la cuenca .....	142
LXII.	Disponibilidad de agua en la unidad hidrográfica río Sucio .....	143
LXIII.	Demanda de agua potable proyectada al 2026 .....	147
LXIV.	Demanda agrícola proyectada al 2026 .....	149
LXV.	Demanda de agua para el sector pecuario proyectada al 2026.....	151
LXVI.	Disponibilidad de agua a una proyección de 10 años.....	154
LXVII.	Impacto de la gestión actual sobre los recursos hídricos.....	169
LXVIII.	Análisis FODA de la unidad hidrográfica río Sucio .....	173
LXIX.	Variables para el análisis estructural del sistema .....	174
LXX.	Marco lógico del plan .....	193
LXXI.	Plan de acción estratégica.....	196

## RESUMEN

El agua es un recurso finito y considerado como un bien público de acceso libre, necesario para abastecer las necesidades básicas de la población. Hasta hace poco tiempo se ha tomado conciencia de su escasez y grado de vulnerabilidad. Una alternativa para superar la problemática del agua en las cuencas hidrográficas ha sido la implementación de planes de manejo de los recursos hídricos, no obstante, el avance ha sido lento. En Nicaragua, son limitadas las iniciativas desarrolladas en la planificación de los recursos hídricos, en parte por limitaciones de información y monitoreo hídrico y por otra, falta de recursos financieros. A lo anterior se propone para la cuenca de estudio, un plan para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos.

Dentro de los objetivos del presente estudio están: evaluar la disponibilidad en cantidad y calidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica, determinación de la demanda hídrica actual en función de los diferentes usos en la cuenca, evaluar el impacto de la gestión actual de los recursos hídricos, desarrollar un análisis prospectivo de la cuenca con base a la identificación de variables claves y análisis de escenarios.

La metodología aplicada partió de la elaboración de la caracterización y diagnóstico de la unidad hidrográfica río Sucio, con base a recopilación de información disponible en la cuenca e investigación de campo. Analizada y procesada la información de la situación actual de la cuenca, se propuso un plan para la sostenibilidad de los recursos hídricos, mismos que ostentan líneas de acción encaminadas a fortalecer capacidades locales para la gestión, organización y planificación.



Con base a los resultados de la caracterización, se obtuvo que la oferta hídrica de la cuenca fue de 165.30 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y de 130.98 Mm<sup>3</sup> en agua subterránea, la demanda se estimó en 153.50 Mm<sup>3</sup> anuales. Por otro lado, se estimó un flujo de retorno de 21.71 Mm<sup>3</sup> anuales y descarga de agua subterránea a otras cuencas de 19.08 Mm<sup>3</sup> anuales, considerando estas variables, se determinó que la disponibilidad hídrica de la cuenca es de 151.40 Mm<sup>3</sup> anuales; sin embargo, se considera que la disponibilidad, no es constante durante un año hidrológico, la cual se ve afectada en la época de estiaje con déficit de 4.74 a 9.61 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y 8 a 9 Mm<sup>3</sup> en agua subterráneas. La demanda hídrica actual también fue proyectada a 10 años, esta incrementó a 191.48 Mm<sup>3</sup> anuales, volumen que podría ser no atendido al considerar que esta demanda se da mayormente en los meses de ausencia de lluvias.

En cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos en calidad, se identifica una alta afectación por contaminación bacteriológica y sustancias químicas en algunos sitios, con valores fuera de los límites establecidos, según las normas: OMS, CAPRE y NTON 05-007-98.

A partir del análisis del impacto sobre los recursos hídricos de la cuenca, se identificó que los mismos presentan una alta degradación y amenaza y que de seguir deteriorándose, para el 2026 la disponibilidad de agua no será suficiente para atender la demanda.

En el análisis prospectivo de los recursos hídricos desarrollado, se concluyó que las variables determinantes están relacionadas a la gestión de usuarios de los recursos hídricos, cobertura de agua potable y saneamiento, y las variables clave resultó la atención a problemas relacionados con: el conflicto de uso de

suelo, deforestación, sobre explotación y cambio climático. En el análisis de escenario, las tendencias apuntan al incremento y agudización de los problemas actuales, y en la medida que estos sean convertidos a escenarios alcanzables y optimistas, se lograría un equilibrio, mayor desarrollo y reducción significativa de la pobreza extrema. Se considera que las líneas de acción que se propusieron en el presente plan son aplicables y sostenibles en la medida que haya una cohesión o esfuerzo conjunto de todos los actores de la cuenca, para ello, el Estado debe jugar un papel propulsor de las acciones.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar que Nicaragua es un país con abundantes recursos hídricos, estos no se encuentran distribuidos equitativamente, hay déficit en unas regiones (provocando sequías) y abundancia en otras (generando inundaciones). Cabe señalar que la contaminación de los recursos superficiales y subterráneos y la explotación no equilibrada de los mismos, han generado gran impacto en la disponibilidad, hasta el punto de considerar a Nicaragua como un país de escasez económica del agua. (International Water Management Institute, 2007).

La problemática principal de la cuenca, con base al presente estudio, es la degradación acelerada de los recursos hidrológicos, trayendo consigo más pobreza, afectando esto principalmente a familias en desventaja, con problemas de seguridad alimentaria y pobreza extrema (30.90 % de pobreza extrema en la cuenca), todo esto como resultado de una débil gestión y planificación de los recursos hídricos. Actualmente personas desfavorecidas, como las que habitan en las comunidades rurales, ostentan déficit de hasta 62 % de abastecimiento de agua potable; así mismo, hogares que por su cuenta buscan el acceso al agua en la comunidad, algunas fuentes de abastecimiento encontradas, están contaminadas con coliformes fecales, poniendo en riesgo la salud de las personas.

En la cuenca, fuentes de agua están siendo sobre explotadas por grandes usuarios agrícola, el recursos no es distribuido equitativamente; más del 80 % de las extracciones lo hacen 3 o 4 empresas. El problema aún más se agrava, al identificar que los recursos hídricos, están siendo contaminados por procesos industriales y descargas de aguas residuales provenientes del casco urbano.

Otros factores como: el crecimiento acelerado de la población que demandan cada vez más agua, el crecimiento extensivo de la agricultura con alta dependencia de riego, están ejerciendo presión sobre los recursos hídricos, de tal manera que a un mediano plazo la oferta hídrica no será capaz de abastecer la demanda de los diferentes usos.

En un amenazante efecto del cambio climático y variabilidad climática, asociados a fenómenos naturales y actividades antropogénicas, atentan con una reducción en la disponibilidad y calidad de agua que al no actual de inmediato, los conflictos por el uso del agua agravarían.

Habiendo propuesto, la problemática anterior, se plantean las siguientes interrogantes:

¿La débil gestión de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica del río Sucio, ha sido la causa de la problemática actual y el surgimiento de los conflictos por el uso del agua?

¿Es necesario el ordenamiento y la planificación de los recursos hídricos de la cuenca para mejorar la situación actual?, ¿contribuirá en gran manera a mejorar los índices de desarrollo humano?

### **Hipótesis**

Por la naturaleza del presente trabajo, no se planteó hipótesis.

## JUSTIFICACIÓN

Dentro de los componentes de la gestión integrada de recursos hídricos están: la política, el gerenciamiento, marco normativo y la planificación hídrica. (Schreider, 2003). En el presente trabajo se abordó principalmente la planificación hídrica, con un enfoque de sostenibilidad, creando un camino hacia una gestión eficiente de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio.

El deterioro de los recursos hídricos en la mayoría de las cuencas del país, ha puesto en riesgo la sostenibilidad de los mismos y la sustentabilidad de las comunidades, como resultado de la ausencia de planes de gestión hídrica; debido a lo anterior, se considera que es una buena oportunidad para proponer estrategias para el desarrollo de la cuenca, considerando las directrices del estado, la política y marco normativo actual, partiendo de un análisis integrado de la problemática a atender.

El presente trabajo permitió medir el impacto de la gestión hídrica actual, con ello, se desarrolló un análisis prospectivo y construcción de escenarios para mostrar la situación que se obtendría, si no se hace nada, o los cambios que se obtendría al actuar desde ya; de esta forma se definió, priorizó y propuso estrategias de gran interés para la gestión local de la cuenca.

Las estrategias se encaminarán en función de la gestión de la oferta hídrica, gestión de la calidad, gobernanza del agua, oportunidades tecnológicas, organización, entre otras, con el fin de lograr que las comunidades en el futuro tengan acceso al agua potable, disponibilidad para riego, reducción del índice de enfermedades, más organización comunitaria, más capacidad de gestión en la cuenca.

Las estrategias establecidas, fortalecerán al nuevo marco jurídico de los recursos hídricos del país, como es la Ley N° 620 “Ley General de Aguas Nacionales”, aprobada en 2007, coadyuvando a la Autoridad Nacional del Agua; órgano de aplicación, con las funciones de administración, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos del país.

Es necesario destacar que las estrategias propuestas, se elaboraron acorde a los hallazgos encontrados en la fase diagnóstica, a los escenarios modelados y a la capacidad de los actores de la cuenca; constituyendo con ello, la base en la formulación y operación de los proyectos, ya sean rurales o urbanos y que estén relacionados con la gestión de los recursos hídricos.

## **OBJETIVOS**

### **General:**

Establecer un plan para la sostenibilidad de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica del río Sucio, cuenca 64, Nicaragua.

### **Específicos:**

#### **Fase diagnóstica**

1. Desarrollar la caracterización de los sistemas hidrológicos en la unidad hidrográfica río Sucio.
2. Evaluar la disponibilidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio, haciendo hincapié en la calidad de agua para fines potable.
3. Determinar la demanda de recursos hídricos en función de los diferentes usos en la unidad hidrográfica río Sucio.
4. Evaluar el impacto de la gestión actual sobre los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio.



## **Fase de diseño del plan**

5. Desarrollar análisis prospectivo de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica del río Sucio, con base a indicadores identificados en la fase diagnóstica.
6. Construir escenarios de la situación actual de los recursos hídricos para orientar el diseño de la planificación sostenible en la unidad hidrográfica río Sucio.
7. Proponer líneas estrategias para la planificación sostenibles de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio.

## ANTECEDENTES

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos hidráulico (ERIS) ha sido formadora de recursos humanos en la región, como primer paso se consultó en la base de datos de tesis de la biblioteca de la ERIS, en búsqueda de trabajos similares realizados para Nicaragua; con el objeto de no duplicar esfuerzo. En dicha base de datos se encontró el trabajo: “Propuesta de Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Nicaragua”, desarrollado por el exalumno Eduardo Francisco Pérez Manzanares, en 2010. El estudio fue a nivel nacional y en ello, se propuso líneas estrategias a partir de hallazgos del diagnóstico realizado.

A nivel local o circundante a la unidad hidrográfica río Sucio, se buscó y consultó trabajos y/o estudios relacionados a la gestión y planificación hídrica. Dentro de la información encontrada, resaltan algunos estudios hídricos importantes y desarrollo de algunos programas de gobierno con insumos relevantes para la presente investigación.

De manera regional, en 1998 las instituciones: Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR) y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), elaboraron estudio hidrológico e hidrogeológico para la región del pacífico de Nicaragua, zona en donde se encuentra la unidad hidrográfica río Sucio. Este estudio fue desarrollado con el propósito de conocer el estado actual y la disponibilidad de los recursos, con la finalidad de aprovecharlos y promover el desarrollo de la agricultura bajo riego.

Otra información relevante fue la del estudio hidrológico e hidrogeológico realizado en la cuenca 64, desarrollado por la empresa Quenca Consulting Group, S.A, en 2013.

También se destaca memoria de la implementación de proyectos tales como: “Estrategia de adaptación al cambio climático de la gestión los sistemas hídricos y la agricultura en la Cuenca 64 (Entre el Volcán Cosigüina y río Tamarindo) desarrollado por el gobierno de Nicaragua, a través del MARENA, en 2008. Otro proyecto desarrollado fue el “Programa manejo sostenible de los recursos hídricos y suelos en zonas priorizadas de la cuenca 64, en los departamentos de León y Chinandega, en 2011. Cabe señalar que estos programas fueron regionales y abarcan muy poco la unidad hidrográfica río Sucio.

A pesar de estas iniciativas que se han desarrollado en la unidad hidrográfica río Sucio, la gestión de los recursos hídricos sigue siendo débil.

## INTRODUCCIÓN

Como parte de los requisitos de graduación para optar al título de maestro en Ciencias en Recursos Hidráulicos, se desarrolló el presente estudio especial, en un tema relacionado al perfil de la maestría “opción integrada de los recursos hídricos”; dicho tema viene siendo muy relevante para Nicaragua, en vista que se cuenta con un nuevo marco jurídico en materia hídrica, el que se necesita fortalecer y hacer efectivo en cada cuenca o subcuenca del país.

En Nicaragua, son pocas las iniciativas desarrolladas en la planificación de los recursos hídricos, en parte, por la escasa información y sistemas de monitoreo hidrológico en las cuencas hidrográficas, y por otra, los pocos recursos económicos que se destinan a este sector.

Un factor importante, es el poco valor económico que se le da al agua, aún cuando este recurso, es la materia prima más importante en los sistemas de riego, en la industria, entre otros, el cual trae como consecuencia, el derroche, sobre explotación y contaminación de los recursos hídricos.

La zona seleccionada para el presente trabajo, como es la unidad hidrográfica río Sucio, forma parte de la cuenca No. 64, donde se cuenta con el acuífero de occidente, considerado el más importante del país, por el potencial que presenta para el abastecimiento de riego en la agricultura, para el uso industrial y el consumo humano (MARENA 2010).

En esta cuenca se encuentran once (11) subcuencas, entre ellas la unidad hidrográfica del río Sucio. Dicho territorio, actualmente es objeto de gran presión

sobre los recursos hídricos, como resultado de una débil gestión y planificación de los mismos.

El propósito principal de este estudio, es proponer un plan para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio, en función de los hallazgos encontrados en el proceso de investigación, con esto, se obtuvo un diagnóstico de la problemática principal de los recursos hídricos de la zona, proponiendo así estrategias coherentes y factibles.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, el ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. El vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolarse profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa. (Chow, V. 1994).

Para Villón (2002), el ciclo hidrológico es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, entre otras).

## **1.2. Hidrología**

La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación, y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación en el medio ambiente, incluyendo los seres vivos (Villón, 2002).

### **1.3. Cuencas hidrográficas**

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Esta definición se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas, existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable. (Aparicio, 1992).

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras, el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca, que puede ser en otra corriente o en el mar.

### **1.4. Gestión integrada de recursos hídricos**

La GIRH es un concepto empírico que nace de la propia experiencia de campo de los profesionales. Aunque muchos de los elementos del concepto han estado presentes durante décadas, de hecho desde la primera conferencia global en Mar del Plata en 1977; sin embargo, fue hasta después de la Agenda 21 y de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río, cuando el concepto de GIRH fue objeto de profundos debates que incluían sus implicaciones en la práctica. La definición que da la Asociación Mundial para el Agua (GWP) de la GIRH es hoy la más aceptada: “La GIRH es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el

bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.”

A nivel de cuencas hidrográficas o lacustres y de acuíferos, GIRH puede definirse como un proceso que permite la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos asociados dentro de los límites de una cuenca para optimizar y compartir equitativamente el resultante bienestar socio-económico sin comprometer la salud de ecosistemas vitales a largo plazo (PNUMA-DHI, 2009).

### **1.5. Agua y desarrollo sostenible**

El agua está en el centro del desarrollo sostenible y resulta fundamental para el desarrollo socio-económico, ecosistemas saludables y la supervivencia humana. El agua resulta vital a la hora de reducir la carga mundial de enfermedades y para mejorar la salud, el bienestar y la productividad de las poblaciones, así como para la producción y la preservación de una serie de beneficios y servicios de los que gozan las personas. El agua también está en el corazón de la adaptación al cambio climático, sirviendo de vínculo crucial entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente.

El agua es un recurso limitado e insustituible que es clave para el bienestar humano y solo funciona como recurso renovable si está bien gestionado. Hoy en día, más de 1,700 millones de personas viven en cuencas fluviales, en las que su uso supera la recarga natural, tendencia que indica que dos tercios de la población mundial podrían vivir en países con escasez de agua para 2025. El agua puede suponer un serio desafío para el desarrollo sostenible, pero, gestionado de manera eficiente y equitativa, el agua puede jugar un papel facilitador clave en el fortalecimiento de la resiliencia de los sistemas sociales,



económicos y ambientales a la luz de unos cambios rápidos e imprevisibles. (ONU, 2014).

La agricultura es, con diferencia, el mayor consumidor de agua a nivel mundial, representando el 70 % de las extracciones de agua en todo el mundo, aunque esta cifra varía considerablemente entre países. La agricultura de secano es el sistema de producción agrícola predominante en todo el mundo y su productividad actual es, en promedio, un poco más de la mitad del potencial a obtener sobre una gestión agrícola óptima. Para 2050, la agricultura tendrá que producir un 60 % más de alimentos a nivel mundial y un 100 % más en los países en vías de desarrollo.

La industria y la energía juntas, representan el 20 % de la demanda de agua. Los países más desarrollados tienen una proporción mayor de extracciones de agua dulce para la industria que los países menos desarrollados, donde predomina la agricultura. El equilibrio entre los requisitos de sostenibilidad frente a la visión convencional de la producción industrial en masa, crea una serie de interrogantes para la industria. A gran escala, la globalización y la forma de extender los beneficios de la industrialización a todo el mundo equitativamente y sin impactos insostenibles sobre el agua y otros recursos naturales, es la cuestión clave.

El sector doméstico representa el 10 % del uso total de agua. Y, en todo el mundo, se estima que 748 millones de personas siguen sin tener acceso a una fuente mejorada de agua y que 2,500 millones siguen sin acceso a unos servicios de saneamiento mejorados. (ONU-DAES, 2014). Más de la mitad de la población ya vive en áreas urbanas y, para 2050, se espera que más de dos tercios de una población mundial de 9,000 millones viva en ciudades. Por otra parte, la mayor parte de este crecimiento ocurrirá en los países en vías de desarrollo, que tienen

una capacidad limitada para hacer frente a estos rápidos cambios. El crecimiento también dará lugar a un aumento del número de personas que viven en barrios marginales y que suelen sufrir unas condiciones de vida muy pobres, sin acceso o con un acceso inadecuado a agua y saneamiento. Por lo tanto, el desarrollo de los recursos hídricos para el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, está estrechamente vinculado con el desarrollo sostenible de las ciudades.

Los ecosistemas, quizás el reto más importante para el desarrollo sostenible que ha surgido en las últimas décadas, es el alcance de la crisis ecológica global que se está convirtiendo en una barrera para el desarrollo humano. Desde el punto de vista ecológico, los esfuerzos para un desarrollo sostenible no han tenido éxito. La degradación del medio ambiente mundial ha alcanzado un nivel crítico con los principales ecosistemas, acercándose a límites que podrían desencadenar un colapso masivo. La creciente comprensión de los límites planetarios globales, que deben ser respetados para proteger los sistemas de soporte de la vida de la tierra, tiene que ser la base del futuro marco de desarrollo sostenible.

## **1.6. Gestión de la demanda de agua**

La gestión de la demanda refleja un cambio mayor en cómo abordar la gestión de los recursos hídricos desde el desarrollo tradicional de la oferta (construcción de la infraestructura física para aumentar la captación de agua para el uso directo) hasta una mayor eficiencia en el uso, conservación, reciclaje y reutilización del agua.

La gestión de la demanda examina los cambios en la demanda y la forma en como la gente utiliza el agua para así lograr un uso más eficiente y rentable

del agua. Esto puede ayudar a reducir el desperdicio en el uso del recurso. La gestión de la demanda puede algunas veces obviar la necesidad de inversiones físicas o de infraestructura, dando un aumento real de la eficiencia para la sociedad. La gestión de la demanda funciona mejor en un marco de la GIRH, que tiene un enfoque transectorial y vincula correctamente los instrumentos de las políticas y los impactos.

La gestión de la demanda se aplica a nivel de cuenca, a nivel de grandes usuarios de agua (los servicios públicos y la industria), a nivel de usuarios agrícolas, a uso doméstico y a uso de las comunidades. Mientras se puedan usar técnicas diferentes en cada nivel, el método de abordarlos es similar. La gestión de la demanda pretende cambiar la práctica y la conducta humana y, por lo tanto, está estrechamente vinculada con los instrumentos de cambio social, los instrumentos regulatorios y económicos, el conocimiento y la comunicación. (GWP, 2013).

### **1.7. Gobernanza del agua**

La gobernanza del agua resulta esencial para equilibrar los recursos disponibles con las demandas de un gran número de usuarios del agua, a menudo en conflicto, y para garantizar que los ecosistemas sigan manteniendo la base de los recursos (Naciones Unidas, 2015). La gobernanza o gobernabilidad del agua se ha definido como: "el conjunto de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que existen para desarrollar y gestionar los recursos hídricos y la prestación de los servicios del agua en los distintos niveles de la sociedad" (Rogers y Hall, 2003). Los mecanismos de participación y rendición de cuentas ayudan a abordar las disparidades en la prestación de servicios y apoyan a los políticos a la hora de centrarse en las desigualdades y sus causas más profundas (Naciones Unidas, 2015).

## **2. METODOLOGÍA**

En el presente trabajo se desarrollaron las estepas siguientes: recopilación de datos, fase de campo, análisis de la información y elaboración del documento final.

### **2.1. Recopilación de datos**

Esta etapa consistió en la recopilación de información relacionada a los recursos hídricos que se encontraba dispersa en instituciones del Estado, municipalidades, universidades y empresas que han generado o manejado información relacionada a los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio. Dicha información fue insumo importante para el desarrollo del diagnóstico de la situación actual del área de estudio.

Dentro de las entidades visitadas están:

- Autoridad Nacional del Agua (ANA): se obtuvo información sobre concesiones, estudios de disponibilidad en cantidad y calidad de recursos hídricos e información relacionada que se encuentre en el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SiAgua).
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER): se obtuvo base de datos de sistemas de información geográfica, datos meteorológicos y estudios hídricos e información de acuíferos.
- Ministerio de Agricultura (MAG): información sobre tipo de suelo, usos de la tierra, capacidad de usos y confrontación de uso de la tierra.

- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA): programas y proyectos implementados en el área de estudio relacionados a los recursos hídricos.
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL): monitoreo de calidad y cantidad de agua potable, producción nacional y local de agua potable.
- Instituto Nicaragüense de Información y Desarrollo (INIDE): Información demográfica del departamento de Chinandega.
- Alcaldías de Chinandega, Chichigalpa, Corinto y Posoltega: Información relacionada a los Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS).
- Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), IGN-CIGEO: Estudios de investigación desarrollados en la cuenca 64 (Entre V. Cosigüina y Río Tamarindo).
- Ingenio San Antonio: Monitoreo de pozos, datos de caudales superficiales, calidad de agua y estudios.

## **2.2. Fase de campo**

La fase de campo inició con un reconocimiento en el área de la cuenca (Figura 1 y 2) en la cual se aprovechó para identificar problemática *in situ* relacionada a: prácticas inadecuadas de manejo de los recursos hídricos, observación ocular de ríos, entre otras., esta actividad se desarrolló con el acompañamiento de funcionarios de la alcaldía municipal de Chichigalpa, principal municipio en la unidad hidrográfica río Sucio.

Figura 1. **Vista de la zona de recarga de la cuenca**



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 2. **Vista de la zona de descarga de la cuenca**



Fuente: elaboración propia, 2017.

**Figura 3. Sitio 1. Descarga de agua residual proveniente de la ciudad de Chichigalpa**



Fuente: elaboración propia, 2017.

**Figura 4. Sitio 2. Descarga de agua residual proveniente de la ciudad de Chichigalpa**



Fuente: elaboración propia, 2017.

**Figura 5. Vertedero a cielo abierto en el municipio de Chichigalpa**



Fuente: elaboración propia, 2017.

**Figura 6. Ríos en estación seca son utilizados como vía de acceso**



Fuente: elaboración propia, 2017.

- Se realizó visita de reconocimiento geológico, tipos de suelo, cobertura de suelo. Esta actividad fue desarrollada con el apoyo de un especialista (Figura 7 y 8).

**Figura 7. Vista en un lecho de río material de flujos piroclásticos**



Fuente: elaboración propia, 2017.

**Figura 8. Corte de un suelo de origen volcánico, del grupo taxonómico inceptisol**



Fuente: elaboración propia, 2017.

- Se desarrolló un sondeo de caudales mediante aforos puntuales en sitios importantes de la red hidrográfica de la subcuenca. Esta información es complementada con la información de monitoreo de caudales que la Autoridad Nacional del Agua ha desarrollado y datos que posee el Ingenio San Antonio.
- Se desarrollaron pruebas de infiltración para determinar la capacidad de recarga, siguiendo criterios como: tipo de suelo, pendiente, parte alta y baja de la cuenca, vegetación, áreas intervenidas, áreas no intervenidas.
- Se realizó inventario de pozos en lugares con ausencia de registros, información que fue complementada con base de datos sobre inventarios que manejan entidades como: ENACAL, ANA, FISE y el Ingenio San Antonio.



- Se tomaron muestras de calidad de agua de fuentes superficiales y subterráneas, sitios distribuidos aleatoriamente. Los análisis fueron complementados con información disponibles en: ENACAL, ANA, FISE e Ingenio San Antonio.

### **2.3. Análisis de la información**

La información recopilada fue agrupada y analizada según el eje temático. Con la información obtenida en la etapa de investigación, se elaboró la caracterización de la subcuenca en donde se identificaron los principales problemas de los recursos hídricos, así como aspectos relevantes para el planteamiento de líneas estrategias para el manejo sostenible de la unidad hidrográfica río Sucio.

Para la determinación de la oferta de los recursos hídricos de la cuenca, se utilizaron algunas herramientas de análisis hidrológicas tales como: balance hídrico superficial y balance hídrico de suelo (BHS).

Para el análisis prospectivo de la gestión hídrica de la cuenca, se utilizaron herramientas de planificación tales como: análisis FODA, MICMAC (Matriz de impactos cruzados), árbol de problema y marco lógico. Con lo anterior, se permitió obtener las variables más importantes en la definición de las líneas estratégicas en la propuesta del plan sostenible de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SUCIO

#### 3.1. Descripción general de la cuenca

##### 3.1.1. Localización y división político-administrativa

La unidad hidrográfica del río Sucio se localiza entre las coordenadas geográficas 12°41'48 Latitud Norte 86°58'48 Longitud Oeste a una elevación de 1,210 msnm y 12°28'12 Latitud Norte 87°08'46 Longitud Oeste a una elevación de 7 msnm. Administrativamente se ubica en la zona del pacífico de la República de Nicaragua, en el departamento de Chinandega. Hidrográficamente pertenece a la cuenca 64 conocida con el nombre "Entre Volcán Cosigüina y río Tamarindo". (Anexo 1). La cuenca se compone de cuatro municipios, los cuales son: Chinandega, Chichigalpa, Posoltega y Corinto. Todos estos municipios pertenecen al departamento de Chinandega. (Tabla I).

Tabla I. **Municipios en la unidad hidrográfica río Sucio**

No	Municipio	Área (ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Chinandega	2,256.52	22.57	10.04
2	Chichigalpa	16,089.54	160.90	71.56
3	Posoltega	3,347.18	33.47	14.89
4	Corinto	792.24	7.92	3.52
<b>Total</b>		22,485.49	224.85	100.00

Fuente: elaboración propia, con base al mapa división política de Chinandega, INETER 2001.

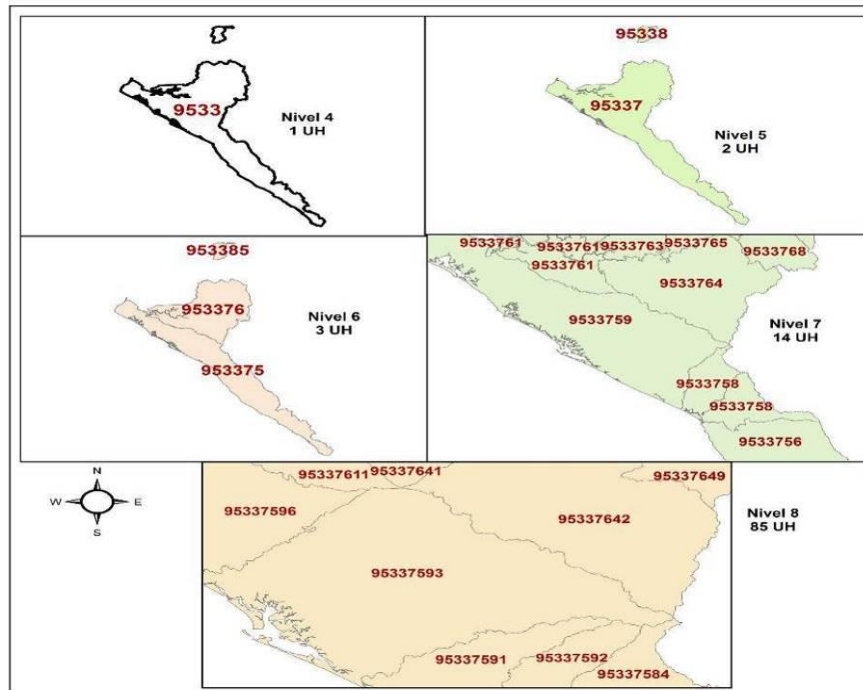
El municipio de Chichigalpa es el que ocupa mayor territorio en la unidad hidrográfica río Sucio, con un 71.56 %; seguido de Posoltega, con 14.89 %; Corinto es el que ocupa la menor área, con 3.52 %.

### **3.1.2. Delimitación**

El área delimitada para el presente estudio corresponde a la unidad hidrográfica río Sucio. Para la delimitación del área se utilizó la metodología de Otto Pfafstetter, propuesta en 1989 y difundida a partir de 1997 por Kristine Verdin a través del servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en el Programa Nacional del Medio ambiente de las Naciones Unidas.

El gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN) con el apoyo de la Cooperación Alemana mediante el programa PROATAS/GIZ, asignó, en el marco del proyecto de delimitación de unidades hidrográficas bajo la metodología de Pfafstetter, al Instituto Nicaragüense de Estudio Territoriales (INETER), a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con el apoyo de la Universidad Nacional de Ingeniería, elaborar mapa nacional sobre delimitación y codificación de unidades hidrográficas a escala 1: 50,000 hasta el nivel 6; sin embargo, en el álbum de mapa de cuencas hidrográficas de Nicaragua, bajo la metodología de Pfafstetter, elaborado por las entidades asignadas (INETER, ANA, UNI), para la cuenca hidrográfica del Pacífico, se delimitó hasta nivel 7 y 8. (Figura 9).

Figura 9. Delimitación de unidades hidrográficas



Fuente: edición propia, con base al mapa de cuencas hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología de Pafstetter, 2014.

El propósito de la aplicación de esta metodología es para estandarizar internacionalmente la delimitación y codificación de unidades hidrográficas y en particular, establecer bases para una gestión adecuada de los recursos naturales en el nivel local (UNI, 2014).

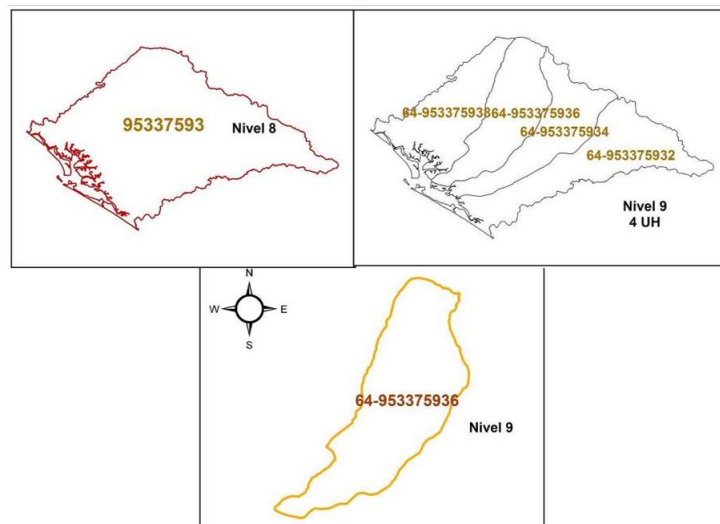
La metodología de delimitación y codificación consiste en definir unidades hidrográficas tipo cuenca e intercuenca, en la cual se le asigna un código único para cada unidad, las tipo cuencas, son numeradas con pares (2, 4, 6 y 8) siguiendo la secuencia de niveles, las tipo intercuenca, se numeran impares (1, 3, 5 y 7), el número 9 se reserva para una particularidad de codificación. Como en Nicaragua ya había una codificación de aplicación regional (PHCA, 1970), se

fusionan ambos códigos anteponiendo el número de código anterior más la codificación Pfafstetter. Si una unidad hidrográfica contiene una cuenca interna o endorreica, se asigna el código "0". Una isla se considera una intercuenca de acuerdo al nivel que se encuentran y tiene codificación única.

Con fecha 08 de agosto de 2014, el INETER, basado en las facultades conferidas en la Ley No. 331, autorizó publicación y libre circulación en el territorio nacional, el compendio de mapas de delimitación de unidades hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter.

Partiendo de la anterior, se aplicó la metodología para crear unidades hidrográficas más pequeñas para el presente estudio y para futuras investigaciones o gestión de las mismas. De esta manera, la delimitación del área de estudio quedó como se describe a continuación. (Figura 10).

Figura 10. **Unidades hidrográficas delimitadas para el estudio.**



Fuente: elaboración propia con base a datos de mapa de delimitación de unidades hidrográficas.

En la tabla II, se describe las unidades hidrográficas delimitadas en el nivel 9, reflejándose la extensión territorial y el porcentaje que representan en función del área total.

Tabla II. **Unidades hidrológicas en el nivel 9 según la codificación Fafstetter**

Nombre UH mayor	Códigos	Área km <sup>2</sup>	Área (%)
Estero El Realejo	64-953375938	242.76	24.17
Río Telica	64-953375932	320.62	31.92
Río Posoltega	64-953375934	216.27	21.53
Río Sucio	64-953375936	224.85	22.38
Total		1,004.50	100.00

Fuente: elaboración propia.

En esta delimitación, la unidad hidrográfica de mayor extensión es la de Telica, que representa un 31.92 % del área total de la unidad 64-95337593, que corresponde al nivel 8. La unidad objetivo de este presente trabajo, que es la unidad hidrográfica río Sucio, tiene una extensión de 224.85 Km<sup>2</sup> y representa el 22.38 %.

### **3.1.3. Características demográficas**

#### **3.1.3.1. Población**

La población de la unidad hidrográfica río Sucio está distribuida entre el municipio de Chichigalpa (principalmente), fracción de Chinandega y Posoltega; el municipio de Corinto, aunque forma parte de la cuenca, no tiene población dentro de ella.

El último censo desarrollado en Nicaragua a menor nivel de desagregación geográfica, fue el VIII Censo Nacional de población y IV de vivienda 2005 desarrollado por el Instituto Nicaragüense de Información y Desarrollo (INIDE). Posterior al censo de 2005, el INIDE cada año elabora un anuario estadístico en donde actualiza la población a nivel departamental y municipal, pero sin llevarlo al menor nivel de desagregación geográfica.

Para la determinación de la población en la cuenca se tomó en cuenta el censo nacional 2005 y la tasa de crecimiento ahí descrito, y así proyectar la fracción urbana y rural de Posoltega y Chinandega que pertenece a la cuenca; en cambio, para la población urbana y rural de Chichigalpa, se tomó como referencia el anuario estadístico publicado por el INIDE, en febrero de 2016. (Tabla III).

Tabla III. **Población 2016 de la unidad hidrográfica río Sucio**

No	Municipio	Población 2016		Total	Porcentaje (%)
		Urbana	Rural		
1	Chichigalpa	41,998	10,273	52,271	89.68
2	Chinandega	0.00	177.00	177.00	0.30
3	Posoltega	922	4,917	5,839	10.02
4	Corinto	0.00	0.00	0.00	0.00
Población Total		42,920	15,367	58,287	100.00
Porcentaje (%)		73.64	26.36	100.00	

Fuente: Censo Nacional (2005) y anuario estadístico 2016.

Para el 2016, se estimó una población de 58,287 habitantes para toda la cuenca, de los cuales el 89.68 % se encuentra distribuida en el municipio de

Chichigalpa. El 10.02 % de la población es de Posoltega y únicamente el 0.30 % pertenece al municipio de Chinandega. En cuanto a la distribución espacial de la población, el 73.64 % es urbana y 26.36 % es rural.

### 3.1.3.2. Pobreza

La referencia más a detalle que se tiene de la pobreza en la zona de la cuenca, es lo referido en el Censo 2005. En él se detalla la población no pobre, pobres no extremos y extremos por municipio y comunidad. (Tabla IV).

Tabla IV. **Porcentaje de pobreza en la unidad hidrográfica río Sucio**

Municipio	No pobres	Pobreza	
		Pobres no extremos	Pobres extremos
Chichigalpa	39.3	34.2	26.5
Posoltega	36.35	35.55	28.1
Chinandega	29.1	32.8	38.1
Promedio	34.92	34.18	30.9

Fuente: Censo nacional (2005)

La tabla IV indica que en la cuenca, hasta el 2005, había una pobreza promedio no extrema de 34.18 % y extrema de 30.90 %. Para datos más recientes, no se tuvo acceso a otro documento estadístico; en una encuesta realizada por el INIDE de 2009 a 2014 y mencionada por el Banco Mundial (2016), se refleja que ha habido una disminución de 13 % de la pobreza general y 6 % de la extrema pobreza.

Es necesario enmarcar que aunque ha habido una disminución significativa de la pobreza extrema, sigue siendo un factor importante en el desarrollo del territorio. En los recursos hídricos la pobreza puede ser una limitante para la



planificación y gestión, pues no se tendría los recursos económicos necesario para una autogestión. Por otro lado, las condiciones inadecuadas de infraestructura de agua y saneamiento que podría tener este grupo de población, podría afectar la salud de sus hogares.

### **3.1.3.3. Actividad económica**

La actividad económica principal de la unidad hidrográfica del río Sucio es la producción agrícola, según el mapa de uso de suelo (2015), este sector ocupa el 66.17 % (148.78 km<sup>2</sup>) de la cuenca, de este el cultivo de caña de azúcar representa el 58.90 % (87.63 km<sup>2</sup>), el 14.5 % lo representan los cultivos perennes y el 4.40 % los cultivos anuales, el 22.19 % se considera áreas de descanso o tacotales. El sector pecuario representa el 15 % (34.76 km<sup>2</sup>) del área de la cuenca.

A nivel rural se estima que hay aproximadamente 784 productores individuales y unos 66 productores organizados en algún gremio agropecuario. Unos 207 productores también hacen otra ocupación, entre ellos: 112 empleados, 40 jornaleros y unos cinco son patrones. (CENAGRO, 2013).

El banco central de Nicaragua en enero de 2017, publicó el informe: cartografía digital y censo de edificaciones en la cabecera municipal de Chichigalpa, presentando los siguientes datos por sector. (Tabla V).

Tabla V. **Economía urbana en la cuenca**

Sector	Establecimiento	Número	Sector	Establecimiento	Número
Educación	Librería	39	Talleres	Talleres de vehículos	42
Salud	Farmacia	72		Talleres de costura/sastrería	39
	Atención médica	37		Talleres de carpintería	17
	Laboratorios	10		Talleres de calzados	1
	Elaboración de Materiales médicos	1	Industrias	Panadería y tortillería	145
Inst. Financieras	Micro financieras y otros oferentes de créditos	5		Elaboración de confites, cajetas y dulces	8
	Banco e instituciones financieras	3		Elaboración de productos lácteos	1
	Otros servicios financieros	2		Elaboración de conservas	1
Turismo	Restaurantes y comiderías	150		Otra industria de manufactura	10
	Bares y ventas de refrescos	99		Juguetes y juegos	7
	Hoteles y hospedajes	5		Elaboración de joyas	5
	Museos y edificios históricos	1		Piezas de madera para construcción	5
Transporte	Gasolineras y venta de lubricantes	6		Productos metálicos estructurales	4
	Vinculado al transporte terrestre	5		Materiales de construcción	4
Otros servicios	Pulperías y abarrotes	702	Empleo	Cuenta propia	195
	Abarroterías en mercados y puestos móviles	214		Patrones	53
	Salones de belleza	48		Permanentes	44
	Ferreterías	26		Temporales	35
				No remunerados	15

Fuente: BCN, 2015.

Con el cuadro anterior, se tiene una idea la actividad económica de la parte urbana de la cuenca, representada por la ciudad de Chichigalpa casi en su totalidad. Al sector industria hay que agregar el establecimiento Industrial Licorera de Nicaragua, S.A, propiedad del ingenio San Antonio.

### 3.1.3.4. Abastecimiento de agua potable

El abastecimiento de agua potable en la cuenca es brindada principalmente por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL); los Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS); y la alcaldía municipal de Chchigalpa que cuenta con 5 pozos, según la base de datos de registros de concesiones de la Autoridad Nacional del Agua.

La cobertura de abastecimiento de agua potable a nivel urbano, según lo refleja ENACAL en su Plan Estratégico Institucional 2013-2017, es de 88 %. El Banco Central de Nicaragua, en el informe cartografía digital y censo de edificaciones (enero 2017), refleja una cobertura de 89.9 %, es decir, unas 8,409 vivienda de un total de 9,355 que hay aproximadamente.

Dentro de la unidad hidrográfica río Sucio, se identificaron 28 sistemas de agua potable para el abastecimiento público, de los cuales, 15 son administrados por los Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS), cuatro sistemas por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), cinco por la alcaldía municipal de Chichigalpa y cuatro sistemas son privados. (Tabla VI).

Tabla VI. **Mini acueductos identificados en la unidad hidrográfica río Sucio**

No	Sistema	Dueño	Coordenadas	
			Este	Norte
1	MABE	CAPS Comején	500816	1391521
2	MABE	CAPS Villa Dolores	499478	1391808
3	MABE	CAPS Sirama Sur	498695	1391399
4	MABE	CAPS Las Nubes	500131	1395078
5	MABE	CAPS Pellizco Occidental	498018	1396966

No	Sistema	Dueño	Coordenadas	
			Este	Norte
6	PPEBP # 1	CAPS Santa Matilde 1	495752	1392400
7	PPEBM # 2	CAPS Santa Matilde 2	495547	1392127
8	PPEBM # 3	CAPS Chichigalpina	495274	1392119
9	PPEBM # 4	CAPS Santa Matilde 4	495536	1391962
10	PPEBM # 5	CAPS Parte este Santa Matilde	495741	1392237
11	MABE	CAPS San Benito 1	493895	1393424
12	MABE	CAPS Valle las Mayorga	501188	1389292
13	MABE	CAPS Fe y Esperanza	501140	1389693
14	MABE	CAPS Valle Viejo	500292	1390364
15	MABE	CAPS Tololar No 1	502007	1391153
16	PPEBE	MINSA	497630	1391834
17	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	497989	1392756
18	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	499250	1387333
19	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	497655	1387254
20	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	497842	1386264
21	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	500826	1397518
22	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495307	1385722
23	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495017	1385744

Fuente: SIASAR (2015), ENACAL (2015), ANA (2017).

Cabe señalar que durante el recorrido en la cuenca (fase de campo del presente estudio), se identificaron pozos recién construidos, el cual aún no están activados, los que seguramente contribuirán a reducir el déficit de cobertura, entre estos se encontraron: dos comunitarios (coordenadas, 500827E-1397521N y 501124E- 1397640N) y tres pozos de ENACAL, (coordenadas: 496087E-1393821N, 496505E-1393684N y 496163E-1393124N).

En la tabla VII se describen ciertas características principales de algunos sistemas de abastecimiento de agua potable identificados en la unidad hidrográfica río Sucio, entre ellas: estado de los sistemas, conexiones

domiciliares, cobertura, volumen de aprovechamiento, si están siendo tratados o no.

**Tabla VII. Características principales de los sistemas de abastecimiento de agua**

No	Id	Estado del sistema	Conexiones Dom.	Aprov. Prom. Mensual	Tipo de tratamiento	Cloro residual
1	FISE 4455	Regular	229	310.84	Ninguno	0.2
2	FISE 4456	Regular	220	138.15	Desinfección con cloro	0.2
3	FISE 4457	Regular	441	151.97	Filtración rápida	0.2
4	FISE 4769	Regular	140	276.31	Ninguno	0.2
5	FISE 4778	Regular	301	518.07	Desinfección con cloro	0.2
6	FISE 7800	Caído	0	-	Ninguno	SR
7	FISE 7804	Malo	57	2,486.75	Ninguno	SR
8	FISE 7806	Malo	35	2,486.75	Ninguno	SR
9	FISE 7807	Bueno	97	2,486.75	Ninguno	SR
10	FISE 7815	Malo	30	1,989.40	Ninguno	SR
11	FISE 4979	Bueno	342	9,118.07	Desinfección con cloro	0.2
12	FISE 6038	Regular	74	13,262.64	Desinfección con cloro	0
13	FISE 6039	Bueno	125	2,901.20	Desinfección con cloro	0
14	FISE 6040	Bueno	22	1,243.37	Ninguno	0
15	FISE 6322	Regular	62	2,901.20	Ninguno	0
16	ENACAL 7	Bueno	ND	101,185.00	Desinfección con cloro	SR
17	ENACAL 8	Bueno	ND	65,491.67	Desinfección con cloro	SR
18	ENACAL 9	Bueno	ND	84,929.17	Desinfección con cloro	SR
19	ENACAL 10	Bueno	ND	110,664.17	Desinfección con cloro	SR

Fuente: (SIASAR, 2015), (ENCACAL, 2015).

Los sistemas de abastecimiento identificados están desde malo, regular a buenos. Se identifican tres sistemas malos (FISE 4769, FISE 7800, FISE 6322) que necesitan mejoras en el sistema de conducción, almacenamiento y

distribución. Asimismo, se pueden identificar cuatro sistemas en estado regular que requieren de mejoras (FISE 4455, FISE 4456, FISE 4457 y FISE 4778).

La cobertura del servicios de agua potable a nivel rural es baja (37.64 %), y para cubrir el déficit, la población explotan pozos excavados que por lo general no satisfacen la calidad deseada para el consumo humano, la alcaldía municipal de Chichigalpa, en la caracterización municipal (2009), menciona que en el municipio hay unos 1,920 pozos privados, información que no se pudo comprobar en la fase de campo.

Es necesario enmarcar que muchos sistemas de abastecimiento no están siendo sometidos a ningún tipo de tratamiento, lo que podría generar riesgo a la salud. Comúnmente la desafección a los que estos sistemas se someten, es el tratamiento a base de cloro y únicamente un sitio es bajo filtración rápida.

Algunos sistemas tienen datos sobre la presencia de cloro residual, en la cual los valores andan en 0.2 mg/l. La guía OMS recomienda que para tener garantía sanitaria de la calidad de agua para consumo y para asegurar su efecto ante cualquier contaminación posterior, debe existir un promedio de 0.3 mg/l de cloro residual (CEPIS, 1992), por tanto, los valores encontrados son normales. Aunque la mayoría de la población rechaza el consumo de agua con niveles de cloro entre 0.5 a 0.8 mg/l, este valor no representaría riesgo para la salud.

#### **3.1.3.5. Saneamiento**

La cobertura de saneamiento a nivel urbano es de 38 % según el Plan Operativo 2014-2019 de ENACAL. A nivel rural, según base de dato del SIASAR, la cobertura de saneamiento mejorado es de 60.39 %. Cabe señalar que el saneamiento a nivel urbano consiste principalmente en el tratamiento de aguas

servidas, manejo de excretas y residuos sólidos; en el campo, es principalmente el manejo de excretas y un poco el manejo de basuras.

### **3.1.3.5.1. Aguas servidas y servicios higiénicos**

La parte urbana de la cuenca conformada, en su mayoría, por la ciudad de Chichigalpa, no cuenta con sistema de alcantarillado sanitario, algunas viviendas conectan sus drenajes sanitarios al alcantarillado pluvial. (Alcaldía, 2009). Parte de flujos de agua residual de la ciudad son conducidos a una laguna de oxidación, otra parte por un cauce, ambos elementos descargan el agua al río La Zopilota afluente del río Sucio, estimándose un volumen de 460.8 m<sup>3</sup>/día. La laguna se encuentra sin mantenimiento y no cumple su función objetiva (Figura 11). Se realizó una evaluación rápida a la calidad de agua proveniente de la laguna con una sonda multiparamétrica, observándose que las características del vertimiento presenta valores de algunos parámetros, por encima de los que posee el río aguas arriba. (Figura 12).

**Figura 11. Laguna de oxidación y su estado**



Fuente: elaboración propia, 2017.

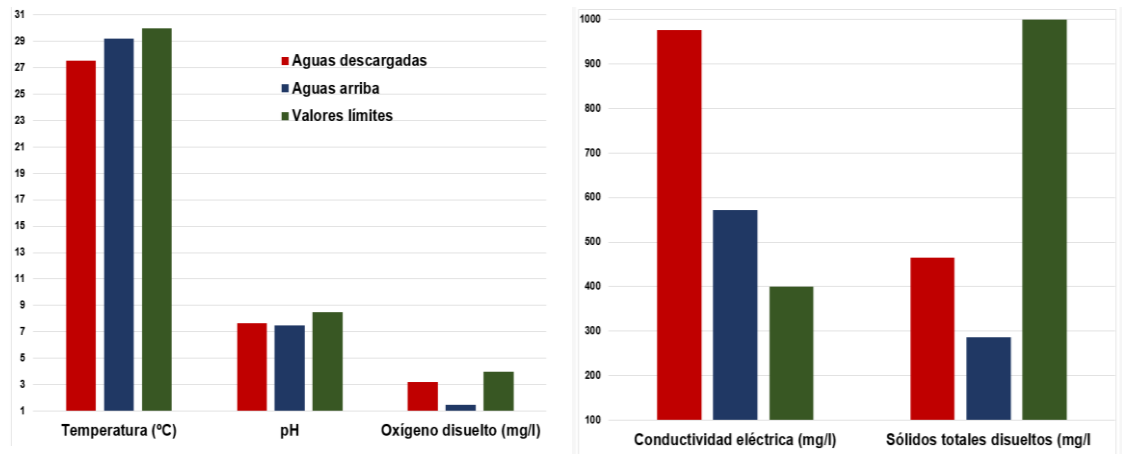
**Figura 12. Descarga de agua residual al río La Zopilota**



Fuente: elaboración propia, 2017.

En la figura 13, se hace una comparación de los resultados del análisis de calidad de agua *in situ*.

Figura 13. **Calidad de agua proveniente de la laguna de oxidación y el río La Zopilota**



Fuente: elaboración propia.

El pH, en el agua residual presenta valores ligeramente por encima de los evaluados al río antes de la descarga. El oxígeno presenta valores mayores al río, debido a que la toma de la muestra se realizó en el chorro de la descarga, misma que presentaba alta velocidad, contribuyendo de esa forma la oxigenación. Se observa una alteración significativa de la conductividad eléctrica y el contenido de sólidos disueltos; pudiéndose determinar la contribución de sustancias contaminantes al río.

La otra fuente de descarga, que corresponde al cauce que proviene de la ciudad de Chichigalpa, presentan también características alteradas, con presencia de malos olores y contenidos de sólidos disueltos, pero en menos proporción que la proveniente de la laguna de oxidación.



Figura 14. **Segunda fuente de descarga de agua residual al río La Zopilota**



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la disponibilidad de servicios higiénicos por vivienda, en la unidad hidrográfica río Sucio se estima que el déficit es de 4.82%, siendo mayor en las zonas rurales. (Tabla VIII).

Tabla VIII. **Déficit de servicios higiénicos en la unidad hidrográfica río Sucio**

Municipio	Viviendas		Total	Sin servicio higiénicos		Total
	Urbanos	Rural		Urbano	Rural	
Chichigalpa	6,677	2,434	9,111	215	229	444
Posoltega	184	963	1,147	1	51	52
Chinandega	-	35	35	-	Sr*	Sr
Corinto	-	-	-	-	-	-
Total Cuenca	6,861	3,432	10,293	216	280	496
Déficit (%)			100.00	3.15	8.16	4.82

Fuente: Censo de población y vivienda, INIDE, 2005. \*Sin referencia.

Cabe señalar que la fracción del área del municipio de Corinto, que se encuentra dentro del territorio de la cuenca no presenta población alguna. En cuanto a la parte de Chinandega se identifican dos pequeños poblados rurales, no obstante, no se obtuvo datos a esa escala poblacional.

### 3.1.3.5.2. Gestión de desechos sólidos

A partir de datos del censo de población y vivienda desarrollado en 2005 y publicado en 2008, se estimó que en la cuenca existen aproximadamente 11,018 hogares, de los cuales 5,380 no tenían servicios de recolección de basura, esto representa el 48.83 %. (Tabla IX).

Tabla IX. **Déficit de servicio de recolección de basura en la cuenca, 2005**

Municipio	Hogares		Total	Sin servicio R. Basura		Total
	Urbanos	Rural		Urbano	Rural	
Chichigalpa	7,201	2,566	9,767	1,855	2,275	4,130
Posoltega	211	1,005	1,216	211	1,004	1,215
Chinandega	-	35	35	-	35	35
Corinto	-	-	-	-	-	-
Total Cuenca	7,412	3,606	11,018	2,066	3,314	5,380
Déficit (%)			100.00	27.87	91.90	48.83

Fuente: Censo de población y Vivienda, INIDE, 2005.

Algunos datos recientes, es lo referido en la caracterización municipal de Chichigalpa, realizado en 2009, según este informe, en el casco urbano hay un total de vivienda de 7,020, el cual se atienden a 6,500, siendo el déficit de 7.5 % a nivel urbano; a nivel rural no se presta servicio de recolección de basura, a

excepción de algunos establecimientos como: el ingenio San Antonio, licorera, entre otros, en donde se presta el servicio.

Los desechos que son recolectados como parte de los servicios municipales son depositados en basurero a cielo abierto (Figura 15 y 16), otra parte son tirados a los predios baldíos y lo que es peor a los cauces cercanos a la ciudad (Figura 17 y 18).

Figura 15. **Depósito municipal de basura en Chichigalpa.**



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 16. **Gestión *in situ* de los desechos sólidos.**



Fuente: elaboración propia, 2017.

**Figura 17. Depósitos de basura en la periferia de la ciudad de Chichigalpa.**



Fuente: elaboración propia, 2017.

**Figura 18. Tiraderos de basura en cuece en la ciudad de Chichigalpa.**



Fuente: elaboración propia, 2017.

Una vez depositados los desechos en el basurero, un grupo de personas particulares recolectan los plásticos, metales u otro material que les sea útil y los comercializan, el resto de residuos, son tirados al terreno local y una parte quemado. Basado en los datos de emplazamiento de vertedero municipal, este cumple con criterios como: distancia al casco urbano, nivel freático, entre otros (Alcaldía Chichigalpa, 2009); sin embargo, el hecho de no realizar una buena gestión, por ejemplo, clasificación, tratamiento de materiales peligrosos, no disponer de una adecuada disposición, entre otros, atenta no solo con la contaminación del ambiente, sino también con los acuíferos.

### **3.1.4. Características geofísicas**

#### **3.1.4.1. Topografía**

La topografía de una cuenca se puede definir en función de la elevación, pendiente y tipo de relieve. La elevación tiene especial interés en las zonas montañosas, esto puede dar una idea del comportamiento del clima en la cuenca y está referida al nivel medio del mar. La pendiente de la cuenca tiene implicación en los procesos de: infiltración, la escorrentía superficial, la humedad de suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía; es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas (Villón, M. 2002).

Usando curvas de nivel a cada 20 m, mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), se elaboró un modelo de red de triángulos irregulares (TIN) para obtener las alturas de la cuenca. (Anexo 2).

La mayor parte de la unidad hidrográfica río Sucio está representada por alturas menores a los 200 msnm. La altura máxima oscilan entre 1,300 a 1,775 msnm y se identifican entre los volcanes Casitas y San Cristóbal. La altura promedio de la cuenca es de 24.10 Msnm.

En cuanto a la pendiente de la cuenca, esta se determinó a partir de un modelo digital de terreno el cual fue procesado mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis 10. (Anexo 3).

La mayor parte del territorio de la cuenca está representada por una pendiente menor a 10 % e inician a partir del pie de los volcanes San Cristóbal y Casitas.

#### **3.1.4.2. Geomorfología**

Las características geomorfológicas de una cuenca se clasifican en dos tipos: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corriente, pendiente de la cuenca, los cauces, entre otras. (Aparicio F, 2009).

Otros actores describen que la geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para la cual se han establecidos una serie de parámetros que a través de ecuaciones matemáticas sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Los parámetros establecidos son los siguientes: parámetros de forma, de relieve y red hidrográfica. (Cahuana & Yugar, 2009).

Los parámetros de forma relacionan el movimiento del agua y la respuesta de la cuenca a tal movimiento. Los parámetros de relieve son muy importantes en una cuenca, ya que este puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca. La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca.

En la tabla X, se reflejan los valores calculados para cada variable morfológica de la cuenca utilizando las formulas referidas de los diferentes libros de hidrología.

Tabla X. **Morfología de la unidad hidrográfica río Sucio**

Parámetros	Símbolo	Unidad de medida	Valores
<b>De forma</b>			
Área	A	km <sup>2</sup>	223.9
Perímetro de la cuenca	P	km	78.87
Longitud de la cuenca	Lc	km	32.28
Ancho medio de la cuenca	Am	km	5.99
Índice de compacidad	Kc	-	1.48
Factor de forma	Ff	-	0.16
Relación de elongación	Re	-	0.52
<b>Parámetros de relieve</b>			
Pendiente media de la cuenca	Sc	%	12
Altitud media de la cuenca	Hmed	msnm	181.1
Altitud máxima	HM	msnm	1756
Altitud mínima	Hm	msnm	0
<b>Parámetros de red hidrográfica</b>			
Longitud del río principal	L	km	37.41
Longitud total de ríos	Li	km	383.7
Números totales de ríos	N	ríos/km <sup>2</sup>	197
Ríos de primer orden	N1	ríos	108
Frecuencia de ríos	Fr	ríos/km <sup>2</sup>	0.88
Densidad de drenaje	Dd	km/km <sup>2</sup>	1.71
Relación de bifurcación	Rb		3.2
Pendiente media del río	lc	%	4.69
Coeficiente de torrencialidad	Ct	ríos/km <sup>2</sup>	0.48
Coeficiente de masividad	Cm	-	0.81
Tiempo de concentración según V-Heras	Tc	h	3.45
Tiempo de concentración según Passini	Tc	h	3.75
Tiempo de concentración según Temez	Tc	h	3.4

Fuente: elaboración propia.

- Parámetros de forma

Los parámetros de forma se pueden determinar a través del índice de compacidad o coeficiente de Gravelius ( $I_c$ ) y por el factor de forma ( $F_f$ ) definido por Horton.

- Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) fue propuesto por Gravelius (Gravelius, 1914), compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca. (Tabla XI).

Tabla XI. **Índice de Gravelius para determinar la forma de la cuenca**

Valores	Forma
1 a 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 - 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 - 1.75	De oval oblonga a rectangular

Fuente: Meza M, Rodríguez A. *et al.* (2014).

Para la unidad hidrográfica río Sucio, se estimó un índice de 1.48 caracterizada como una cuenca oval oblonga indicando una baja susceptibilidad a inundaciones.



- El factor de forma de Horton

Horton ha sugerido un factor adimensional de forma relacionado el área de la cuenca y la longitud de la misma medida desde la salida hasta el límite, cerca de la cabecera del cauce principal, a lo largo de una línea recta. Este índice ha sido muy usado como indicador de la forma del hidrograma unitario. El factor de Horton refleja que entre más se aleja un valor de la unidad más alargamiento presenta una cuenca y pueden ser los menores a 0.30. Valores de 0.40 a 0.50 indican cuencas ovaladas y redondas a medidas que llegan a 1. En la cuenca en estudio se obtuvo 0.16, considerada como alargada.

- Relación de elongación (Re)

Definido por Schumm (1956), como la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca medida desde la desembocadura hasta divisoria en sus límites extremos sobre una línea recta paralela al eje del río principal.

El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, cuando la cuenca es plana con porciones accidentales la relación de elongación esta entre 0.5 y 0.8. La estimación para la cuenca refleja valores de 0.52 indicando una cuenca plana y ciertas áreas accidentadas generalmente cercano a las faldas del volcán San Cristóbal.

En el análisis de la cuenca también deben ser determinadas variables como: ancho medio de la cuenca y longitud de la cuenca. El ancho medio relaciona el área de la cuenca y su longitud, obteniendo un valor de 5.99 km para el área de estudio. La longitud de la cuenca relaciona la distancia entre la salida y el

punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta, esta dio un valor de 32.28 km para la unidad hidrográfica río Sucio.

- Parámetros de relieve

En los parámetros de relieve se analizaron: pendiente de la cuenca, curvas hipsométricas, hidrograma de frecuencia.

- Pendiente

Los rangos de pendientes de la cuenca del río Sucio se describen en el numeral 3.1.4.1 referido a la topografía también consultar mapa en anexo 3. La pendiente media de la cuenca tiene una importante, pero compleja relación con la infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo de los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo de flujos sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas (Cahuana & Yugar, 2009).

Para evaluar la pendiente media de la cuenca puede utilizarse los criterios de Albord y Horton. El criterio de J.W Alvord analiza la pendiente entre curvas de nivel, evaluando la faja definida por la líneas medias que pasan entre curvas de nivel. El criterio de Horton consiste en trazar una malla de cuadros sobre la proyección horizontal de la cuenca orientándola, según la dirección de la corriente principal, midiendo las longitudes de las líneas de la maya dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.

En el presente estudio, se analizó esta variable con el criterio de Albord obteniendo un valor de pendiente media de 12.40 %.

Con el valor de la pendiente media se puede determinar el relieve de la cuenca. La pendiente se puede basar por medio del criterio Klingebiel & Montgomery (1962) y Sheng (1982); sin embargo, el criterio de Sheng es el más adecuado debido a que está basado en experiencias en países tropicales. (Tabla XII).

Tabla XII. **Clasificación de pendientes según sistema de Sheng**

Grados	Porcentajes	Categoría/relieve
0-7	0-12	Plano hasta ondulado
jul-15	dic-25	Muy ondulado
15-20	25-40	Ligeramente escarpado
20-25	40-50	Escarpado
25-30	50-60	Muy escarpado
>30	>60	Montañoso

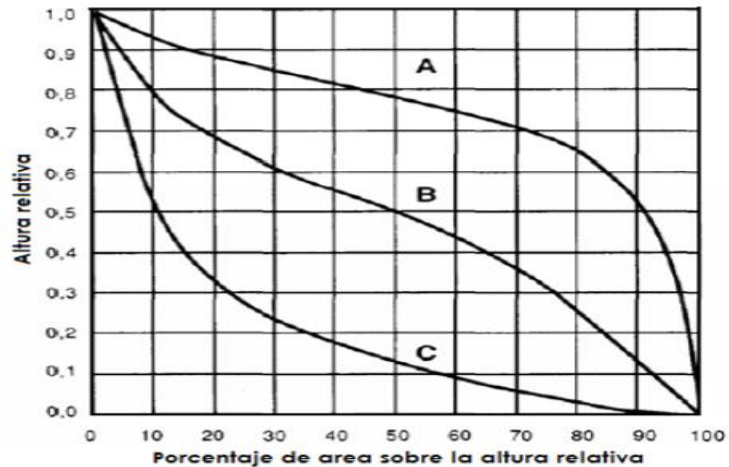
Fuente: CATIE, 1984.

Obtenido el resultado de la pendiente media de la cuenca, esta se puede ubicar en la en las categorías 1 y 2 caracterizada desde un relieve plano hasta ondulado o muy ondulado.

- Curva hipsométrica

Representa gráficamente al relieve de la cuenca, es decir, indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la misma en kilómetros cuadrados que existe por encima de una cota determinada. La relevancia de la curva hipsométrica reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. Se pueden clasificar en A, B y C. (Figura 19).

Figura 19. **Clasificación de las curvas hipsométricas**



Fuente: Cahuana & Yugar, 2009.

La curva A refleja una cuenca con gran potencial erosivo, es una etapa de desequilibrio geológicamente joven, tienen aspectos de mesetas. La curva B representa una cuenca característica en equilibrio geológicamente madura, es características de cuenca pie de montaña. La curva C es una cuenca sedimentaria, es erosiva y geológicamente vieja, son características de cuencas de valle.

Con el apoyo de las hojas topográficas editadas por el INETER en 2004 correspondientes al área de estudio, se obtuvieron las curvas de nivel, de las cuales se determinó el área acumulada de las porciones de la cuenca obteniendo así los porcentajes por área. (Tabla XIII).

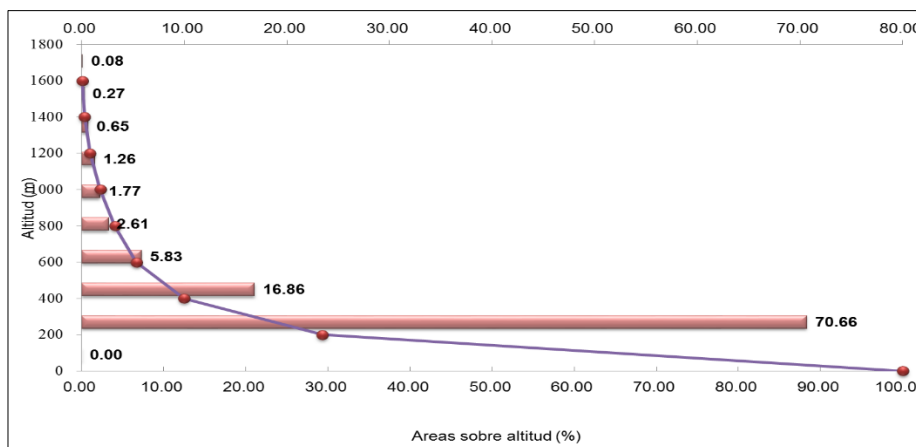
Tabla XIII. **Variables calculadas para la construcción de la curva hipsométrica**

Valores	Intervalo		Área	Área Acumulada	Are sobre la cota	Total	Total sobre la cota
	Min	Max	Km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	%
1	0	200	158.2	158.24	223.94	70.7	100
2	201	400	37.76	196.01	65.7	16.9	29.34
3	401	600	13.05	209.06	27.93	5.83	12.47
4	601	800	5.85	214.91	14.89	2.61	6.65
5	801	1000	3.97	218.88	9.03	1.77	4.03
6	1001	1200	2.82	221.7	5.06	1.26	2.26
7	1201	1400	1.46	223.16	0.78	0.65	0.35
8	1401	1599	0.6	223.76	0.18	0.27	0.08
9	1601	1756	0.18	223.94	0	0.08	0

Fuente: elaboración propia.

La curva característica obtenida de la cuenca se refleja en la figura 20.

Figura 20. **Curva hipsométrica de la unidad hidrográfica río Sucio**



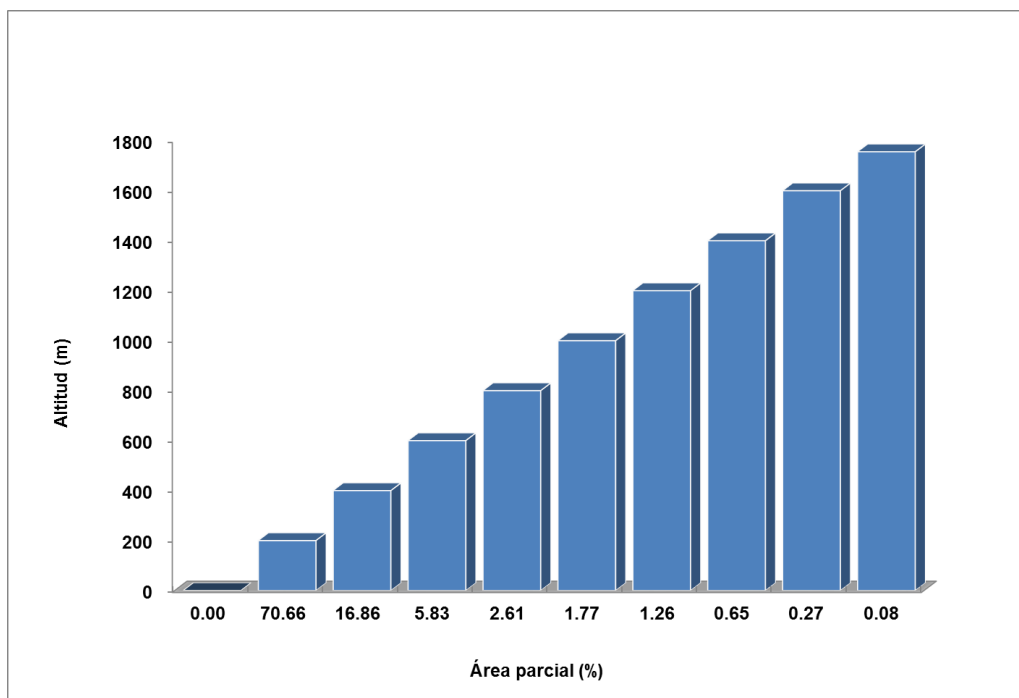
Fuente: elaboración propia.

El resultado de la curva obtenida indica que la cuenca en estudio es una cuenca en fase de vejez, sedimentaria y es erosiva.

- Diagrama de frecuencia de alturas

Esta se considera como la representación gráfica de la distribución de porcentajes de las superficies ocupadas para diferentes alturas. (Figura 21).

Figura 21. **Frecuencia de altitudes de la cuenca**



Fuente: elaboración propia.

De esta gráfica se puede obtener la altitud más frecuente, que en el caso de la cuenca es 0 a 200 msnm que representa un 70.66 %.

- Parámetros de red hidrográfica

La red hidrográfica de una cuenca lo componen todos los cursos naturales del territorio de la misma, por donde fluyen los escurrimientos superficiales y subterráneos de la cuenca.

El primer parámetro a determinar es la red de drenaje, está formados por el cauce principal y sus tributarios; a la vez, se puede clasificar por el tiempo que transportan agua que pueden ser: perennes, intermitentes y efímeros. También se pueden clasificar por orden del cauce que represente el grado de ramificación de la red de drenaje.

Para definir los órdenes de ríos se pueden emplear dos sistemas, el sistema de Horton y de Strahler. El primero define los cauces de primer orden, aquellos que no poseen tributarios; segundo orden, son aquellos que tienen afluentes de primer orden; los terceros, los que reciben influencia de cauces de segundo orden y así sucesivamente. El sistema de Strahler, considera que todos los cauces son tributarios aun cuando las nacientes sean ríos principales, el río en este sistema, no mantiene el mismo orden en toda su extensión, el orden está dado por el número de orden del cauce principal.

Para determinar el orden de las corrientes de la unidad hidrográfica río Sucio, se aplicó el sistema de Strahler (1957). (Tabla XIV, anexo 4).

Tabla XIV. **Clasificación de corrientes en la cuenca**

Orden de ríos	Ríos	Longitud de corrientes	% frecuencias
1	108	217.68	56.74
2	43	64.92	16.92
3	31	57.56	15
4	13	32.1	8.37
5	2	11.39	2.97
Total	197	383.65	100

Fuente: elaboración propia.

○ Densidad de drenaje

La densidad de drenaje de la cuenca está definido como el cociente entre la longitud total de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y el área de la cuenca, (Horton, 1945). La densidad de drenaje es un indicador de la respuesta de la cuenca ante una tormenta, condicionando así la forma del hidrograma del desagüe de la cuenca. Esta variable se puede clasificar según la tabla XV.

Tabla XV. **Clasificación de la densidad de drenaje**

Clasificación	Interpretación	Características de la cuenca
<1	Bajo	Baja escorrentía y aumento de la infiltración
1.5 - 2.5	Medio	Tendencia media de escorrentía
2.5 - 3.0	alto	Alta tendencia a fluir en las inundaciones
>3.0	Muy alta	Alta tendencia a la escorrentía y a la erosión.

Fuente: Horton (1945), Strahler (1957), França (1968) y citado por Rodríguez (2014).



Según Strahler (1952), citado por Cahuana & Yugar (2009), para Norte América encontró valores desde 0.2 km/km<sup>2</sup> para cuencas con drenajes pobres y hasta 250 km/km<sup>2</sup> para cuencas muy bien drenadas. França (1968) y mencionado por Rodríguez (2014), clasificó la densidad de drenaje en bajo, medio, alto y muy alto. Para el caso de la unidad hidrográfica río Sucio, se encontró valores de 1.71 pudiéndose considerar como densidad media para una tendencia media a la escorrentía.

- Relación de bifurcación (Rb)

Es la relación entre el número de cauces de orden (Ni) y el número de cauces de orden (N+1), Horton encontró que esta relación es relativamente constante de un orden a otro. Para la cuenca se obtuvo un valor de 3.20. El valor teórico mínimo de bifurcación es 2, según Strahler, un valor típico se encuentra en 3 y 5 en cuencas donde la estructura geológica no distorsiona el patrón de drenaje.

- Pendiente media del cauce principal

La pendiente media de un cauce, es la relación entre la altura o cota máxima menos la cota mínima y la longitud del mismo. Como resultado del análisis en la unidad hidrográfica resultó un valor de 4.69 %. La pendiente del cauce tiene implicancia en la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua. Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será la velocidad de flujo, siendo un factor característico de la respuesta de la cuenca ante determinada precipitación. También la pendiente tiene relación con las cargas de sedimentos en las zonas bajas de la cuenca, a mayor pendiente más arrastre de los mismos.

R. Heras R. (1945), clasificó la pendiente del cauce principal en: 2 % corresponde a terrenos llanos, 5 % a terrenos suave, 10 % accidentado medio, >15 % accidentado, escarpado hasta muy escarpado. Con esto valores se ubica a la unidad hidrográfica en estudio de terrenos llanos hasta suaves.

- Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado. (Ibañez & Gisbert, 2011).

Para determinar el tiempo de concentración se pueden usar tablas o ecuaciones empíricas. Las tablas más empleadas están las de Agres, USDA y la de Comack. En cuanto a las ecuaciones están: Ventura-Heras, Passinni, Temez (1978), entre otras. Aplicando las ecuaciones de los tres métodos referidos se obtuvieron: 3.45 horas en el método de V-Heras, 3.75 horas en el método Passini y 3.4 horas por el método de Temez.

### **3.1.4.3. Geología**

#### **3.1.4.3.1. Geología regional**

Nicaragua se encuentra configurada en cinco provincias geológicas, las cuales fueron afectadas por una serie de eventos geológicos bien marcados. Entre ellas se encuentran: provincia Costera del pacífico (planicie costera, cuenca sedimentación), provincia de la depresión o Gravamen Nicaragüense, provincia volcánica terciaria (tierras altas del interior, región montañosa central),

provincia geológica del Norte (plataforma Paleozoica y Mesozoica) y planicie geológica de los llanos de la Costa Atlántica (Altamirano, 2002).

La unidad hidrográfica río Sucio se encuentra en la provincia Costera del Pacífico. Esta constituye una estrecha franja de terreno paralela a la costa del Pacífico, con una anchura generalmente inferior a los 30 Km. Estas formaciones sedimentarias se encuentran notablemente deformadas con episodios de actividad volcánica y levantamiento tectónico.

#### **3.1.4.3.2. Geología local**

Basado en el mapa geológico de la planicie León-Chinandega, modificado por CIGEO (1999), en la unidad hidrográfica río Sucio, se encuentran depósitos sedimentarios aluviales y arcillas limosas en la zona media y suelos orgánicos en la zona baja del área. Rocas volcánicas entre lavas, depósitos piroclásticos, tobas, pómez, cenizas (basálticas, dacíticas y riolíticas), pueden encontrarse en la zona del volcán San Cristóbal y Volcán Casitas. En la zona baja pueden encontrarse gran parte de la formación tamarindo, entre ellos tamarindo Superior con flujos piroclásticos y Tamarindo medio con rocas ignimbritas, Cáceres, 2005).

Según el mapa geológico minero de Nicaragua, elaborado por INETER en 1995 a escala 1:500,000; determina que en la zona alta de la unidad hidrográfica río Sucio, prevalecen materiales cuaternarios (BQiv) de la serie holoceno, relacionados a rocas volcánicas entre ellas: lavas, tobas, cenizas, aglomerados, escorias basálticas y andesíticas basálticas. En la parte media de la cuenca, prevalecen formaciones cuaternarias (Qiii-iv) del Pleistoceno-Holoceno, encontrándose sedimentos consolidados (más antiguos) y recientes entre ellos: guijarros, arenas, suelos arenosos y arcillas. Rumbo a la desembocadura de la cuenca se pueden encontrar también materiales cuaternarios (Qiv) del Holoceno,

encontrándose sedimentos recientes como: guijarros, arenas, suelos arenosos y arcillas.

Basado en el mapa geológico modificado por INETER (2006), en la geología local de la unidad hidrográfica río Sucio, predomina la formación del grupo Tamarindo en un 61.61 %, se ubica en la zona media y baja, es de la edad terciaria, encontrándose material inferior andesita y aglomerados. Un 38.39 % lo conforman materiales del cuaternario volcánico, encontrándose lavas piroclásticas indiferenciados. (Tabla XVI, anexo 5).

Tabla XVI. **Formación geológica del área de estudio**

No	Formaciones	Edad	Grupo	Litología	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Q	Terciario Volcánico	Tamarindo	Inferior Andesita Y Aglomerado	138	61.61
2	Tmti	Terciario Volcánico	Tamarindo	Inferior Andesita Y Aglomerado	2.15	0.96
3	Ql	Cuaternario Volcánico		Lava	10.34	4.62
4	Qal	Cuaternario Volcánico		Lava Piroclásticos Indiferenciados	8.01	3.58
5	Qvl	Cuaternario Volcánico		Lava Piroclásticos Indiferenciados	65.48	29.23
<b>Total</b>					224	100

Fuente: Mapa de formaciones geológicas, INETER, 2006.

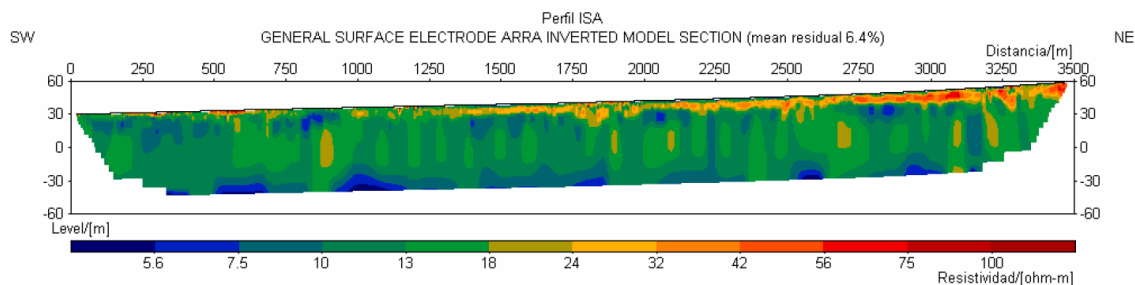
En la falda Sur del volcán Casita, pueden encontrarse el predominio de depósitos de material piroclástico meteorizado de color gris y amarillo. Estas rocas piroclásticas formaron parte en una densa suspensión en el cauce de la corriente acuática y después del cambio de la curva de erosión, originaron la formación de sedimentos. Igualmente en las faldas de volcán San Cristóbal puede encontrarse flujos piroclásticos, fuertes soldados que pueden denominarse ignimbritas. (P. Havlicek, *et al.*, 1999).

La formación Tamarindo, que forma la mayor parte de la cuenca, constituye una barrera natural entre el mar y los depósitos acuíferos cuaternarios, sobre

todo en las zonas donde afloran, esta aseveración fue demostrada por diferentes actores, Naciones Unidas (1971), INETER-MAGFOR (2000), y Fenzl (1983). Corriols (2003), mencionado por Cáceres (2005), demostró por medio de sondeos eléctricos verticales, que cerca de la costa, donde presenta zonas de baja resistividad, puede estar asociada a intrusión marina.

Cáceres (2005), realizó interpretación de perfil geofísico de una longitud de 3.5 km, llevado a cabo en la ciudad de Chichigalpa, en específico en el Ingenio San Antonio (ISA); mediante un modelo inverso de resistividad, se mostró que en la zona hay homogeneidad en la distribución de los materiales. El perfil atraviesa depósitos sedimentarios del cuaternario y en específico sedimentos limo arcilloso.

Figura 22. Perfil litológico sitio ISA



Fuente: Cáceres (2005).

Basado en el perfil, se puede observar la prevalencia de materiales de baja resistividad que pueden estar asociados a los limos y arcillas materiales con características de alta capacidad de almacenar agua.

Una característica importante observada en el sitio de estudio, es la existencia de sistemas de fallas y fracturas, lo que puede ser un indicador de la prevalencia de buenos flujos subterráneos, pero que a la vez pueden ser una vía

de contaminación del acuífero, sobre todo en la zona baja de la cuenca en donde existe una alta explotación agrícola.

### 3.1.5. Características de suelo

#### 3.1.5.1. Tipo de suelo

El tipo de suelo de la unidad hidrográfica río Sucio, se determinó con base al mapa de suelo de la República de Nicaragua, elaborado por INETER en conjunto con la UNA y FARENA, en el marco del Programa Regional REDD CCAD GIZ, en septiembre de 2015. El mapa de suelo se realizó basado en las siguientes fuentes: toponimias INETER (1988 y 2006), Red Vial MTI (2014), datos de suelos compilados de estudios elaborados por Catastro e inventarios de los recursos naturales realizados por INETER, MAG, UNA (1972-2013), actualización a nivel de reconocimiento mediante datos de campo y análisis de laboratorios (INETER, UNA, 2015).

En la cuenca se encuentran cuatro tipos de orden, tales como: Andisols, Vertisols, Mollisols y Entisols, al igual que seis suborden. (Tabla XVII y anexo 6).

Tabla XVII. Tipo de suelo en la unidad hidrográfica río Sucio

Tipos	Orden	Símbolo	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Suborden	Símbolo	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Andisols	D	159.43	70.90	Vitrands	DF	67.52	30.03
					Ustands	DG	91.91	40.87
2	Vertisols	F	18.52	8.24	Usterts	FE	18.52	8.24
3	Mollisols	I	2.54	1.13	Udolls	IG	2.54	1.13
4	Entisols	L	44.00	19.73	Aquents	LB	7.71	3.43
					Orthents	LF	36.65	16.30

Fuente: INETER-UNA, 2015.

Los Andisols son suelos porosos con alta capacidad de infiltrar agua al manto acuífero. Se originan a partir de la descomposición de cenizas volcánicas. De este grupo, en la cuenca se encuentran dos subgrupos, Vitrandis y Ustands. Los Vitrandis son de textura arenosa con presencias de vidrios volcánicos. Los Ustands permanecen secos más de 90 días consecutivos a lo largo del año. El orden de los Andisols representan el 70.90 % del área total de la cuenca, con extensión de 159.43 km<sup>2</sup>, el suborden Ustands ocupan el 40.87 % (91.91 km<sup>2</sup>) del área de la cuenca y se distribuye desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca.

Los vertisols son suelos arcillosos (sonsocuite) de color gris o negro que se contraen y forman grietas cuando está seco y se expanden y encharcan al humedecerse. Los procesos de contracción y expansión ocasionan daños a edificaciones y carreteras. En la cuenca se encuentran el suborden Usterts, son agrietamientos en la arcilla que permanecen abiertos por más de 90 días no consecutivos al año. Este suborden de suelo, representa el 8.24 % (18.52 km<sup>2</sup>) de área de la subcuenca y se encuentra en la parte baja de la cuenca.

Los Mollisols son típicos en pastizales, presentan un horizonte superficial fértil de al menos 25 cm de espesor, con color pardo oscuro a negro. Dentro de este grupo, en la cuenca se encuentran el suborden Udolls, los cuales son suelos que permanecen húmedos en más de 90 días consecutivos en el año. El suborden Udolls únicamente representa el 1.13 % (2.54 km<sup>2</sup>) del área de la cuenca y se encuentra en la parte alta de la cuenca.

Los Entisols presentan escasas o ninguna evidencias de desarrollo de horizontes, porque se encuentran en su estado inicial de formación. En este orden se encuentran los subgrupos Aquents y Orthents. Los Aquents se encuentran saturados de agua todo el tiempo, los Orthents son suelos en laderas

escarpados, de poco espesor, debido a la erosión. Estos suelos representan el 19.73% (44 km<sup>2</sup>) del área de la cuenca y se encuentran en la parte alta (faldas del volcán San Cristóbal y El Casitas) y parte baja (en la zona de descarga del río Sucio).

### 3.1.5.2. Uso potencial de la tierra

El uso potencial de la cuenca se determinó con base al mapa de uso potencial de la tierra de la República de Nicaragua, elaborado por INETER en conjunto con la UNA y FARENA en el marco del Programa Regional REDD/CCAD/GIZ en septiembre de 2015. Las fuentes utilizadas en la elaboración del uso potencial de la tierra fue: toponimias (INETER, 1988 y 2006), Red Vial (MTI, 2014), mapa de suelo de la república de Nicaragua (INETER-UNA, 2015), mapa de pendiente basado en modelo digital de elevación de 30 m y zonificación climática en función de la precipitación (MAG, 2005).

El proceso de clasificación del uso de la tierra de Nicaragua se basó en normativas y metodología recomendada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América, adecuándolos a los patrones edáficos, climáticos y toposiográficos. En la cuenca se identificaron cinco clases, tales como: III, IV, V, VI y VIII. (Tabla XVIII y anexo 7).

Tabla XVIII. **Clases de uso potencial de la tierra en la cuenca**

ID	Clases	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	III.A-Zsh	Agrícola Intensivo	147.02	65.39
2	IV.ASP-Zsh	Agrícola restringido y Sistemas pecuarios	13.34	5.93
3	VI.FSA-Zsh	Forestal y Sistema Agroforestal	1.61	0.71
4	VIII.PC-Zsh	Protección y Conservación	44.36	19.73
5	V.SCE-Zsh	Silvopastura y cultivos especiales	18.52	8.24
<b>Total</b>			224.85	100

Fuente: INETER-UNA, 2015, MAG, 2005.



La clase III. A-Zsh corresponde a uso agrícola intensivo en zonas subhúmedas con precipitaciones de 1,200 a 2,000 mm/año. La capacidad de estas zonas es para la producción de: granos básicos, sorgo, soya, maní, ajonjolí, girasol, hortalizas, tubérculos, musáceas, piña, pitahaya, maracuyá, papaya, granadilla, caña de azúcar, frutales y árboles maderables. En estas áreas se deben de implementar prácticas de conservación de suelo para reducir la erosión. Estas áreas se encuentran principalmente en la zona media de la unidad hidrográfica río Sucio y representan el 65.39 % (147.02 km<sup>2</sup>) de la cuenca.

La clase IV. ASP-Zsh son zonas agrícolas restringidas y sistemas pecuarios en zonas subhúmedas de 1,200 a 2,000 mm/año). Están condicionados por fuertes pendientes, riesgo alto de erosión, pedregosidad y acidez de los suelos; son potencial para establecer plantaciones como: forestales con planes de manejo, sistemas agroforestales (café, cacao), frutales, plantas productoras de látex, musáceas, pitahaya, piña, maracuyá, granadilla y papaya. La siembra de granos básicos, raíces y tubérculos, requiere de prácticas de conservación de suelos muy intensas o establecer sistemas agroforestales. La ganadería puede ser intensiva o extensiva en silvopastura. Estas áreas se encuentran en la parte alta de la cuenca y representan el 5.93 % (13.34 km<sup>2</sup>).

La clase VI. FSA-Zsh, son tierras de vocación forestal y sistemas agroforestales en zona subhúmeda de 1,200 a 2,000 mm/año). Están condicionadas por relieve escarpado (pendiente de 30 a 50 %), riesgo alto de erosión y abundantes piedras en la superficie del suelo; tienen potencial para establecer plantaciones forestales con planes de manejo, sistemas agroforestales (café, cacao con musáceas, frutales y maderables). Estas áreas se encuentran en la parte alta de la subcuenca y representa el 0.71 % (1.61 km<sup>2</sup>).

La clase VIII. PC-Zsh, son de protección y conservación en zonas subhúmedas con precipitación de 1,200 a 2,000 mm/año. Están condicionadas por: afloramiento rocoso, pendientes, erosión, profundidad y pedregosidad de los suelos; su potencial es la generación de servicios ambientales y la protección de los recursos naturales. Estas zonas se encuentran en la zona alta y baja de la unidad hidrográfica, representa el 19.73 % (44.36 km<sup>2</sup>) de la cuenca.

Por último, está la clase V.SCE-Zsh, son tierras con vocación en silvopasturas y cultivos especiales en zona subhúmeda con precipitación de 1,200 a 2,000 mm/año. Condicionado por el alto contenido de arcilla en los suelos, drenaje pobre y nivel freático a poca profundidad durante época de lluvia; con potencial para ganadería en silvopastura con jícara, cultivo de arroz, hortalizas y caña de azúcar. Estas áreas se encuentran ubicadas en la parte baja de la cuenca y representan el 8.24 % (18.52 km<sup>2</sup>).

### **3.1.5.3. Uso de la tierra**

Para la descripción del uso de la tierra de la unidad hidrográfica río Sucio, se tomó en cuenta el mapa de uso de la tierra de Nicaragua elaborado por el MAG con la colaboración del INAFOR y MARENA en 2011. A partir del mapa referido, se determinó las categorías y clases de uso de la tierra para la cuenca en estudio. Se identifican cinco categorías y 17 clases de usos. Entre las categorías se encuentran: uso de bosque, agrícola, pecuario, otro tipo de vegetación y áreas sin protección. (Tabla XIX y anexo 8).

Tabla XIX. **Uso de la tierra en la unidad hidrográfica río Sucio**

Id	Categorías	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Clases de usos	Símbolos	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Bosque	24.79	11.03	Bosque latifoliado cerrado	Blc	0.45	0.20
				Bosque latifoliado abierto	Bla	15.21	6.76
				Plantación de latifoliadas	Plati	1.29	0.57
				Manglar	Man	7.84	3.49
2	Agrícola	148.78	66.17	Cultivos anuales	Can	6.55	2.92
				Cultivos/pastos	Cul/pas	21.22	9.44
				Caña de azúcar	Caz	87.63	38.97
				Café con sombra	Ccs	0.36	0.16
				Tacotales	Tac	33.02	14.69
3	Pecuarios	34.76	15.46	Pastizales	Pas	34.76	15.46
4	Otro tipo de vegetación	7.64	3.4	Vegetación arbustiva	Varb	7.21	3.21
				Vegetación herbácea	Vher	0.21	0.09
				Matorrales/malezas	Mat/mal	0.22	0.10
5	Áreas sin vegetación	8.88	3.95	Suelo sin vegetación	Ssv	4.20	1.87
				Agua	Ag	0.41	0.18
				No data	Noda	0.02	0.01
				Centros poblados	Cp	4.25	1.89
Total		224.85	100			224.85	100

Fuente: MAG-INAFOR-MARENA, 2011.

La categoría bosque está representado por bosques latifoliado abierto y cerrado, plantaciones y manglares; representan el 11.03 % (24.79 km<sup>2</sup>) del área de la cuenca. Estas zonas se encuentran ubicadas principalmente en la parte alta de la cuenca, excepto los manglares que se encuentran en la zona de descarga de la cuenca.

La zonas agrícolas representadas por: cultivos anuales, pastos, caña de azúcar, café y tacotales, representan el uso más importante de la unidad hidrográfica río Sucio con el 66.17 % (148.78 km<sup>2</sup>). Estos usos se encuentran distribuidos en toda la cuenca. Cabe señalar que el cultivo de caña de azúcar

representan el 59 % de la categoría agrícola y el 38.97 % (87.63 km<sup>2</sup>) del área total de la cuenca.

El uso pecuario está representado por los pastizales, este rubro representa el 15.46 % (34.76 km<sup>2</sup>) del área de la cuenca. Este uso se encuentra principalmente en la zona alta de la cuenca.

La categoría, otro tipo de vegetación, lo representan: la vegetación arbustiva, herbáceas, matorrales o malezas. Esta categorías representa únicamente el 3.40 % (7.64 km<sup>2</sup>) y se encuentra principalmente en la parte alta y unas pocas áreas en la zona baja de la cuenca. Las áreas sin vegetación lo representan: los suelos sin vegetación, agua y centros poblados. Esta categoría representa el 3.95 % (8.88 km<sup>2</sup>), los centros poblados es el principal uso.

#### 3.1.5.4. Confrontación de uso de la tierra

Con base al uso de la tierra y el uso potencial, se obtiene el mapa de confrontación. En este análisis se determinan las siguientes categorías: uso adecuado, no adecuado, sobre utilizado y subutilizado. (Tabla XX y anexo 9).

Tabla XX. **Confrontación de uso de la tierra en la cuenca**

ID	Confrontación	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Adecuado	154.02	68.50
2	No adecuado	16.12	7.17
3	No datos	0.91	0.40
4	Sobre utilizado	29.39	13.07
5	subutilizado	24.41	10.85
		224.85	100

Fuente: INETER, UNA (2015), MARENA-INAFOR-MAG (2011).

En la unidad hidrográfica de río Sucio se estima que el 68.50 % (154.02 km<sup>2</sup>) está en uso adecuado y se distribuye en casi toda la cuenca. La sobre utilización de la tierra representa el 13.07 % (29.39 km<sup>2</sup>) de la cuenca, esta se ubica principalmente en la parte alta de la unidad hidrográfica y en menos proporción en la zona baja. La subutilización de la tierra es la tercera categoría de mayor importancia, representa el 10.85 % (24.41 km<sup>2</sup>), se encuentra entre la parte alta y media de la cuenca. La categoría de menor peso es el uso no adecuado con el 7.17 % (16.12 km<sup>2</sup>); la principales zonas de uso no adecuado lo representan: el área donde se encuentra establecida la ciudad de Chichigalpa, zona alta sobre las faltas del volcán San Cristóbal y la zona de descarga hidrológica, que incluye los esteros ahí existentes.

#### **3.1.5.5. Cobertura forestal**

El mapa de cobertura forestal fue elaborado en el marco del Programa Regional REED/CCAD/GIZ en un esfuerzo conjunto entre las instituciones: INAFOR, MAG, MARENA e INETER que fue finalizado en septiembre de 2015.

Para la unidad hidrográfica del río Sucio, se identifican siete categorías, entre ellas: bosque latifoliado denso, bosque latifoliado raro, bosque de mangle, plantaciones forestales y cobertura agropecuaria, tacotales y otros.

Los tacotales son áreas mixtas de arbustos y matorrales con presencia de árboles maderables de poco interés que cubren alrededor del 10 % de la superficie.

La categoría “otros”, se refiere a áreas naturales no clasificadas en ningunas de las categorías anteriores, estas poseen diferentes tipos de formaciones

vegetales como: arbustos, sabanas, tierras sujetas a inundación, así como áreas urbanas, cuerpos de agua, sitios de extracción mineras, entre otras. (Tabla XXI y anexo 10).

Tabla XXI. **Cobertura forestal de la unidad hidrográfica río Sucio, 2015**

No	Clases	Área (Ha)	Área (Km <sup>2</sup> )	Áreas (%)
1	Bosque Latifoliado denso	785.44	7.85	3.49
2	Bosque latifoliado ralo	2,534.66	25.35	11.27
3	Bosque de Mangle	334.64	3.35	1.49
4	Tacotales	845.96	8.46	3.76
5	Plantaciones forestales	345.03	3.45	1.53
6	Agropecuario	14,646.86	146.50	65.14
7	Otros usos	2,992.41	29.92	13.31
<b>Total</b>		<b>22,485.00</b>	<b>224.85</b>	<b>100</b>

Fuente: INAFOR, MAG, MARENA e INETER, 2015.

Puede apreciarse en la tabla XXI, que los bosques de la unidad hidrográfica río Sucio, únicamente representan el 17.79 %, el resto está distribuido en agropecuario, tacotales y otros. Ya no existe el bosque latifoliado cerrado, este se ha transformado en denso y el bosque latifoliado abierto en bosque ralo. La mayoría del área de la cuenca ha sido sustituida por el uso agropecuario y el desarrollo urbano.

Para hacer una comparación, se tomó como referencia la cobertura forestal de 2006, en esta, uso agropecuario solo representaba el 30.58 %, y el bosque en ese entonces, representaba el 36.58 % incluyendo la regeneración natural y áreas de café. (Tabla XXII).

Tabla XXII. **Cobertura forestal en la cuenca, 2006**

No	Clases	Área (Ha)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Agropecuario	6,875.74	68.76	30.60
2	Agua	13.61	0.14	0.06
3	Bosque latifoliado abierto	3,062.66	30.63	13.60
4	Bosque latifoliado cerrado	1,378.60	13.79	6.13
5	Café	15.11	0.15	0.07
6	Cultivo Bosque Regeneración (CBR)	2,805.21	28.05	12.50
7	Cultivos Perennes (CP)	504.00	5.04	2.24
8	Manglares	963.15	9.63	4.28
9	Vegetación arbustiva	6,867.08	68.67	30.50
		22,485.16	224.85	100

Fuente: MARENA-MAGFOR, 2006.

El bosque latifoliado cerrado que hoy es denso, pasó de 6.13 % en 2006 a 3.49 %, el bosque latifoliado abierto que hoy es ralo, pasó de 13.62 % a 11.27 %. Si se toma apuntes sobre esto, se puede determinar que la tasa de deforestación en la cuenca es alrededor de 469.44 ha/año.

### **3.1.6. Características climáticas y meteorológicas**

#### **3.1.6.1. Clima**

Basado en el mapa de clasificación climática de Nicaragua, según el sistema de Köppen modificado (Enriqueta García, 1988), el clima de la unidad hidrográfica del río Sucio es clima caliente y subhúmedo con lluvias en verano (AW2). Este clima predomina en toda la región del pacífico y en la mayor parte de la región Norte. Se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre - abril) y otra lluviosa (mayo - octubre) (INETER, 2005).

### **3.1.6.2. Estaciones meteorológicas**

La densidad y distribución de estaciones climatológicas que se deben establecer en una red terrestre de una zona dada, depende de: los elementos meteorológicos que vayan a observarse, la topografía, la utilización de la tierra en la zona y las necesidades de información de elementos climáticos. (OMM, 2011).

Según las condiciones físico-climáticas de una zona, la OMM establece tres tipos de regiones para orientar la densidad de estaciones pluviométricas, entre ellas: a) regiones planas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales, densidades de 600 a 900 km<sup>2</sup>; b) regiones montañosas de zonas templadas y tropicales, densidades de 100 a 250 km<sup>2</sup>; c) regiones de precipitaciones irregulares concentradas, densidades de 25 km<sup>2</sup> y d) Zonas áridas, densidades de 1,500 a 10,000 km<sup>2</sup>.

Al analizar la zona en donde se ubica la unidad hidrográfica río Sucio, esta se ubicaría entre regiones planas tropicales y región montañosa tropical, el cual se podría ubicar en un rango de densidad de 250 a 600 km<sup>2</sup>. Sin embargo, se debe considerar que densidades de estaciones en áreas planas de 1 cada 650 km<sup>2</sup>, se obtiene errores de hasta 60 % para valores diarios, 15 % para mensuales y 5 % para promedios anuales. (Fattorelli & Fernández, 2011).

Dentro y cercano a la unidad hidrográfica río Sucio se consideró seis estaciones meteorológicas, todas ellas con diferentes periodos de registro. (Tabla XXIII).



Tabla XXIII. **Estaciones meteorológicas de referencia para la cuenca**

Id	Código	Nombre	TIPO	Este	Norte	Periodo de registro	Año de registro
1	60022	Bella Vista	PV	507177	1400247	1984-2007	23
2	64018	Chinandega	HMP	485523	1396501	1966-2015	49
3	64034	Corinto	HMP	478270	1383612	1966-2015	49
4	64043	León (Aeropuerto Godoy)	HMP	509423	1373654	1974-2015	41
5	64063	Posoltega	PVT	503439	1388883	1969-1982	13
6	64022	ISA	HMO	494568	1385546	1958-1997	39

Fuente: INETER, 2016.

En un radio imaginario de relación entre estaciones de 9 km de longitud, la densidad resulta 1 estación en 250 km<sup>2</sup> (Figura 23), en la cuenca, los radios varían de 9 a 19 km, el cual presenta una densidad similar a ese orden, esta distribución de estaciones está dentro de los rangos recomendados por la OMM. (Figura 23).

El número de estaciones necesarias en una zona también se puede estimar a partir de los pluviógrafos del área, basado en las precipitaciones totales anuales recogidas en el área. Tomando en cuenta el promedio aritmético de los valores de precipitación, la desviación estándar y el coeficiente de variación, se obtiene el número de estaciones recomendadas. (Tabla XXIV).

Tabla XXIV. **Estimación de números de estaciones recomendadas**

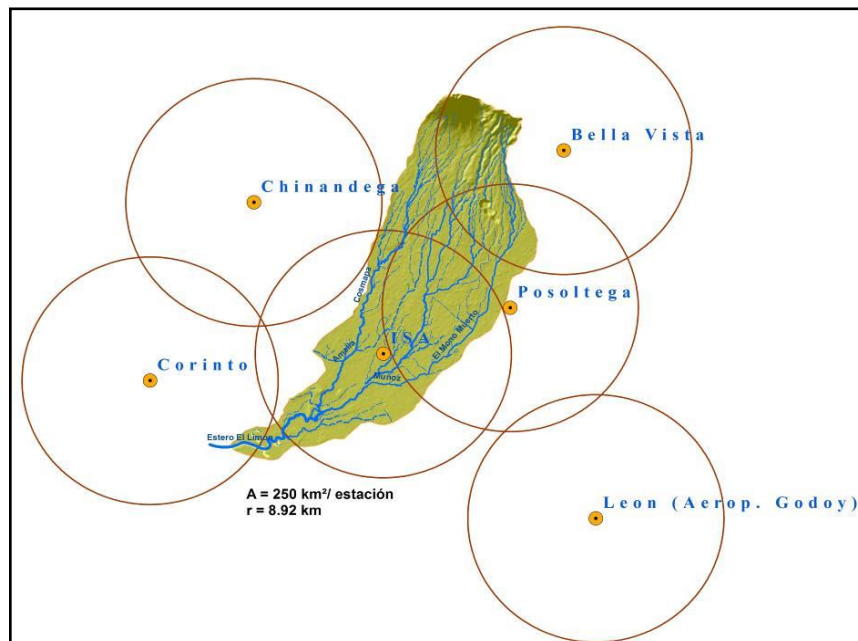
No	Estación	P (mm)	(x- $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>
1	Chinandega	1,998	6,449
2	Bella Vista	2,359	194,224
3	Corinto	1,823	9,055
4	Posoltega	1,903	214
5	León (AG)	1,604	98,465

No	Estación	P (mm)	(x- $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>
6	ISA	1,820	9,490
n	6	$\Sigma$	317,899
Media aritmética ( $\bar{x}$ )			1,918
Desviación estándar ( $\sigma$ )			252
Varianza (VAR)			63579
Coeficiente Variación (Cv)			13
Número (N)			4.8

Fuente: Fattorelli S, Fernández P. (2011)

Como resultado de este análisis, se obtuvo un valor de 5 estaciones. Cabe señalar que el número estimado de estaciones existentes es aceptable, no obstante, hay que considerar que las estaciones: Bellas Vista, Posoltega e ISA no registran datos de hace más de 10 años.

Figura 23. **Distribución espacial de las estaciones en la cuenca**



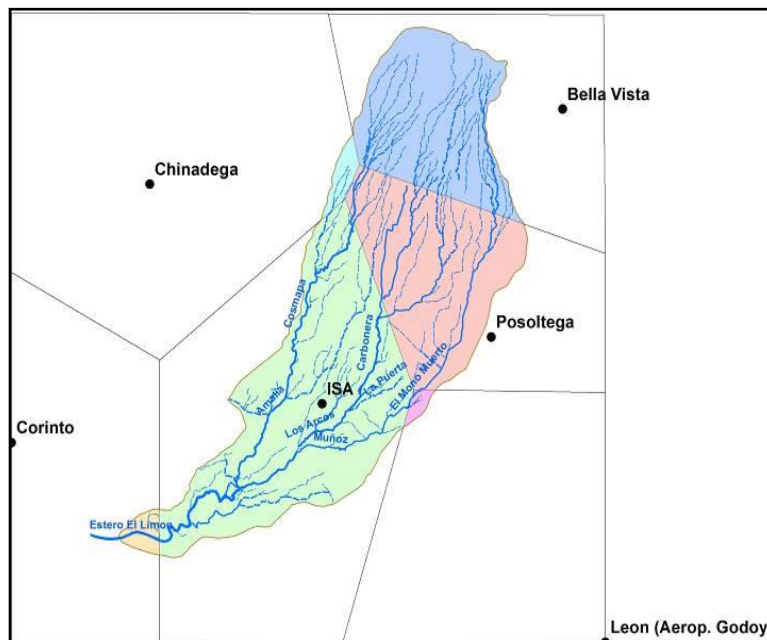
Fuente: edición propia, con base de datos de INETER, 2016.

### 3.1.6.3. Precipitación

Considerando las seis estaciones antes mencionadas, se procedió al análisis de los datos registrados en cada estación, con series desde 1966 a 2015. Cabe señalar que debido a vacíos de registros en algunas estaciones, se aplicó tratamiento estadísticos, entre ellos: promedio aritmético y método U.S Weather Bureau of National Weather Service, este último útil para el tratamiento de datos de precipitación. Este método se aplica en base a los datos de estaciones circundantes, pudiéndose trabajar con datos diarios, mensuales o anuales faltantes. (Caguana & Yugar, 2009).

Con base a las estaciones, se construyeron polígonos de Thiessen para determinar la precipitación media de la unidad hidrográfica río Sucio. (Figura 24).

Figura 24. **Polígonos de Thiessen aplicados en la unidad hidrográfica**



Fuente: elaboración propia, con el apoyo de herramientas SIG.

La precipitación anual por estación se refleja en la tabla XXV. Con base a la ubicación geográfica de cada estación, se construyeron los polígonos, se calculó el área para cada estación y se ponderó respecto al tamaño total de la unidad hidrográfica río Sucio.

**Tabla XXV. Precipitación media mensual por estaciones con influencia en la cuenca**

Estación	Meses												Total	Área Km <sup>2</sup>	Fac Pond
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
Chinandega	1	1	9	25	274	324	199	265	422	394	73	12	1999	3.32	0.01
Bella Vista	1	1	8	35	266	353	221	292	492	403	189	6	2268	52.91	0.24
Corinto	1	2	5	21	263	284	174	243	403	346	73	10	1823	3.27	0.01
Posoltega	3	0	1	7	357	255	136	290	431	366	93	16	1955	61.30	0.27
León (A.G)	2	1	4	26	230	210	114	192	406	327	86	6	1605	1.44	0.01
ISA	1	1	4	11	216	307	223	251	367	343	92	5	1821	102.61	0.46
														<b>224.85</b>	<b>1</b>

Fuente: elaboración propia, con base a datos de precipitación suministrados por INETER, 2015.

Con la aplicación de los polígonos y el área de influencia, se estimó un factor de ponderación por estación para determinar la precipitación media en la unidad hidrográfica río Sucio. (Tabla XXVI).

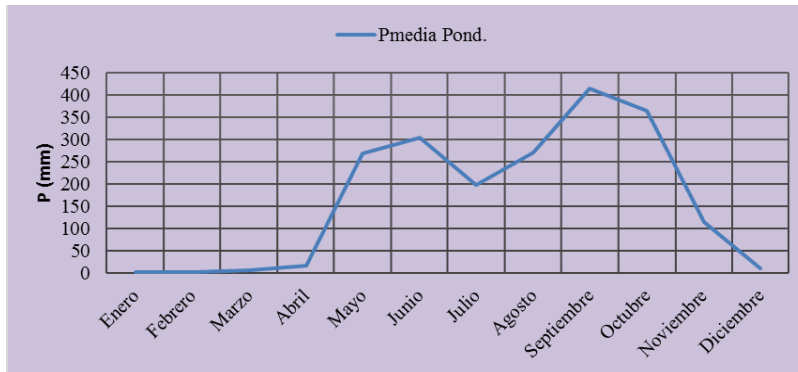
**Tabla XXVI. Precipitación media ponderada de la cuenca,**

Estación	Meses												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Chinandega	0	0	0	0	4	5	3	4	6	6	1	0	30
Bella Vista	0	0	2	8	63	83	52	69	116	95	45	1	534
Corinto	0	0	0	0	4	4	3	4	6	5	1	0	27
Posoltega	1	0	0	2	97	70	37	79	118	100	25	4	533
León (A.G)	0	0	0	0	1	1	1	1	3	2	1	0	10
ISA	0	0	2	5	99	140	102	114	167	157	42	2	831
<b>Pmedia Pond.</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>268</b>	<b>303</b>	<b>197</b>	<b>271</b>	<b>415</b>	<b>364</b>	<b>114</b>	<b>9</b>	<b>1,964</b>

Fuente: elaboración propia.

Se determinó que la precipitación media de la cuenca es de 1,964 mm anuales. (Figura 25).

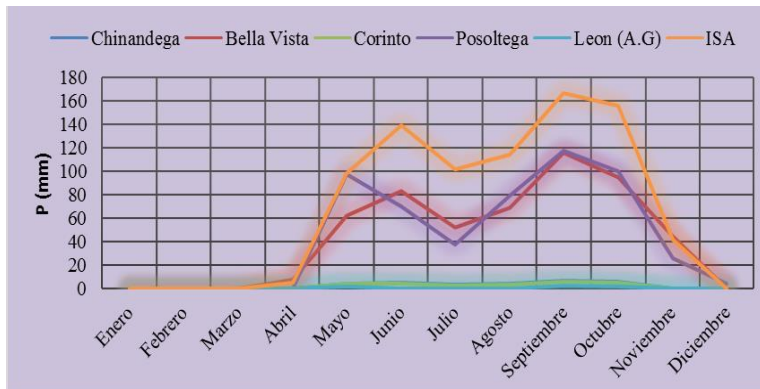
Figura 25. **Precipitación media de la cuenca**



Fuente: elaboración propia.

En el comportamiento mensual, las precipitaciones media ponderada presentan los picos más altos en los meses de junio, septiembre y octubre. Este comportamiento también se puede apreciar en las diferentes estaciones con influencia en la cuenca. (Figura 26).

Figura 26. **Precipitación media ponderada por estación en la cuenca**



Fuente: elaboración propia.

A partir de noviembre, las precipitaciones tienden a reducir hasta alcanzar los valores más bajas o casi nulos del año, lo que ocurre en los meses de marzo y abril. Cabe señalar que para el período del 15 de julio al 15 de agosto, puede apreciarse una disminución significativa de las precipitaciones, y es debido a la presencia del período canicular.

### 3.1.6.4. Temperatura

De seis estaciones que tienen más influencia en la unidad hidrográfica río Sucio, únicamente cuatro estaciones tienen registro de temperatura, entre ellas: Chinandega, Corinto, Ingenio San Antonio (ISA) y León (A.G). (Tabla XXVII). Algunas estaciones tenían datos faltantes (menos del 10 %) y para ajustar dichos datos, se empleó el método estadístico media aritmética.

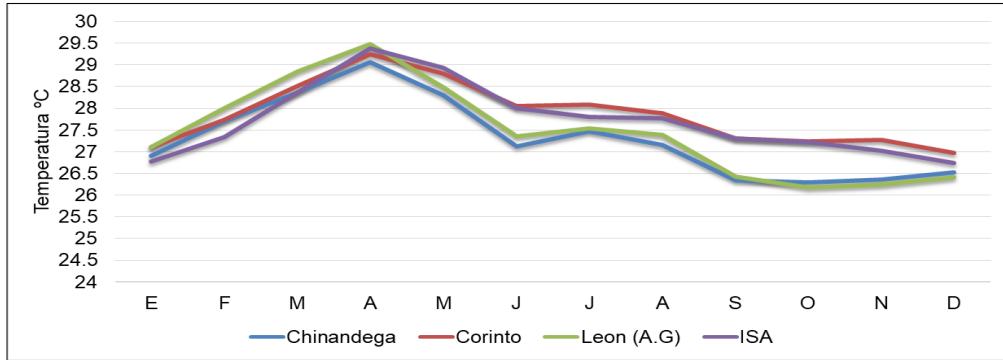
Tabla XXVII. Registro de temperaturas de estaciones en la cuenca

Estacion	Periodo	Meses												Promedio
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Chinandega	1966-2015	26.90	27.70	28.36	29.07	28.30	27.12	27.46	27.15	26.34	26.29	26.37	26.53	27.30
Corinto	1971-2015	27.11	27.73	28.51	29.25	28.80	28.05	28.08	27.89	27.30	27.23	27.28	26.97	27.85
Leon (A.G)	1974-2015	27.10	28.01	28.85	29.48	28.49	27.35	27.54	27.39	26.43	26.18	26.25	26.42	27.46
ISA	1967-1990	26.77	27.34	28.37	29.37	28.93	28.01	27.80	27.77	27.30	27.22	27.02	26.74	27.73
<b>Promedio</b>														27.58

Fuente: elaboración propia, con base a datos meteorológicos INETER, 2015.

Todas las estaciones evaluadas presentan un comportamiento lógico similar, con las temperaturas más altas en el mes de abril y las mínimas en el mes de diciembre y enero. (Figura 27).

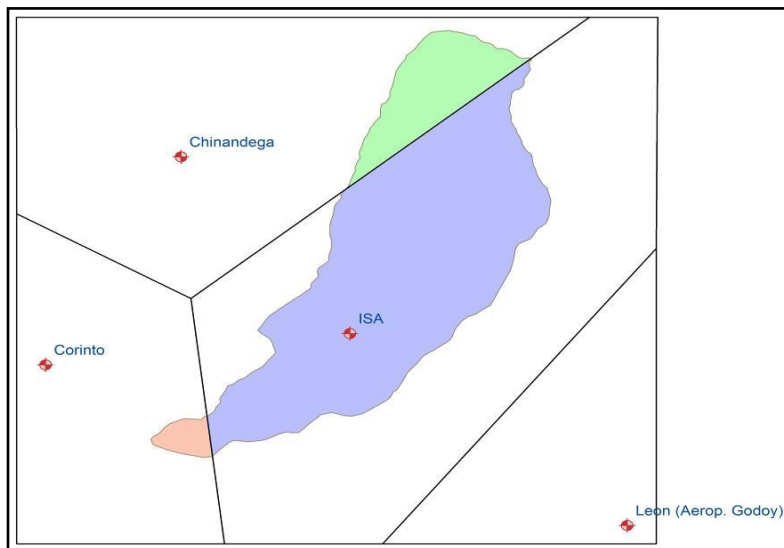
Figura 27. **Comportamiento de la temperatura en la zona de la cuenca**



Fuente: elaboración propia.

Para la determinación de la temperatura media de la cuenca, al igual que en la variable de precipitación, fue utilizado los polígonos de Thiessen. Cabe señalar que la estación de León, por su ubicación geográfica, queda fuera del área considerada. (Figura 28).

Figura 28. **Polígonos de Thiessen para diferentes estaciones**



Fuente: elaboración propia, con el apoyo de herramientas de SIG.

Una vez calculada el área de los polígonos con influencia en la cuenca, fue ponderado respecto al área total de la unidad hidrográfica, obteniendo así la temperatura media, máxima y mínima de la cuenca. (Tabla XXVIII).

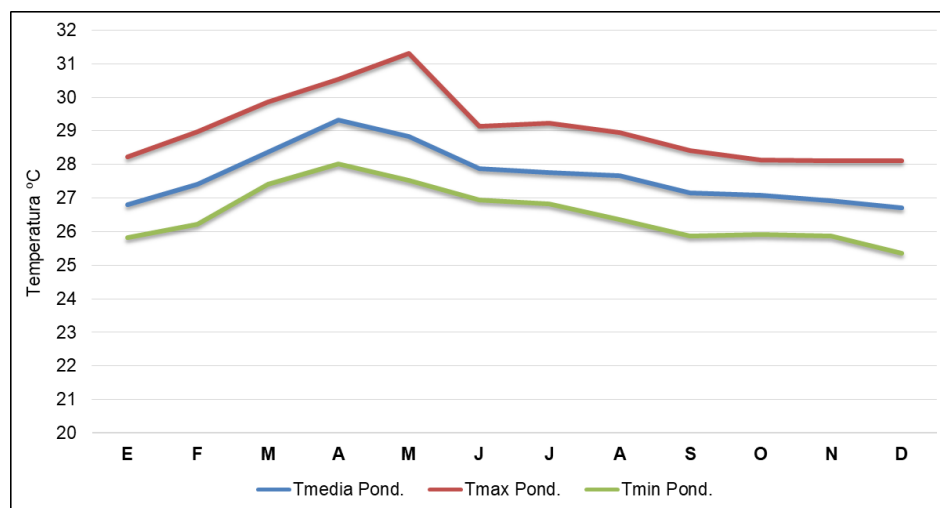
Tabla XXVIII. **Comportamiento de la temperatura 1966-2015.**

Estación	Área Km <sup>2</sup>	Fac Pond	Meses												Promedio
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Chinandega	34.18	0.15	4.1	4.2	4.3	4.4	4.3	4.1	4.2	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.2
Corinto	5.90	0.03	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
León (A.G)	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ISA	184.77	0.82	22.0	22.5	23.3	24.1	23.8	23.0	22.8	22.8	22.4	22.4	22.2	22.0	22.8
T media Pond.	224.85	1	26.8	27.4	28.4	29.3	28.8	27.9	27.8	27.7	27.2	27.1	26.9	26.7	27.6
T max Pond.			28.2	29.0	29.9	30.6	31.3	29.1	29.2	28.9	28.4	28.1	28.1	28.1	29.1
T min Pond.			25.8	26.2	27.4	28.0	27.5	26.9	26.8	26.4	25.9	25.9	25.9	25.4	26.5

Fuente: elaboración propia, con base a datos de INETER 2015.

Con el análisis, se determina que la temperatura media de la unidad hidrográfica río Sucio es de 27.66 °C. (Figura 29).

Figura 29. **Temperatura media ponderada de la cuenca**



Fuente: elaboración propia.



Las temperaturas picos se dan entre marzo y abril, siendo las máxima de 29.09 °C. Las temperaturas mínimas van presentándose a partir de mayo por la entrada del invierno hasta llegar a diciembre, este último con el valor más bajo del año con 26.51 °C; luego, en el mes de enero vuelven a incrementarse hasta llegar a las máximas en abril.

### 3.1.6.5. Evapotranspiración

La evapotranspiración se puede estimar por varios métodos, entre ellos: Hargreaves, Thornthwaite, Turc, entre otros, en el análisis de la ETP para la unidad Hidrográfica río Sucio se utilizó la fórmula de Thornthwaite, debido que es uno de los más utilizados en hidrología.

Tabla XXIX. Cálculo de la evapotranspiración

Meses	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Días mes	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00
Temperatura °C	28.83	27.88	27.76	27.68	27.15	27.08	26.93
Índice Térmico (i)	14.19	13.48	13.40	13.34	12.96	12.90	12.79
ETP sin corregir	184.43	160.31	157.51	155.62	143.80	142.12	138.83
Horas de sol Latitud 12°	1.06	1.07	1.06	1.04	1.01	0.98	0.96
Evapotranspiración potencial (ETP) mm	195.20	171.68	167.37	162.12	145.60	139.75	133.04

Mes	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
Días mes	31.00	31.00	28.25	31.00	30.00	365.00
Temperatura °C	26.72	26.80	27.40	28.38	29.32	27.66
Índice Térmico (i)	12.64	12.70	13.14	13.85	14.56	159.97
ETP sin corregir	134.38	136.13	149.29	172.60	197.78	1,872.82
Horas de sol Latitud 12°	0.95	0.95	0.97	1.00	1.03	
Evapotranspiración potencial (ETP) mm	127.09	129.88	145.55	172.60	204.39	1,894

Fuente: elaboración propia.

Como resultado del análisis, se obtiene que la evapotranspiración de la unidad hidrográfica río Sucio es de 1,894 mm anuales.

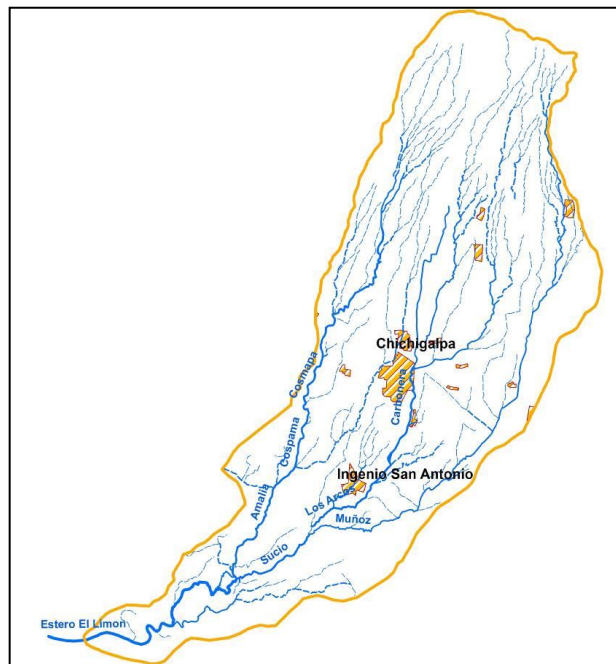
## 4. ESTADO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

### 4.1. Estado cuantitativo

#### 4.1.1. Agua superficial

El agua superficial de la unidad hidrográfica río Sucio está representado principalmente por ríos y su red tributaria, derivaciones hacia pequeñas presas y canales de riego. La mayoría de los cauces son intermitentes y efímeros. La longitud del río principal es de 37.41 km, la densidad de drenaje es de 1.71 km/km<sup>2</sup> y la frecuencia de ríos es de 0.88 ríos/km<sup>2</sup>. (Figura 30).

Figura 30. Red de drenaje de la cuenca



Fuente: elaboración propia, con base a hojas topográfica de INETER, 2004.

Basado en la clasificación morfológica de redes de drenajes (Gregory y Willing, 1973), en la unidad hidrográfica río Sucio se puede observar patrones de drenaje de tipo detrítico y paralelo.

Entre los ríos principales de la unidad hidrográfica sobresalen: el río Sucio, Amalia, Cosmapa, Carbonera y Los Arcos. La mayor parte de los ríos de la cuenca se considera efluentes o ganadores, es decir, recibe volumen líquido del acuífero. Esta aseveración es confirmada en el estudio hidrológico e hidrogeológico realizado por la empresa Quenca Consulting Group, S.A, en la cuenca 64 en el año 2013, en ese estudio se realizó análisis de relación entre el acuífero y los ríos en la zona de la unidad hidrográfica río Sucio, se hizo un total de 11 pruebas en los sitios siguientes: Cospapa, Muñoz, Amalia, Silvania, Carbonera, Culequera, entre otros; como resultado se obtuvo que los niveles de los ríos están por debajo del nivel del agua subterránea, catalogándose como ríos efluentes, de estos se exceptúa el río Cusmapa que resultó ser influente, es decir, que aporta agua al acuífero, esto puede deberse a que el río se encuentra rumbo a la zona alta de la cuenca donde los niveles freáticos están más profundos respecto a la superficie.

#### **4.1.1.1. Estimación de caudales**

Una gran limitante respecto a este tema, es la ausencia de estaciones hidrométricas, esto ha impedido el monitoreo de los caudales de la unidad hidrográfica.

Algunos estudios como el de Aguilar y Amador (1998), mencionan la realización de aforos en el período comprendido de 1980 a 1996 en el río Amalia, principal tributario del río Sucio, obteniendo un promedio de 3.4 m<sup>3</sup>/s, con una

variación de 0.91 m<sup>3</sup>/s en época seca y 9.38 m<sup>3</sup>/s en época lluviosa, los caudales mayores se dieron entre agosto y octubre.

La empresa Quenca Consulting Group, S.A, en el estudio hidrológico e hidrogeológico de la cuenca 64 (Entre volcán Cosigüina y río Tamarindo) realizó aforos entre los meses de marzo a mayo en 2013, en sitios como: río Muñoz, Amalia, Cosmapa y Carbonera. (Tabla XXX).

**Tabla XXX. Aforos en ríos principales de la cuenca en 2013**

No	Sitios	Coordenadas		Q (m <sup>3</sup> /s)
		Este	Norte	
1	Río Muñoz	494975	1383374	0.07
2	Río Amalia	490216	1382247	0.06
3	Río Cosmapa (aguas abajo)	493805	1391110	0.74
4	Río Carbonera	496949	1386874	0.24

Fuente: Quenca Consulting Group, S.A, 2013).

Como resultado, se tuvo que en ese año y en ese período el caudal del río Amalia fue de 0.06 m<sup>3</sup>/s, considerándose como el caudal de estiaje, mismo que anda por debajo del mínimo estimado en el período de 1980 a 1996 (0.91 m<sup>3</sup>/s).

En la etapa de investigación del presente estudio, se realizó aforos en los principales cauces de la cuenca con el propósito de determinar la descarga de la unidad hidrográfica del río Sucio. La práctica se desarrolló entre el 16 de diciembre de 2016 y 18 de enero de 2017. Hay que destacar que los meses evaluados quizá no son los más secos del año, pero puede ser significativo al considerar que en la región se han presenciado más de tres años consecutivos de sequía en casi todo el año; por ejemplo, en el período de 2012 – 2015 en la estación más cercana (Chinandega) las precipitaciones fueron de 1,556 a 1,942

mm/año comparado con el período de 2009 a 2012 que presentó precipitaciones de 1,558 a 3,179 mm/anuales.

Para evaluar la descarga, se evaluaron seis ríos principales, entre ellos: Cosmapa, Cuitanca y Carbonera; que se origina en la parte alta y media de la cuenca, y los ríos Amalia, Muñoz, Sucio y Jordán; que se originan en la parte media y baja de la cuenca. (Tabla XXXI, anexo 11).

**Tabla XXXI. Aforo de ríos principales de la cuenca 2016 - 2017**

No	Sitios secundarios	Coordenadas		Q (m <sup>3</sup> /s)	Ríos primarios	Q (m <sup>3</sup> /s)
		Este	Norte			
1	Cosmapa	492712	1386145	0.04	Amalia	0.05
2	Cuitanca	492674	1385855	0.01		
3	ISA	494250	1384256	1.51	Los Arcos	1.56
4	Carbonera aguas abajo	494337	1384190	0.06		
5	Río Muñoz	495162	1383342	0.53	Sucio	2.09
6	Río Jordán	489881	1380077	0.23	Jordán	0.23
Total descarga						2.36

Fuente: elaboración propia.

Para entender la suma de caudales se precisa lo siguiente: el río Cosmapa más Cuitanca forman el río Amalia, con caudales de 0.04 m<sup>3</sup>/s. El río ISA más Carbonero forma el río Los Arcos que sumado a la vez con el río Muñoz forman el río Sucio, con un caudal de 2.09 m<sup>3</sup>/s. La suma total de la descarga de la cuenca se obtiene mediante la suma del río Amalia, Sucio y el río Jordán obteniendo un total de 2.36 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.1.1.2. Balance hídrico superficial

El balance hídrico de la unidad hidrográfica río Sucio, se realizó aplicando el método directo propuesto por Thornthwaite (1948). El método utiliza las variables de: precipitación (P), evapotranspiración potencial (ETP), diferencia de P y ETP, reserva, variación de la reserva, evapotranspiración real (ETR), déficit o falta, exceso o esorrentía. La diferencia entre P-ETP es el balance mensual de entradas y salidas potenciales del agua del suelo, clasificando los meses secos ( $P-ETP < 0$ ) y húmedos ( $P-ETP > 0$ ). La reserva (R), representan el sobrante de que pasa a engrosar las reservas del suelo ( $P > ETP$ ), reduciéndose por el contrario cuando las salidas sean mayores que las entradas. Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el período húmedo según los incrementos de  $P-ETP > 0$ , y disminuirán al llegar el período seco decreciendo mes a mes, según los valores mensuales  $P-ETP < 0$ .

Como referencia de la capacidad de almacenamiento o humedad, se empleó lo sugerido por Thornthwaite y Mather, 1955, los que dieron valores de reserva máxima entre 50 y 400 mm. Thornthwaite (1948), en su clasificación climática, utilizó como referencia la reserva de 100 mm, y Turc, en su índice de productividad agrícola emplea una reserva de 100 mm.

La variación de la reserva (VR) representa la diferencia entre la reserva del mes en el que se está realizando el cálculo y la reserva del mes anterior. La evapotranspiración real (ETR) será la capacidad potencial de evapotranspirar la ETP siempre que haya agua disponible. La ETP es siempre mayor o igual a la ETR. En el período húmedo ETR es igual a la potencial. En el período seco, el agua que se evapora será el agua de precipitación, más la variación de la reserva, es decir,  $ETR = P + VR$ .

La falta de agua o déficit (F), es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar), es decir,  $F = ETP - ETR$ . El exceso de agua (Ex), será el agua que sobra de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda, es decir  $Ex = P - ETP - VR$ . El exceso de agua se dirigirá hacia los flujos de aguas freáticas y los ríos. Thornthwaite propuso que el 50 % del excedente de agua de un mes se escurra hacia los ríos durante el mes en cuestión y el resto se infiltra hacia las capas profundas.

Habiendo discutido la lógica del balance hídrico y considerando el año hidrológico de mayo a abril, se procedió a estimar las variables para la unidad hidrográfica río Sucio. (Tabla XXXII).

**Tabla XXXII. Balance hídrico de la unidad hidrográfica río Sucio**

Mes	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Total
Precipitación (mm)	267.96	302.89	197.26	270.74	415.42	364.17	114.48	8.56	1.64	0.60	4.45	15.91	1,964
Evapotranspiración potencial (ETP) mm	195.20	171.68	167.37	162.12	145.60	139.75	133.04	127.09	129.88	145.55	172.60	204.39	1,894
P-ETP	72.77	131.20	29.89	108.62	269.81	224.42	-18.56	-118.53	-128.24	-144.95	-168.15	-188.48	
ETR (mm)	195.20	171.68	167.37	162.12	145.60	139.75	133.04	89.99	1.64	0.60	4.45	15.91	1,227
Almacenamiento Disponible (mm)	72.77	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	81.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	654
Variación del almacenamiento ( $\Delta A$ )	-72.77	27.23	0.00	0.00	0.00	0.00	18.56	81.44	0.00	0.00	0.00	0.00	54
Déficit	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.09	128.24	144.95	168.15	188.48	667
Excedentes (mm)	0.00	103.97	29.89	108.62	269.81	224.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	737
1/2 Excedente (mm)	0.00	51.98	14.95	54.31	134.91	112.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	368
1/2 Escorrentía del mes anterior	1.55	0.00	25.99	20.47	37.39	86.15	99.18	49.59	24.79	12.40	6.20	3.10	
Escorrentía (mm/mes)	1.55	51.98	40.94	74.78	172.30	198.36	99.18	49.59	24.79	12.40	6.20	3.10	735
Caudal $Mm^3/mes$	0.30	11.70	9.20	16.80	38.70	44.60	22.30	11.20	5.60	2.80	1.40	0.70	165

Fuente: elaboración propia.

Una forma de comprobar si el balance hídrico está correcto, es relacionando la precipitación con la ETR y la excedencia, y el déficit con la ETP y ETR. Si ambas relaciones coinciden puede decirse que el procedimiento fue exitoso. (Tabla XXXIII).

Tabla XXXIII. Efectividad de la aplicación del balance hídrico

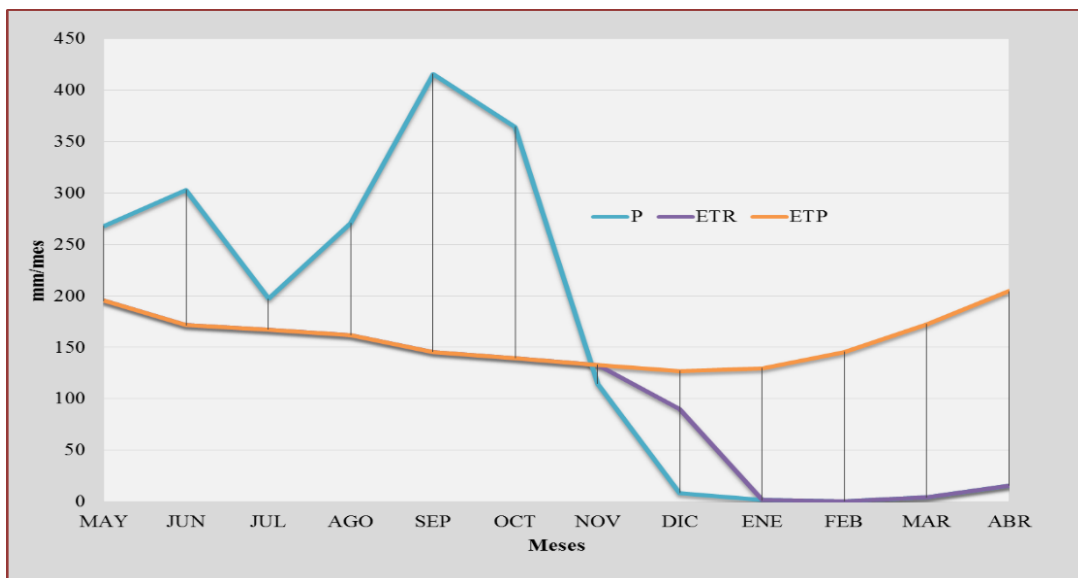
$\Sigma \text{PREC} =$	$\Sigma \text{ETR} +$ $\Sigma \text{EXCEDENTES}$
1,964	1,964
$\Sigma \text{ETP} - \Sigma \text{ETR}$	$\Sigma \text{DEFICIT}$
=	
667	667

Fuente: elaboración propia.

Como resultado se obtuvo que el balance hídrico fue bien estimado.

El balance hídrico se puede interpretar por medio de un diagrama, el cual proporciona información sobre la cantidad en exceso o déficit de agua disponible en el suelo durante las diferentes estaciones. (Figura 31).

Figura 31. Diagrama del balance hídrico



Fuente: elaboración propia.



Cuando la precipitación supera a la evapotranspiración mensual, el cual se da en la época lluviosa, hay exceso de agua, que inicialmente se considera como agua acumulada en el suelo, pero que acaba por sobrar formando parte de la escorrentía superficial.

En los meses de la época seca, aunque la precipitación es inferior a la evapotranspiración real, se produce un pequeño déficit de agua en el suelo, pues la vegetación usa la que todavía esta acumulada en el mismo, y la consume en marzo.

A partir de enero el suelo no tiene agua suficiente, produciéndose un déficit que perdura hasta la llegada de la época lluviosa en mayo, donde se recarga de nuevo el suelo de humedad y la evapotranspiración real se iguala a la potencial, momento en el que vuelve a producirse un exceso de agua.

Basado en el balance hídrico, se determina que la escorrentía en la cuenca es de 165 Mm<sup>3</sup> (Millones de metros cúbicos) anuales. En la época seca, de noviembre a abril la escorrentía están en el rango 0.7 a 22.3 Mm<sup>3</sup> anuales, siendo el valor máximo para el mes de noviembre (22.3 Mm<sup>3</sup>), debido a que recibe caudales del mes lluvioso anterior. En la época lluviosa de mayo a octubre, la escorrentía se estima de 0.3 a 44.6 Mm<sup>3</sup>, siendo el mes de mayor drenaje octubre, mayo en este caso, presenta caudales bajos debido a que el mes antecesor es abril, catalogado como el mes más seco.

Cabe señalar que en la estimación de escorrentía desarrollada en el presente estudio, a partir de los aforos realizados en los mes de diciembre 2016 a enero de 2017, se obtuvo un caudal de 2.36 m<sup>3</sup>/s, valor que está dentro del rango de la escorrentía calculada en el balance hídrico, donde se estimó valores entre 2.15 a 4.30 m<sup>3</sup>/s para los meses de enero a diciembre.

## **4.1.2. Aguas subterráneas**

### **4.1.2.1. Descripción del acuífero**

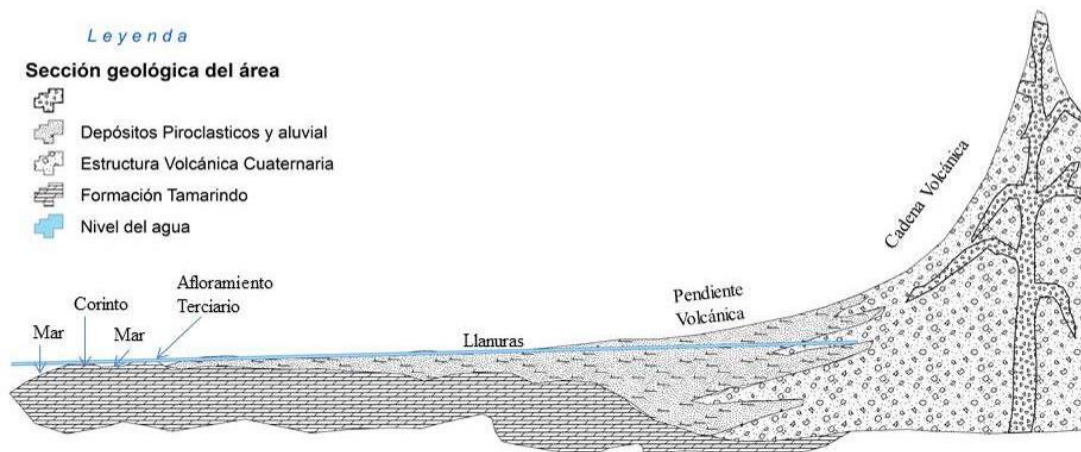
El agua subterránea en su mayor parte escurre desde las faldas volcánicas hacia el mar, condicionado por la forma de la superficie freática, la que tiene una disposición general similar a la superficie del terreno, ambas con pendientes en dirección al mar hacia donde convergen. Estos rasgos son característicos de acuíferos no confinados o libres, Naciones Unidas (1971) y mencionado por Cáceres (2005).

Los materiales del relleno de la planicie con mayor capacidad de almacenamiento se encuentran en la parte superior de la superficie terrestre, descendiendo esta capacidad en los materiales que se encuentran hacia la costa Naciones Unidas (1971).

El agua subterránea de la zona consiste de una mezcla de agua recargada en la cadena volcánica por la infiltración directa de las precipitaciones y agua subterránea recargada en la planicie por la infiltración del exceso de agua en terrenos sometidos a riego. Naciones Unidas (1971), Corriols (2003) y mencionado por Cáceres (2005).

El Grupo Las Sierras y los yacimientos aluviales, se han declarado como las unidades permeables del acuífero, y la Formación Tamarindo es el sótano impermeable del acuífero (Figura 32).

Figura 32. Perfil geológico de la cuenca



Fuente: Naciones Unidas, 1974, mencionado por Corriols, 2003.

Las transmisividad del acuífero en la zona, presenta los valores más altos en comparación con otras zonas de Nicaragua, principalmente en las áreas circundantes a los centros volcánicos de San Cristóbal y Casita, con índices de transmisividad de alto a muy alto (Krásný y Hecht, 1998).

La formación Tamarindo, por su baja permeabilidad, constituye el límite hidrogeológico, o el basamento del agua subterránea del área donde se retiene el agua que infiltra en la zona alta o zona de mayor recarga, la cual está rellena mayormente por depósitos cuaternarios aluvionales y piroclastos recientes no consolidados y, en menor grado, por flujos piroclásticos del Grupo Las Sierras. La formación Tamarindo, además actúa en la zona costera como barrera al movimiento del agua subterránea hacia el mar. Naciones Unidas (1971) e INETER/MAGFOR (2000) y mencionado por Cáceres (2005).

El basamento hidrogeológicamente impermeable como lecho del acuífero, está representado por las rocas ignimbríticas de la formación Tamarindo. La profundidad del mismo es mínima en zonas cercanas a la zona de manglares y

máxima en la zona de la cadena volcánica, hacia donde se dirige su buzamiento, guardando una cierta perpendicularidad con la costa.

#### 4.1.2.2. Superficie freática del agua subterránea

La profundidad al agua subterránea se define como la distancia entre la superficie del terreno y el nivel de agua subterránea (superficie freática). En términos generales, la profundidad al agua subterránea es mínima en las zonas costeras y aumenta gradualmente en dirección a la cadena volcánica, lo cual obedece principalmente al efecto topográfico. (Anexo 12).

En la unidad hidrográfica del río Sucio se monitorearon 72 pozos, estos se encuentran distribuido en casi toda la cuenca. (Tabla XXXIV). Las fuentes de información para la obtención de los datos fueron: base de datos del Sistema de Información Nacional de los Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (SiAgua, 2008-2015), inventario realizado en el estudio hidrogeológico e hidrogeológico de la cuenca 64 (marzo a mayo 2013) e información generada en campo en el presente estudios (2017). La mayoría de mediciones fueron realizadas en época seca (No lluviosa).

Tabla XXXIV. **Monitoreo de pozos en la cuenca**

No	Nombre	Coordenadas		Altura (msnm)	NEA (m)	NP (m)
		Este	Norte			
1	Sirama Norte	498702	1391349	118	115	3
2	Pozo 3	500827	1397521	333	101.47	231.53
3	Lateral Tres Ríos	492800	1383030	22	5.13	16.87
4	Goteo Bernard	495314	1384297	33	9.56	23.44
5	San Alejandro	494179	1384909	30	5.72	24.28
6	Martirio 1	493823	1385824	33	8.15	24.85
7	Monte Verde 1	499181	1386025	55	3.89	51.11

No	Nombre	Coordenadas		Altura (msnm)	NEA (m)	NP (m)
		Este	Norte			
8	San Luis Laboratorio	492407	1386519	34	8.02	25.98
9	Bananera #5	493424	1386659	37	6.72	30.28
10	San Luis Lago	492470	1387460	39	4.44	34.56
11	Adela centro 1	495887	1387709	53	6.06	46.94
12	San Pedro 2	492998	1388911	52	4.73	47.27
13	Goteo Amalia	490676	1385147	25	2.54	22.46
14	El Piñal	494833	1382622	26	3.68	22.32
15	Muñoz Lago	495631	1383056	28	3.48	24.52
16	América	495193	1381706	29	1.71	27.29
17	Silvania 7	495682	1380989	26	1.88	24.12
18	Silvania 6	496303	1381288	29	3.45	25.55
19	Mexicano	498104	1387884	64	9.1	54.9
20	Tihuilote	497078	1388417	64	8.68	55.32
21	Los Mangos	496321	1387389	51	4.48	46.52
22	Cachacera	496588	1388527	65	7.24	57.76
23	Adela Centro 4	495366	1387555	49	4.16	44.84
24	Adela Centro 3	495556	1387259	48	9.65	38.35
25	Adela Centro 2	495256	1386790	44	3.92	40.08
26	Adela Curva	494924	1386160	40	4	36
27	Carbonera	496451	1386340	41	7.14	33.86
28	Zapatera	494463	1386669	41	7.4	33.6
29	Bananera 3	493804	1386658	38	6.07	31.93
30	Martirio 2	493390	1386043	34	6.3	27.7
31	Delicia - Delicitas	493926	1387268	42	3.96	38.04
32	Delicia Potrero	494816	1388196	52	5.95	46.05
33	Delicia J Real	494558	1388884	59	6	53
34	Pivote Santa Fe	493777	1389159	55	5.8	49.2
35	Santa Fe 1	494317	1389619	64	5.05	58.95
36	San Fernando 4	494695	1390958	79	7.68	71.32
37	San Juancito	495202	1390982	84	8.86	75.14
38	San Pedro 1	493035	1389556	56	6.18	49.82
39	Cutillas 2	492682	1388418	47	6.42	40.58
40	Cutillas 3	492941	1387856	43	6.97	36.03
41	Cutillas 1	491854	1387860	42	6.53	35.47
42	Goteo Trinidad 1	491127	1387326	39	4.24	34.76
43	Delicias Avanzadas	493740	1388291	45	3.56	41.44
44	Delicias Presa	493339	1387676	42	6.1	35.9

No	Nombre	Coordenadas		Altura (msnm)	NEA (m)	NP (m)
		Este	Norte			
45	Martirio 3	492915	1386339	34	5.75	28.25
46	Leona Norte	493970	1385493	31	4.82	26.18
47	Lateral Espinoza	493130	1385299	31	2.13	28.87
48	Goteo Rincón Grande	495433	1384778	34	9.74	24.26
49	Cepeda	495870	1384389	27	7.75	19.25
50	Goteo Muñoz Centro 1	496517	1382952	31	5.12	25.88
51	Monte verde 2	498796	1384781	46	8.22	37.78
52	Pellas 1	498009	1386065	49	8.48	40.52
53	Pellas 4	498125	1385338	46	2.82	43.18
54	Lateral Pellas 1	497493	1385527	42	5.3	36.7
55	Pellas 3	496750	1385146	38	5.48	32.52
56	Palacio Culequera	497706	1384246	42	3.86	38.14
57	Vivas	496311	1383963	33	5.48	27.52
58	Roberto Cruz	494500	1389400	61	4.84	56.16
59	Esparta Guanacastal	498406	1389049	78	6.83	71.17
60	Gasolinera Chichigalpa	497115	1392066	119	26.18	92.82
61	MABE Las Nubes	500131	1394874	222	98.95	123.05
62	San José del Tolar	502198	1391198	133	35.75	97.25
63	Valle Los Morenos	497674	1397456	256	90.24	165.76
64	Modesto Palama	496821	1390850	97	13.5	83.5
65	No. 8 Chichigalpa	496853	1392195	118	24.7	93.3
66	Chichigalpa	496977	1390878	98	13.72	84.28
67	Chichigalpa 1-09	496811	1390670	94	14.02	79.98
68	Santa Rosa	491886	1386470	30	4.76	25.24
69	No. 10 La Candelaria	496593	1388883	82	11.5	70.5
70	Finca Espinoza Sur	492486	1385163	28	6.41	21.59
71	Finca Bananera No. 5	493366	1386752	37	6.72	30.28
72	San Luis Granero	492887	1387147	33	4.54	28.46

Fuente: elaboración propia, con base a información de campo, base de datos ANA, estudio hídrico cuenca 64.

Dentro de la base de datos del SiAGUA/ANA, nueve pozos de lo evaluados presentan monitoreo de mediciones en invierno y verano en período de 2008 a 2015. (Tabla XXXV).

Tabla XXXV. **Monitoreo de NEA de sitios en época lluviosa y seca**

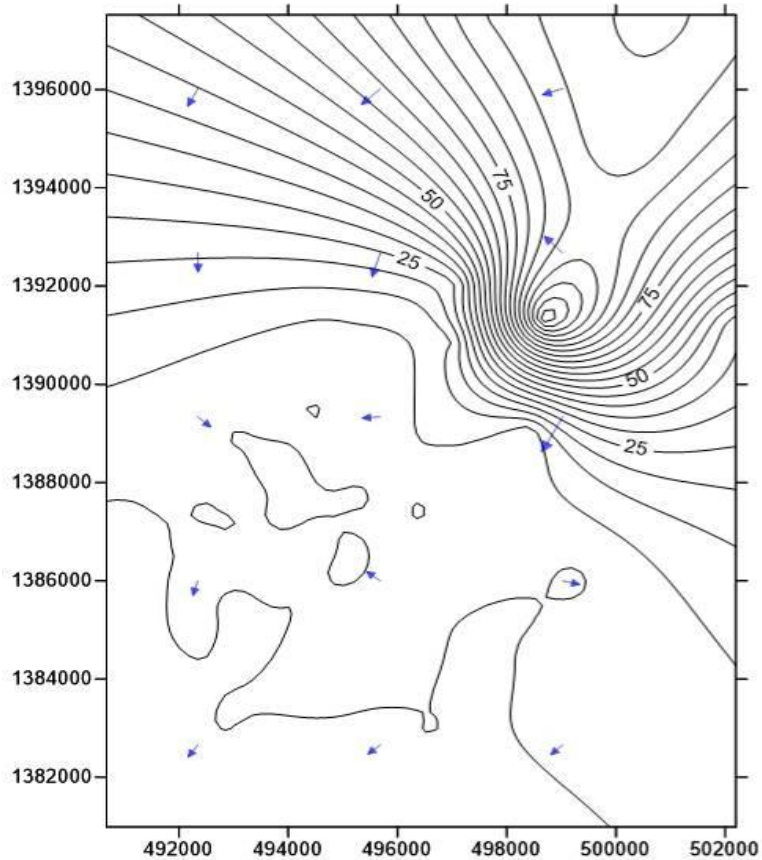
Sitios	Coordenadas		Época de medición	NEA (m)
	Este	Norte		
58	494500	1389400	Invierno	4.84
			Verano	6.32
59	498406	1389049	Invierno	6.83
			Verano	7.96
60	497115	1392066	Invierno	26.18
			Verano	27.7
61	500131	1394874	Invierno	98.95
			Verano	105.93
62	502198	1391198	Invierno	32.15
			Verano	35.75
63	497674	1397456	Invierno	90.24
			Verano	86.63
64	496821	1390850	Invierno	12.9
			Verano	13.5
65	496853	1392195	Invierno	24
			Verano	24.7
69	496593	1388883	Invierno	11
			Verano	11.5

Fuente: SiAgua-ANA, 2015.

Se estima que la variación entre época seca y lluviosa es un promedio de 2.23 m, no obstante, para determinar cuál es la variación de los niveles del acuífero en las diferentes épocas, se debería contar con el monitoreo de todos los pozos de la cuenca.

A partir de los datos de niveles estáticos (NEA) obtenidos, se procedió a interpolar dichos datos con herramientas Surfer 9 y ArcGis 9.3 para obtener el comportamiento en la cuenca. (Figura 33 y anexo 12).

Figura 33. **Niveles estáticos en la cuenca**



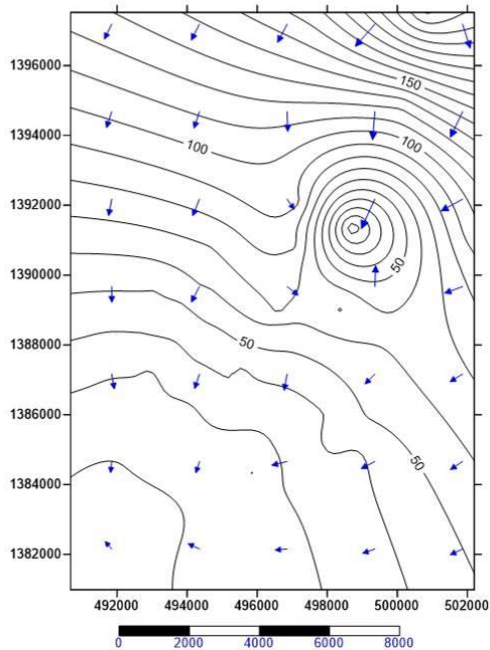
Fuente: elaboración propia, mediante el uso de Surfer 9.

Los niveles estáticos del agua (NEA) en la cuenca, varían de 1.71 a 101.47 m. De la parte media hacia aguas arriba pueden encontrarse profundidades del agua de 25 a más de 100 m; las comunidades en donde se encuentran los niveles más profundos, según el monitoreo de pozos, es en el Valle Los Morenos y Las Nubes, rumbo a las faldas del Volcán San Cristóbal.

Con los niveles estáticos y la altura sobre el nivel del mar de cada sitio evaluado, se obtuvo la piezometría de la cuenca. (Figura 34 y 35).

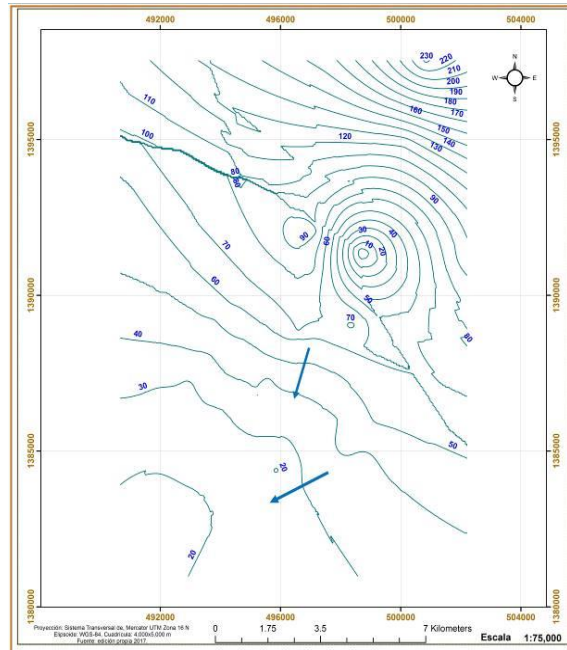


Figura 34. **Piezometría mediante uso de Surfer 9.**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Piezometría mediante el uso de ArcGis 10.3.**



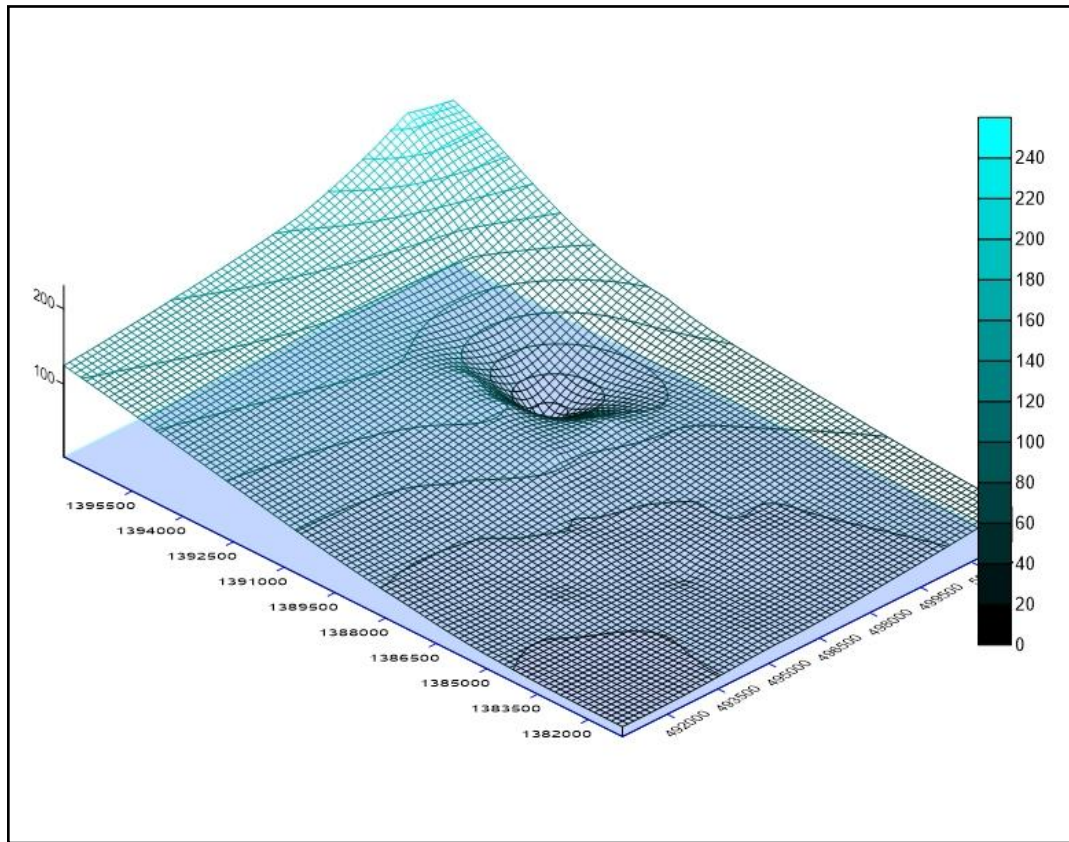
Fuente: elaboración propia.

Del análisis de ambas formas, se obtuvo resultados similares, y es evidente, debido a que ambos software utilizan un modelo geoestadístico.

Cabe señalar que a la altura de las coordenadas 498802E-1391445N, se observa una especie de depresión que hace que los niveles de agua desciendan, aun estando en la parte media y alta de la cuenca, no obstante, siguiendo aguas debajo de la cuenca, la línea de flujo continúa con normalidad hacia la zona de descarga de la cuenca, que es el océano pacífico.

Mediante una vista en 3D, puede apreciarse la depresión observada a partir de los niveles de agua subterráneos medidos. (Figura 36).

Figura 36. **Vista en 3D de los niveles piezométricos en la cuenca**



Fuente: elaboración propia, mediante el uso de Surfer 9.

La zona en donde se identifica la curva piezométrica con mayor valor, corresponde a la zona alta de la cuenca, cercana a las faltas del volcán San Cristóbal y Casitas hasta donde se midió el último pozo; luego, los niveles descienden a medida que el nivel topográfico disminuye rumbo a la zona de descarga de la cuenca.

### 4.1.2.3. Aspectos hidráulicos del acuífero

La distribución espacial de la transmisividad es heterogénea, la misma presenta cierta zonalidad. De una manera simplificada, se puede mencionar que las mayores transmisividades se localizan cerca de las zonas costeras, en las cuales varía entre 500 y 1,000 m<sup>2</sup>/día. El coeficiente de almacenamiento, es de 0.03 a 0.1 en la zona costera y aumenta entre 0.1 y 0.2 en la zona de Chichigalpa. (N.U, 1974), (Krasny, 1989), (Aguilar, 1998).

En el proceso de investigación y consulta de información en la cuenca, no se obtuvo suficientes datos sobre pruebas de bombeo que estuvieran sustentadas con sus respectivas memorias de cálculos y así determinar cada variable hidráulica de la cuenca. En el estudio hidrológico e hidrogeológico de la cuenca 64 elaborado para la empresa Nicaragua Sugar State, S.A, por parte de la consultora Quenca Consulting Group, S.A (2013), recopilaron y estimaron las siguientes variables hidráulicas en el río Sucio. (Tabla XXXVI).

Tabla XXXVI. **Variables hidráulicas**

No	Pozos	Q	Descensos	K	T		s	t		w(u)	u	S	R
		(m <sup>3</sup> /d)	(m)	(m <sup>3</sup> /d/m)	(m <sup>2</sup> /d)	(m <sup>2</sup> /h)	(m)	(d)	(h)				(m)
1	América	981.12	5.84	168	205	8.54	0.1	1	24	0.3	1	0	55.82
2	El Piñal	1,419.04	5.84	242.99	296.4	12.35	0.1	1	24	0.3	1	0	70.57
3	Goteo Muñoz	908.48	5.84	155.56	189.8	7.91	0.1	1	24	0.3	1	0	56.47
4	Lateral 3 ríos	1,984.16	5.84	339.75	414.5	17.27	0.1	1	24	0.3	1	0	83.45
5	Muñoz Lago	1,377.28	5.84	235.84	287.7	11.99	0.1	1	24	0.3	1	0	69.52
6	Palacios-Palacios	4,189.92	5.84	717.45	875.3	36.47	0.1	1	24	0.3	1	0	121.3
7	Vivas	1,635.28	5.84	280.01	341.6	14.23	0.1	1	24	0.3	1	0	75.76
8	Palacio Culeque.	1,531.68	5.84	262.27	320	13.33	0.1	1	24	0.3	1	0	73.32
9	Goteo Benard	2,434.72	5.84	416.9	508.6	21.19	0.1	1	24	0.3	1	0	92.44
10	Zepeda	2,547.36	5.84	436.19	532.2	22.17	0.1	1	24	0.3	1	0	94.55
11	Goteo Rincón G.	1,271.84	5.84	217.78	265.7	11.07	0.1	1	24	0.3	1	0	66.81

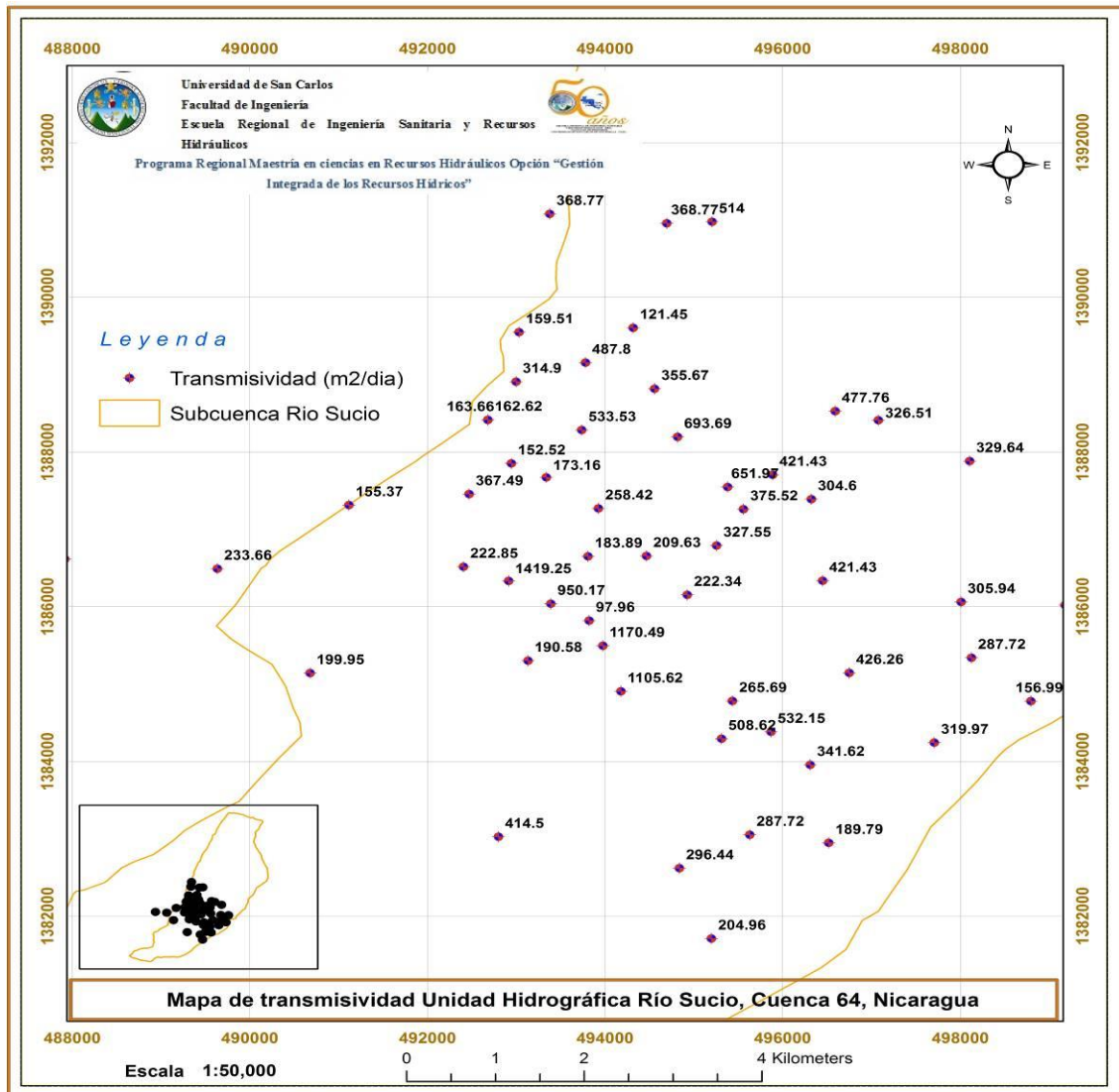
No	Pozos	Q	Descensos	K	T		s	t		w(u)	u	S	R
		(m <sup>3</sup> /d)	(m)	(m <sup>3</sup> /d/m)	(m <sup>2</sup> /d)	(m <sup>2</sup> /h)	(m)	(d)	(h)				(m)
12	Monte verde 2	1,486.24	11.55	128.68	157	6.54	0.1	1	24	0.1	1	0	51.36
13	San Alejandro	1,486.24	1.64	906.24	1106	46.07	0.1	1	24	0.9	1	0	136.3
14	Pellas 3	2,040.48	5.84	349.4	426.3	17.76	0.1	1	24	0.3	1	0	84.62
15	Goteo Amalia	1,271.84	7.76	163.9	200	8.33	0.1	1	24	0.2	1	0	57.96
16	Lateral Espinoza	2,071.36	13.26	156.21	190.6	7.94	0.1	1	24	0.1	1	0	56.58
17	Pellas 4	1,377.28	5.84	235.84	287.7	11.99	0.1	1	24	0.3	1	0	69.52
18	Leona Norte	1,573.44	1.64	959.41	1171	48.77	0.1	1	24	0.9	1	0	140.2
19	Lateral Pellas 1	2,507.44	5.84	429.36	523.8	21.83	0.1	1	24	0.3	1	0	93.81
20	Martirio 1	1,064.72	13.26	80.3	97.96	4.08	0.1	1	24	0.1	1	0	40.57
21	Monte verde 1	2,747.28	4.9	560.67	684	28.5	0	1	24	0.3	1	0	107.2
22	Martirio 2	1,277.28	1.64	778.83	950.2	39.59	0	1	24	0.9	1	0	126.3
23	Pellas 1	1,464.48	5.84	250.77	305.9	12.75	0	1	24	0.3	1	0	71.69
24	Adela Curva	2,416.56	13.3	182.24	222.3	9.26	0	1	24	0.1	1	0	61.12
25	Martirio 3	1,907.84	1.64	1,163.32	1419	59.14	0	1	24	0.9	1	0	154.4
26	Carbonera	1,468.08	4.25	345.43	421.4	17.56	0	1	24	0.4	1	0	84.14
27	Tesorero 1	1,486.24	7.76	191.53	233.7	9.74	0	1	24	0.2	1	0	62.65
28	Bananera 3 - LB	1,998.64	13.3	150.73	183.9	7.66	0	1	24	0.1	1	0	55.58
29	Zapatera	2,278.48	13.3	171.83	209.6	8.73	0	1	24	0.1	1	0	59.35
30	Tesorero 2	1,998.64	7.76	257.56	314.2	13.09	0	1	24	0.2	1	0	72.66
31	Adela Centro 2	1,141.04	4.25	268.48	327.6	13.65	0	1	24	0.4	1	0	74.18
32	San Luis Granero	1,377.28	7.54	182.66	222.9	9.29	0	1	24	0.2	1	0	61.19
33	Adela Centro 3	1,308.16	4.25	307.8	375.5	15.65	0	1	24	0.4	1	0	79.4
34	Delicias	1,597.12	7.54	211.82	258.4	10.77	0	1	24	0.2	1	0	66
35	Goteo Trinidad 1	1,090.16	8.56	127.36	155.4	6.47	0	1	24	0.2	1	0	51.09
36	Los Mangos	1,061.12	4.25	249.68	304.6	12.69	0	1	24	0.4	1	0	71.54
37	San Luis Lago	2,271.20	7.54	301.22	367.5	15.31	0	1	24	0.2	1	0	78.57
38	Fruta de Pan	1,998.64	4.25	470.27	573.7	23.91	0	1	24	0.4	1	0	98.18
39	Adela Centro 4	2,271.20	4.25	534.4	652	27.17	0	1	24	0.4	1	0	104.7
40	D. - Lat. Manolo	1,998.64	4.25	470.27	573.7	23.91	0	1	24	0.4	1	0	98.18
41	Delicias Presa	1,070.16	7.54	141.93	173.2	7.21	0	1	24	0.2	1	0	53.94
42	Adela Centro 1	1,468.08	4.25	345.43	421.4	17.56	0	1	24	0.4	1	0	84.14
43	Cutillas 3	1,070.16	8.56	125.02	152.5	6.36	0	1	24	0.2	1	0	50.62
44	Cutillas 1	1,148.32	8.56	134.15	163.7	6.82	0	1	24	0.2	1	0	52.44
45	Mexicano	1,148.32	4.25	270.19	329.6	13.73	0	1	24	0.4	1	0	74.42
46	Delicia Potrero	2,416.56	4.25	568.6	693.7	28.9	0	1	24	0.4	1	0	108
47	Delicias Avanz.	1,526.00	3.49	437.32	533.5	22.23	0	1	24	0.4	1	0	94.67

No	Pozos	Q	Descensos	K	T		s	t		w(u)	u	S	R
		(m <sup>3</sup> /d)	(m)	(m <sup>3</sup> /d/m)	(m <sup>2</sup> /d)	(m <sup>2</sup> /h)	(m)	(d)	(h)				(m)
48	Goteo Trinidad 2	1,635.00	8.56	191.04	233.1	9.71	0	1	24	0.2	1	0	62.57
49	Tihuilote	1,137.00	4.25	267.63	326.5	13.6	0	1	24	0.4	1	0	74.06
50	Cutillas 2	1,141.00	8.56	133.3	162.6	6.78	0	1	24	0.2	1	0	52.27
51	Cachacera	1,664.00	4.25	391.6	477.8	19.91	0	1	24	0.4	1	0	89.59
52	Delicia J Real	1,017.00	3.49	291.53	355.7	14.82	0	1	24	0.4	1	0	77.3
53	San Pedro 2	2,209.00	8.56	258.11	314.9	13.12	0	1	24	0.2	1	0	72.73
54	Pivote Santa Fe	1,395.00	3.49	399.84	487.8	20.33	0	1	24	0.4	1	0	90.53
55	San Pedro 1	1,119.00	8.56	130.75	159.5	6.65	0	1	24	0.2	1	0	51.77
56	Santa Fe 1	852	8.56	99.55	121.5	5.06	0	1	24	0.2	1	0	45.17
57	San Fernando 4	1,635.00	5.41	302.27	368.8	15.37	0	1	24	0.3	1	0	78.71
58	San Juancito	1,454.00	3.45	421.31	514	21.42	0	1	24	0.4	1	0	92.93
59	San Fernando 2	1,635.00	5.41	302.27	368.8	15.37	0	1	24	0.3	1	0	78.71
60	San Fernando 1	1,635.00	5.41	302.27	368.8	15.37	0	1	24	0.3	1	0	78.71

Fuente: tomado del estudio hidrológico e hidrogeológico de la cuenca 64.

A partir de la tabla anterior, se puede definir las características hidráulicas por lo menos de la parte media y baja de la cuenca, que es donde se encuentran datos disponibles. Según esta información, la transmisividad de la zona varía de 121 m<sup>2</sup>/día a 1,419 m<sup>2</sup>/día. Los valores mayores a los 1000 m<sup>2</sup>/día, únicamente representan el 5% de los pozos evaluados. Con base a la clasificación de Krasny (1993) la zona de estudio se puede categorizar como clase II, con capacidad de producir caudales específicos de 3.6 a 36 m<sup>3</sup>/h/m. (Figura 37).

Figura 37. Distribución de valores de transmisividad en la cuenca



Fuente: elaboración propia, con el apoyo de SIG.

La conductividad hidráulica se encuentra en el rango de 127.36 a 1,163.32 m<sup>2</sup>/día/m. Los abatimientos provocados por bombeos a diferentes caudales, han generado descensos que andan entre el rango de 1.64 a 13.26 m. Los máximos descensos se obtuvieron en los pozos: Adela curva (24), Bananera 3 (25),

Zapatera (29), Lateral Espinoza (16) y Martirio (20) presentando descensos hasta de 13.26 m.

A partir de las variables como: tiempo de bombeo, transmisividad, almacenamiento y función  $w(u)$ ; puede determinarse el radio de influencia o interferencias. Los rangos de interferencia por cada pozo oscila entre 45.17 a 154 m.

Para comparar el comportamiento de las variables anteriormente descritas, se analizaron ocho pruebas de bombeo realizada a algunos pozos de la cuenca en los años 2016 y 2017, todas las pruebas desarrolladas fueron durante 24 horas. (Tabla XXXVII).

**Tabla XXXVII. Pruebas de bombeo desarrolladas entre 2016 y 2017**

No	Sitio	Este	Norte	Profund. (m)	Nea(m)	Q (m <sup>3</sup> /día)	t (día)	T (m <sup>2</sup> /día)	desce. (m)	CE (m <sup>3</sup> /d/m)	k (m/d)	Δs (m)	R	S
1	ISA/C-15	498306	1379365	44.81	2.44	2,180.00	1.00	173.47	16.61	131.25	4.04	2.30	62.50	0.10
2	Cutilla 1	493035	1389556	65.54	4.10	4,388.00	1.00	383.00	13.95	314.55	6.20	2.10	92.82	0.10
3	Desmonte 2	499046	1383375	Sd	2.44	5,722.92	1.00	1,163.66	8.87	645.20	20.20	0.90	161.81	0.10
4	Goteo Bernard	495314	1384297	Sd	2.74	5,450.00	1.00	586.72	15.47	352.29	10.63	1.70	114.90	0.10
5	Delicias Avanz.	493740	1388291	Sd	3.05	5,995.14	1.00	783.69	11.76	509.79	13.75	1.40	132.79	0.10
6	M. San Alejandro	494179	1384909	76.20	3.96	5,456.00	1.00	1,109.00	5.31	1,027.50	15.40	0.90	297.86	0.10
7	Nipororo 4	501097	1381003	60.96	5.23	5,723.50	1.00	748.10	5.00	1,144.70	13.42	0.77	350.00	0.02
8	San Fernando	493463	1391930	Sd	9.60	5,455.85	1.00	1,248.03	7.08	770.60	18.73	0.80	153.78	0.10

Fuente: elaboración propia, con base a información del Ingenio San Antonio (2017).

Algunas de estas pruebas se desarrollaron en sitios que también fueron evaluado en el estudio de la cuenca 64, elaborado en 2013, entre ellos: Curtilla 1, Goteo Bernard, Delicias avanzadas, Morales San Alejandro y San Fernando. En el pozo Curtilla 1, según estudio fue bombeado a 1,148 m<sup>3</sup>/ día, mostrando descenso de 8.56 m, en cambio en 2017, este mismo sitio fue bombeado a un caudal de 4,388 m<sup>3</sup>/día presentando descenso de 13.95 m. No se sabe si en el

estudio anterior variables como: almacenamiento (S), función de “u” abatimiento (s), fueron asumidas a o calculadas, esto debido a que en la tabla 36, todos los pozos presentan valores similares. En el presente estudios, estas variables fueron calculadas con el método de Jacob (1946); en ello, se obtuvo valores similares al rango determinado en 2013, con valores de 173.47 a 1, 248.03 m<sup>2</sup>/día. El almacenamiento mostró valores de 0.02 a 0.10, el radio de influencia de 62.50 a 350 m.

#### **4.1.2.4. Evaluación de la recarga hídrica en la cuenca**

Para la evaluación de áreas de recarga, se desarrollaron cinco ensayos de infiltración y además la compilación de otros que se desarrollaron en la cuenca en otros estudios específicos.

El ensayo de infiltración es un método puntual que debe de tener en cuenta un sinnúmero de atributos relativo al suelo: tipo de suelo, cobertura, inclinación, exposición, profundidad de raíces, entre otros, que cambian de un punto de medición a otro. El método es muy común en Nicaragua, pero resulta en recarga sobre-valoradas según Koschel, 2015. Otra fuente, como Gunther Schosinsky (2006), especialista en hidrogeología y agua subterránea menciona que la infiltración se obtiene en el campo, y que se pueden utilizar los métodos: prueba de anillos aplicada en la superficie del terreno, uso del permeámetro Guelph y hasta el método Porchet.

Uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo es el coeficiente de infiltración, debido a la textura del suelo, este a la vez depende de la pendiente del terreno y la vegetación. El coeficiente de infiltración corresponde a la permeabilidad del suelo saturado en los primeros 30



centímetros de profundidad por considerar que este es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia (Schosinsky, 2006).

Para estimar el coeficiente de infiltración de tal manera que los valores sean representativos y cercanos a la realidad, las pruebas realizadas en el presente estudio, se distribuyeron considerando los siguientes aspectos: pendiente (zona alta, media y baja de la cuenca), tipo de suelo (andisols, vertisols, entisols) y cobertura vegetal (zonas intervenidas y no intervenidas). (Tabla XXXVIII y anexo 13).

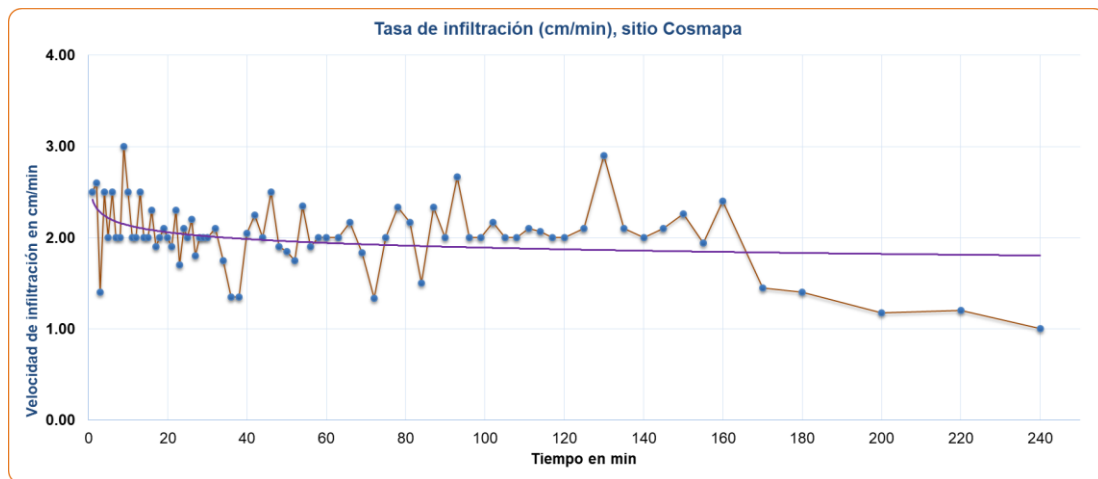
**Tabla XXXVIII. Pruebas de infiltración desarrolladas**

No	Sitio	Coordenadas		Altura (msnm)	Pendiente (%)	Vegetación	T. Suelo	Duración P. (h)	Recarga (mm/h)
		Este	Norte						
1	Cosmapa	494610	1391748	87	2.63	Sin vegetación, suelo intervenido	Andisol	4.00	26.28
2	Sirama	499542	1392237	146	4.60	Sin vegetación, suelo intervenido	Andisol	3.16	20.12
3	Posoltega	501540	1387609	86	1.18	Sin vegetación, suelo poco intervenido	Andisol	2.15	11.09
4	San José	498016	1397009	234	2.12	poca vegetación, suelo intervenido	Entisol	3.25	37.66
5	Apastepe	501124	1397640	326	14.15	Mucha vegetación, suelo no intervenido	Entisol	3.70	39.96
6	ISA 3	492795	1385692	27	1.31	Sin Vegetación, suelo intervenido	Andisol	ND	17.12
7	Carbonera	495036	1384488	38	3.72	Sin vegetación suelo intervenido	Andisol	ND	5.06
8	Sucio	492802	1383034	36	1.86	Sin vegetación suelo intervenido	Vertisoles	ND	5.85
9	Amalia	490263	1382278	18	5.40	Sin vegetación suelo intervenido	Vertisoles	ND	5.43

Fuente: elaboración propia, con base a ensayos de campo en 2016 y consulta a estudio de la cuenca 64 (2012).

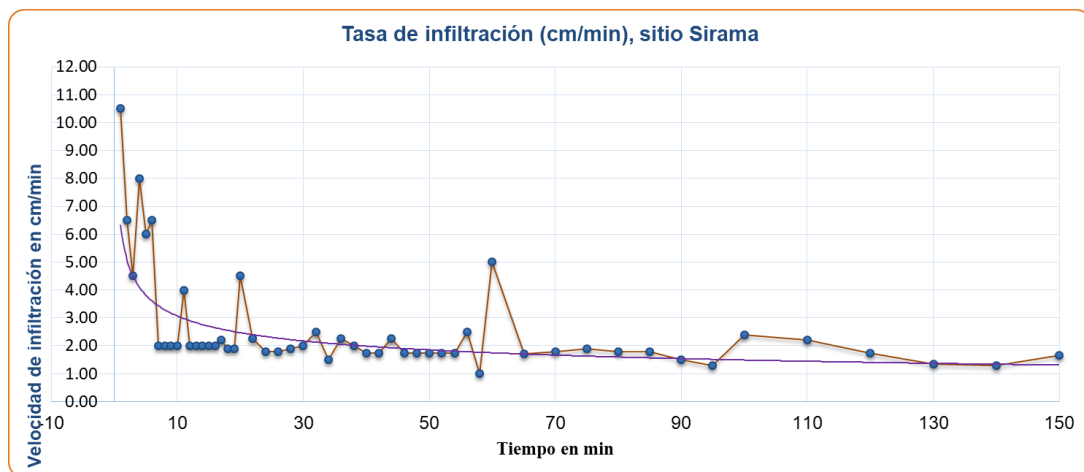
El comportamiento de la infiltración de los diferentes sitios evaluados se representa en las siguientes figuras:

Figura 38. **Comportamiento de la infiltración, sitio Cosmapa**



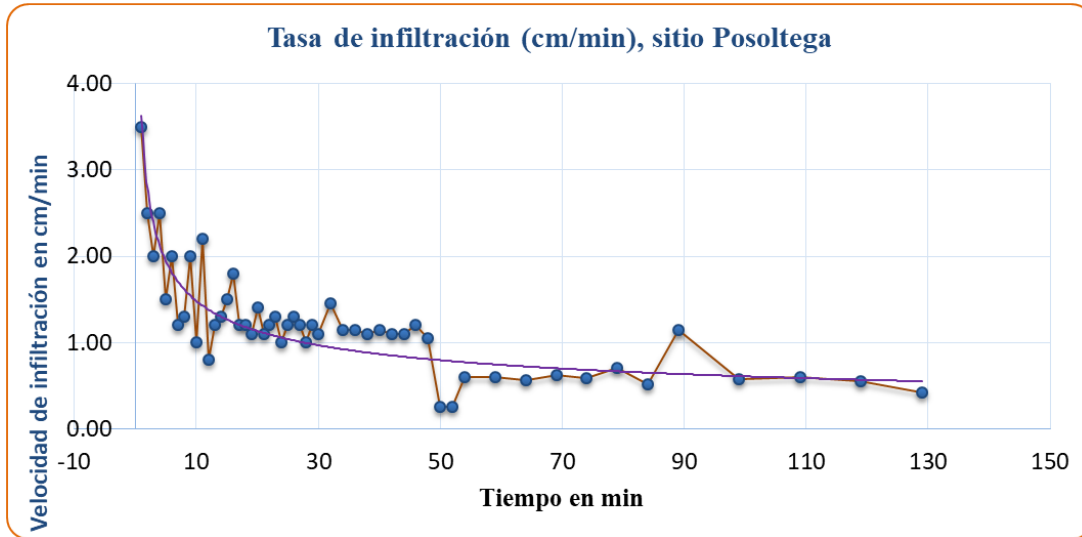
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Comportamiento de la infiltración sitio Sirama**



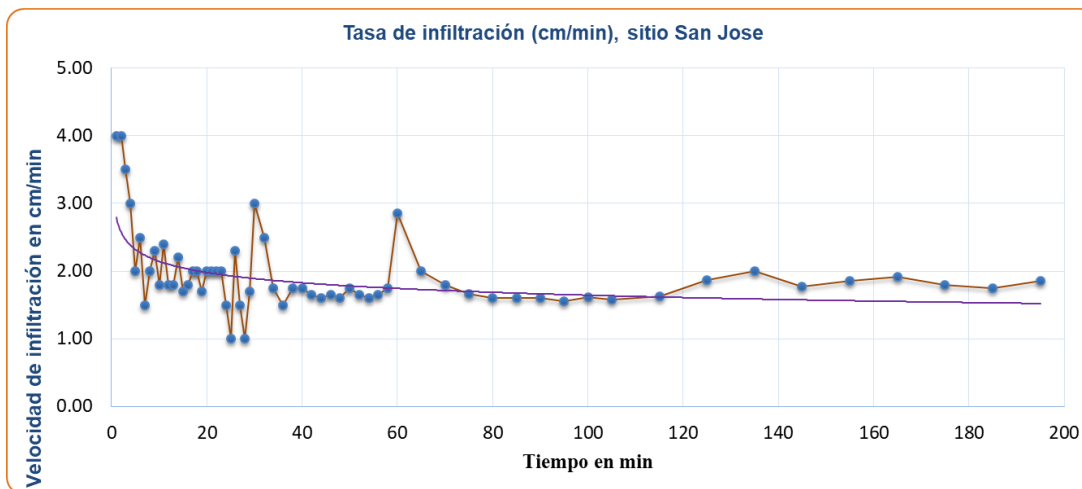
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Comportamiento de la infiltración, sitio Posoltega



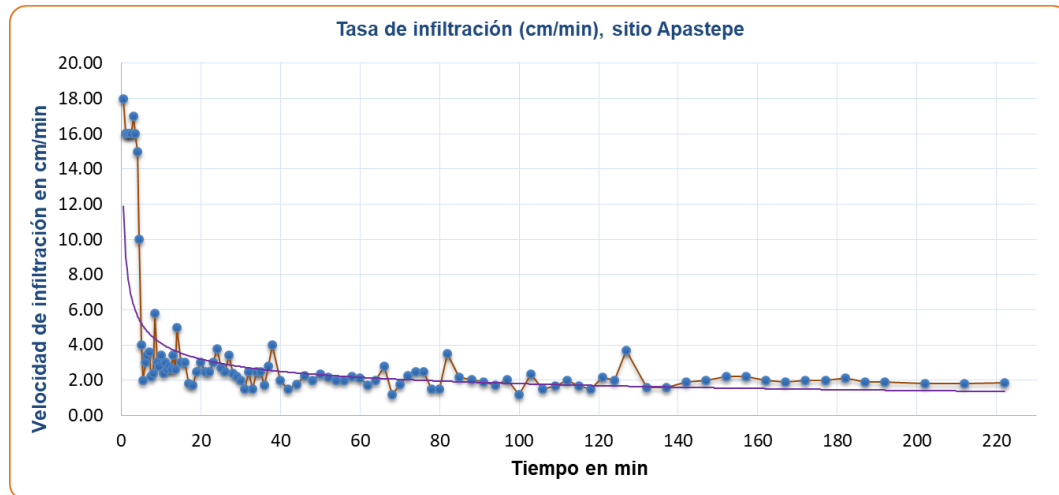
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Comportamiento de la infiltración sitio San José



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Comportamiento de la infiltración sitio Apastepe



Fuente: elaboración propia.

La tasa de infiltración promedio de la cuenca se estima en 18.73 mm/hora. La mayor capacidad de infiltración se da en la parte alta de la cuenca, evaluado mediante la prueba Apastepe (39.96 mm/h) y San José (37.66 mm/h). Estas zonas presentan mayor pendiente y mayor vegetación, misma que no están o están muy poco intervenidas por actividades humanas.

La zona media y baja de la unidad hidrográfica representan el área de menor infiltración, siendo las mínimas en la zona de Posoltega y la zona baja de la cuenca, con valores de 5 a 11 mm/h.

#### 4.1.2.5. Balance hídrico de suelos

Como información precedente, relacionada al potencial de recarga hídrica en la unidad hidrográfica río Sucio, se tuvo a disposición el estudio hidrológico e hidrogeológico de la región del pacífico de Nicaragua desarrollado por

INETER/MAGFOR, 1998. Este estudio, en el balance hídrico de suelos estimó que en el río Sucio había una recarga potencial del 182.06 Mm<sup>3</sup> anuales para un área de recarga de 230.20 km<sup>2</sup>.

En el 2013, fue desarrollado otro estudio hidrológico e hidrogeológico para la cuenca 64, por parte de la empresa Quenca Consulting Group, S.A, donde se determinó para la unidad hidrográfica río Sucio un volumen de 56.32 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y un potencial de recarga de 256.69 Mm<sup>3</sup> anuales para agua subterráneas en un área de recarga de 337.50 km<sup>2</sup>.

Para el presente estudio partiendo de una delimitación precisa de la unidad hidrográfica del río Sucio, se obtuvo una extensión de 224.85 km<sup>2</sup>. Con base a esto y a la estimación de la precipitación media de la cuenca con períodos de registros entre 1966 a 2015, se elaboró el balance hídrico de suelo aplicando la metodología de Schosinsnky & Losilla (2000).

Los criterios de este método de balance hídrico de suelo se basan principalmente en características de suelos como: textura, capacidad de campo, punto de marchitez y profundidad de raíces; también se han considerado los factores climáticos, precipitación y la evapotranspiración. La precipitación utilizada es el promedio calculado en la cuenca a partir de las estaciones analizadas. La evapotranspiración se estimó a través del método de Thornthwaite (1948).

El Coeficiente de Infiltración (Cf) se obtuvo de la infiltración básica calculada en campo combinado con la metodología de Schosinsky y Losilla (2000), Modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual.

En función del tipo de suelo de la unidad hidrográfica río Sucio, y en vista de no tener datos, para la textura, profundidad del suelo, capacidad de campo del suelo, entre otros, se aplicó las tablas de propiedades físicas de suelos según Amisial y Jegat, CIDIAT 1986. Para asociar profundidades de suelos a textura, Losilla (2013), ha utilizado la información que se muestra a continuación. (Tabla XXXIX).

Tabla XXXIX. **Propiedades del suelo**

Textura	Profundidad (mm)	Capacidad de Campo = CC (mm)	Punto de Marchitez = PM (mm)	Humedad Disponible = CC - PM
Arcillosos	1,000.00	437.5	212.5	225
Limo/arcillas	800	343.2	166.4	176.8
Arcillo/arenoso	750	302.3	146.3	156
Franco arcilloso	500	182.3	87.8	94.5
Franco	400	123.2	56	67.2
Franco arenosos	300	63	27	36
Arenosos	200	29.7	13.2	16.5
Gravas	100	10.5	3.5	7

Fuente: Amisial y Jegat, CIDIAT 1986.

El suelo de la unidad hidrográfica río Sucio, en su mayoría son suelos franco arenosos, y según la tabla de CIDIAT 1986, presenta profundidades de 300 mm, capacidad de campo de 63 mm, punto de marchitez de 27, con una humedad disponible de 36 mm.

El balance hídrico de suelo de la cuenca se estimó de acuerdo al año hidrológico, el cual para la región, es de mayo a abril. (Tabla XL).

Tabla XL. **Balance hídrico de suelo de la cuenca**

Textura de suelo =	Franco arenoso		P = precipitación media del sector	AgD = agua disponible después de ETP
Capac. Infiltra. (Fc) =	0,08 cm/min	449.5 mm/d	Cf = coeficiente de infiltración	HSf = humedad de suelo final
Capac. campo(CC) [%]=	21	63 mm	Pi = precipitación que infiltra	DCC = déficit de capacidad de campo
Pto. marchitez(PM)[%]=	9	27 mm	Pe = precipitación que escurre	Rp = recarga potencial al acuífero
Prof. raíces media(mm)=	300		ETP = evapotranspiración potencial	ETR = evapotranspiración real
CC-PM (mm)=	36		HSi = humedad de suelo inicial	NR = necesidad de riego

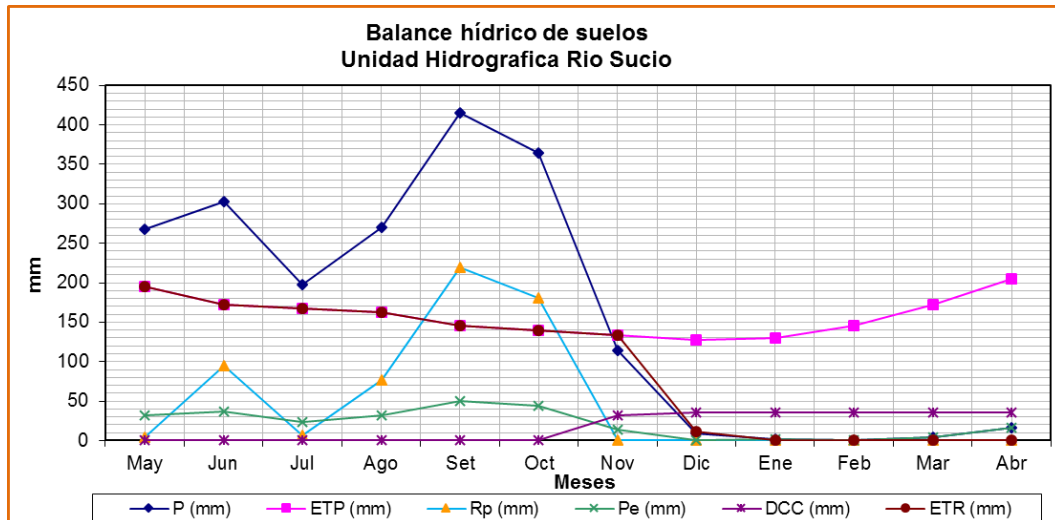
Variables	Meses												Total
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
P (mm)	267.96	302.89	197.26	270.74	415.42	364.17	114.48	8.56	1.64	0.60	4.45	15.91	1944
Cf (mm)	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	
Pi (mm)	235.81	266.54	173.59	238.25	365.57	320.47	100.74	7.53	0.00	0.00	0.00	0.00	1708
Pe (mm)	32.16	36.35	23.67	32.49	49.85	43.70	13.74	1.03	1.64	0.60	4.45	15.91	235
Pe(m3/ha)	321.56	363.46	236.72	324.89	498.50	437.01	137.37	10.27	16.40	5.95	44.52	159.08	2352
ETP(mm)	195.20	171.68	167.37	162.12	145.60	139.75	133.04	127.09	129.88	145.55	172.60	204.39	1517
HSi (mm)	0.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	220
AgD (mm)	40.61	94.86	6.22	76.13	219.96	180.72	-32.30	-119.56	-129.88	-145.55	-172.60	-204.39	191
HSf (mm)	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	220
cHS (mm)	36.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-32.30	-3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0
DCC(mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.30	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	140
Rp (mm)	4.61	94.86	6.22	76.13	219.96	180.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	583
Rp(m3/ha)	46.10	948.55	62.23	761.33	2199.63	1807.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5825
ETR (mm)	195.20	171.68	167.37	162.12	145.60	139.75	133.04	11.23	0.00	0.00	0.00	0.00	1126
NR(mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.30	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	140
Rp (Mm³)	<b>1.04</b>	<b>21.33</b>	<b>1.40</b>	<b>17.12</b>	<b>49.46</b>	<b>40.63</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>130.9</b>

Fuente: elaboración propia, basado en la metodología de Schosinsky y Losilla (2000).

Como resultado se estima que en la cuenca hay una recarga potencial de 583 mm/año, es decir 5,825 m<sup>3</sup>/ha. La cuenca tiene una extensión de 224.85 km<sup>2</sup> para tal área, se determinó un potencial de recarga de 131 Mm<sup>3</sup> anuales, valor inferior al dato calculado en el estudio del MAGFOR/INETER (182 Mm<sup>3</sup>) y estudio de la cuenca 64 (207.26 Mm<sup>3</sup>).

En la figura 43, se puede representar de forma más clara el comportamiento de las variables principales del balance hídrico de suelo.

Figura 43. Resultados del balance hídrico de suelo



Fuente: elaboración propia.

Puede apreciarse que la recarga potencial se da en la época lluviosa, presentando los picos más altos en septiembre a octubre. De mayo a noviembre, puede apreciarse valores positivos de precipitación traducido esto en escorrentía. El déficit de capacidad de campo (DCC), se dan en la estación seca y el resto del tiempo estará a capacidad de campo.

#### 4.1.1.1. Esgurrimento de agua subterránea

El esgurrimento subterráneo se constituye por la parte del agua de lluvia que se infiltra en el suelo hasta los niveles freáticos. El agua que se infiltra, pero que no llega al nivel freático, esgurre cerca de la superficie del suelo y prácticamente paralela a ella, formando el esgurrimento subsuperficial (Aparicio, 2007).

En el caso del esgurrimento a través de un medio poroso bajo condiciones saturadas o no saturadas, se requiere que exista una diferencia de energía entre



dos puntos en el medio, para que se produzca un flujo neto de agua entre ellos, a esto se le conoce como gradiente hidráulico.

Dado los niveles freáticos, los gradientes hidráulicos y la transmisividad del acuífero se puede estimar la descarga subterránea del acuífero hacia otra cuenca o al Océano. (Vélez, 1999).

Entonces:  $Q = T \cdot i \cdot L$ , donde

Q: es el caudal de descarga de agua subterránea ( $m^3/día$ ); T: es la transmisividad ( $m^2/día$ ); i: es el gradiente hidráulico y L: es el ancho de la descarga.

La transmisividad utilizada en el cálculo es el promedio de los valores de los 60 pozos monitoreados ( $384 m^2/día$ ). La distancia en el mapa es la distancia entre curvas piezométrica. (Tabla XLI).

Tabla XLI. **Estimación del escurrimiento subterráneo**

Valores	Nivel 1 (m)	Nivel 2 m	$\Delta$ nivel (m)	Distancia en Mapa (m)	i	L (m)	T ( $m^2/día$ )	Q	Q ( $m^3/mes$ )	Q MMC
								( $m^3/día$ )		mes
1	230	100	130	4139	0.03	10,702.00	384.00	128,941.01	3,921,955.80	3.92
2	100	60	40	6149	0.01	9,229.00	384.00	23,032.50	700,571.84	0.7
3	60	20	15	6075	0.00	4,652.00	384.00	4,406.27	134,024.05	0.13
Promedio										<b>1.59</b>

Fuente: elaboración propia.

Como resultados de la estimación se obtuvo que la descarga del acuífero fuera de la cuenca es de  $1.59 Mm^3$  mensuales, es decir,  $19.08 Mm^3$  anuales.

## 4.2. Estado cualitativo

### 4.2.1. Calidad de agua superficial

#### 4.2.1.1. Análisis de campo

En la etapa de campo se evaluó la calidad de agua en ocho sitios superficiales, los parámetros analizados fueron: temperatura (T), pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (TDS). (Tabla XLII).

Tabla XLII. **Parámetros de calidad medidos en campo**

No	Sitios	Coordenadas		Parámetros de calidad de campo					
		Este	Norte	T (°C)	pH	OD (mg/l)	OD (%)	CE (mg/l)	TDS (mg/l)
1	Carbonera 1	497430	1388296	27.52	7.63	3.19	41.00	976.00	465.00
2	Carbonera 2	497427	1389693	29.19	7.49	1.46	19.80	572.00	286.00
3	Río ISA	494250	1384256	37.06	6.67	3.12	47.90	1,167.00	584.00
4	Los Arcos	494240	1384198	26.18	7.46	5.78	72.10	993.00	498.00
5	Río Muñoz	495162	1383342	26.26	7.70	6.63	83.70	821.00	412.00
6	Río Amalia	490304	1382614	26.11	7.95	7.42	88.00	1,177.00	590.00
7	Río Sucio	491365	1381563	30.71	7.50	5.10	69.00	1,243.00	623.00
8	Río Jordán	489881	1380077	26.48	7.49	3.96	52.80	1,286.00	643.00

Fuente: elaboración propia.

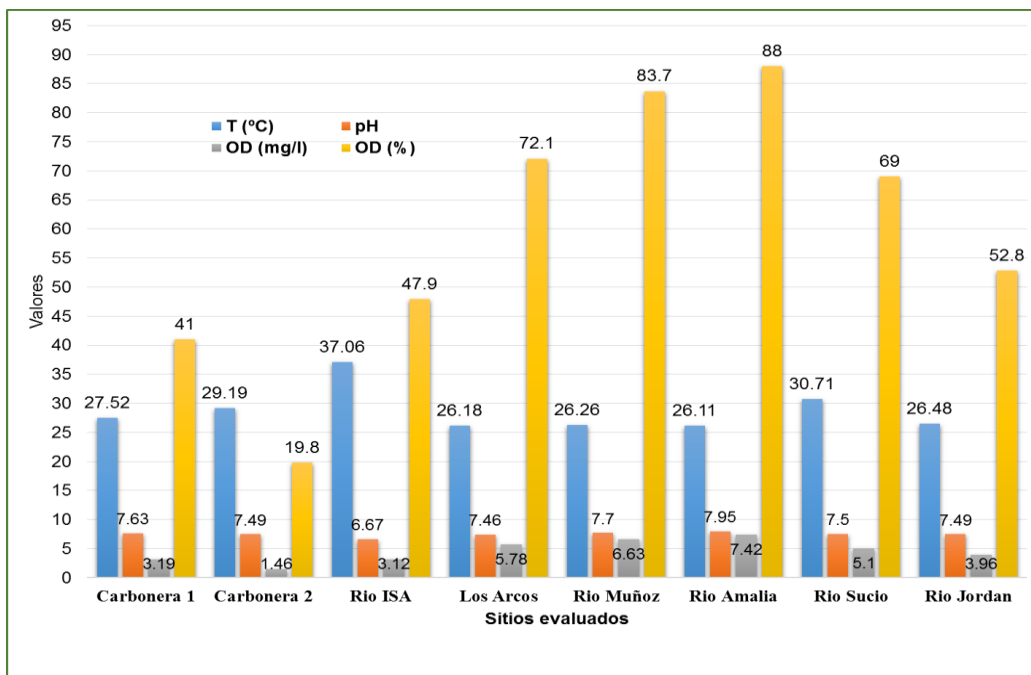
El sitio Carbonera se evaluó en dos partes, en vista de que es donde se descargan las aguas residuales provenientes de la ciudad de Chichigalpa. El sitio No.1 corresponde al sitio de descarga y el No. 2 aguas arriba. El agua mezclada presenta aumento en la conductividad eléctrica, sólidos disueltos y pH, en comparación al sitio aguas arriba, indicando la alteración de la calidad normal del agua del río en su curso natural. El oxígeno disuelto aunque presenta mayor valor

en el agua mezclada, esto se debe a que la muestra fue tomada precisamente en la salida de la descarga en donde hay una relativa aireación.

Cabe señalar que lo anterior, no justifica una buena calidad para la muestra tomada aguas arriba, esta presenta valores muy bajo de oxígeno disuelto (1.46 mg/l). Con este valor el agua pierde la categoría de tipo 1-A y 1-B (aguas de uso doméstico e industrial que pueden ser condicionada con tratamientos para agua potable con OD >4) definido en la NTON 05-007-98 (clasificación de los recursos hídricos) y pasa a ser aguas de tipo 2 que es para uso agropecuario.

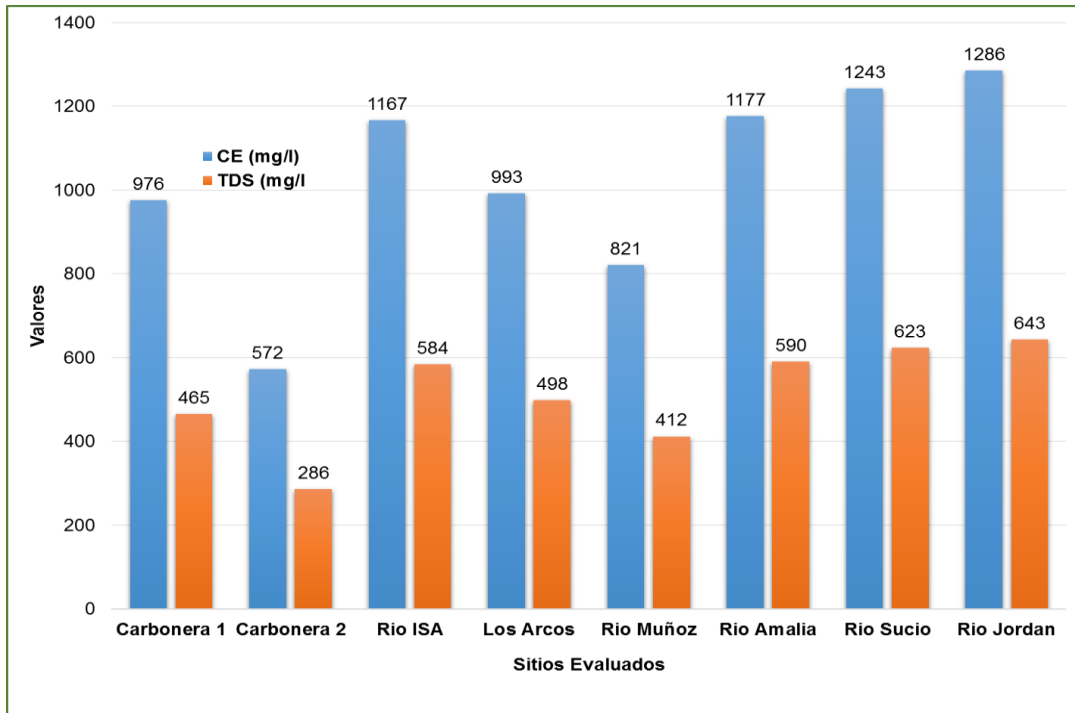
Para ver el comportamiento de la calidad de agua para cada sitio, se presenta a continuación las figuras 44 y 45.

Figura 44. Valores de campo de la calidad de agua para T, OD y pH



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Valores de la calidad de agua para la CE y TDS



Fuente: elaboración propia.

La variable temperatura en la mayoría de los casos, están dentro de los rangos permitidos por la norma CAPRE (18-30 °C), a excepción del río ISA que presenta temperaturas de 37.06 °C. Cabe destacar que en el río ISA, se descargan las aguas residuales del proceso industrial de la caña de azúcar y esto podría estar influyendo.

En cuanto al pH, están dentro de los parámetros normales para todos los sitios. La NTON 05-007-98 establece valores de 6.5 a 8.5, igual a las normas para agua potable como la OMS y CAPRE.

El oxígeno disuelto presenta valores por debajo de la norma en los sitios Carbonera 1 y 2, río ISA y río Jordán con valores <4, esto lo hace bajar de

categoría tipo 1 a tipo 2. Los sitios Carbonera 1 y 2 estas influenciado por la presión de la ciudad de Chichigalpa y el sitio ISA y Jordán por los procesos industriales que se dan en el Ingenio San Antonio.

Los valores más altos de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos se presentan en los sitios: Carbonera 1, río ISA, Los Arcos, Amalia, Sucio y río Jordán. Estos valores, que van de 976 a 1,286  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , podrían afectar la calidad de las aguas tanto para riego como para consumo humano. La norma CAPRE establece valores máximos de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , si el uso del agua se planifica para consumo humano. En cuanto a los TDS, los valores están dentro de los rangos permitidos, la NTON 05-007-98 establece máximo de 1000 mg/l.

#### **4.2.1.2. Análisis de laboratorio**

- Calidad fisicoquímica

Se evaluaron 24 parámetros, entre ellos: calcio, magnesio, sodio, potasio hierro total, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfato, nitratos, nitritos, fluoruros, silicatos disueltos Sílice, Boro, pH, temperatura, entre otros. Se consideró evaluaciones realizadas por diferentes estudios en fechas diferentes (2004 a 2014). (Tabla XLIII).

**Tabla XLIII. Análisis fisicoquímicos de fuentes superficiales**

No		1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre		Río Sucio 2	Río Sucio 2	San Rafael	Presa Sta Isabel	Presa Muñoz	Presa san Luis	Presa Amalia	Presa carbonera
Ubicación		Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa
Coordenadas	Este	498934	498934	490165	490217	495763	493155	491707	496624
	Norte	1385152	1385152	1381210	1380485	1383221	1387756	1384879	1386371
Fecha	Análisis	20/10/2004	28/03/2005	06/10/2014	06/10/2014	06/10/2014	06/10/2014	06/10/2014	06/10/2014
Calcio	mg/l	40.07	41.00	49.99	69.87	39.79	57.98	55.00	47.71
Magnesio	mg/l	19.44	17.91	18.99	17.06	14.19	26.03	24.42	21.92
Sodio	mg/l	28.00	16.80	18.71	21.76	11.40	21.14	25.72	29.57
Potasio	mg/l	10.20	6.14	9.51	3.24	8.86	4.95	11.73	5.20
Hierro	mg/l	0.95	0.45	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Carbonatos	mg/l	<2	<2	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Bicarbonatos	mg/l	228.10	247.01	246.06	319.01	207.73	286.86	293.40	272.02
Cloruros	mg/l	15.30	4.25	12.13	13.58	4.85	19.89	20.86	12.13
Sulfato	mg/l	28.02	12.40	27.70	16.60	9.56	28.03	31.69	27.20
Nitratos	mg/l	17.89	8.04	8.69	6.02	8.21	12.70	9.79	9.18
Nitritos	mg/l	0.01	0.02	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Fluoruro	mg/l	0.41	0.37	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Silicato Dis.	mg/l	104.15	81.57	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Sílice	mg/l	nd	nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
pH	Unid.	7.64	7.94	7.60	7.70	7.80	7.90	7.80	7.40
Temperatura	°C	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Color	Unid.	5.00	10.00	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Salinidad		nd	nd	365.12	419.50	274.20	419.70	444.90	396.00
SDT	mg/l	375.65	309.93	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Turbidez	UNT	15.93	4.51	203.01	244.81	157.78	251.94	237.86	209.36
Dureza total	mg/l	180.00	176.03	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Alcalinidad	mg/l	186.95	202.42	518.60	595.60	389.30	595.90	631.70	562.30
C. eléctrica	mS/cm	476.00	390.00	605.20	518.60	459.30	595.90	631.70	411.10

No		9	10	11	12	13	14	15
Nombre		Presa culequera	Presa tres ríos	Presa zapatera	Presa Zepeda	Río Carbonero	Río Sucio 1	Río Amalia
Ubicación		Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa
Coordenadas	Este	497476	493024	495185	495571	496945	493313	488021
	Norte	1384742	1382764	1382764	1384631	1386932	1383077	1380639
Fecha	Análisis	06/10/2014	06/10/2014	06/10/2014	07/10/2014	04/12/2014	04/12/2014	05/12/2014
Calcio	mg/l	41.16	47.94	45.33	46.68	44.93	106.70	65.52
Magnesio	mg/l	14.99	18.02	19.79	17.76	26.84	31.83	34.70
Sodio	mg/l	11.45	9.58	18.28	15.88	27.87	29.49	27.59

No		9	10	11	12	13	14	15
Nombre		Presa culequera	Presa tres ríos	Presa zapatera	Presa Zepeda	Río Carbonero	Río Sucio 1	Río Amalia
Ubicación		Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa	Chichigalpa
Potasio	mg/l	8.88	16.29	4.72	11.80	8.15	41.66	8.44
Hierro	mg/l	Nd	Nd	Nd	Nd	0.55	1.20	0.29
Carbonatos	mg/l	Nd	Nd	Nd	Nd	<id	<id	<id
Bicarbonatos	mg/l	211.44	244.82	238.64	239.88	280.69	292.90	353.92
Cloruros	mg/l	4.85	10.19	11.64	9.70	9.60	23.81	18.99
Sulfato	mg/l	14.40	22.54	19.07	22.63	26.44	31.93	31.00
Nitratos	mg/l	7.60	10.15	14.28	9.06	7.94	<id	8.99
Nitritos	mg/l	Nd	Nd	Nd	Nd	0.76	<id	0.12
Fluoruro	mg/l	Nd	Nd	Nd	Nd	<id	29.25	<id
Silicato Dis.	mg/l	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
Sílice	mg/l	Nd	Nd	Nd	Nd	84.40	103.68	76.78
pH	Unid.	7.70	7.50	7.70	7.70	7.71	7.20	8.16
Temperatura	°C	nd	nd	nd	nd	31.05	36.80	25.70
Color	Unid.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Salinidad		289.50	352.50	346.90	352.20	nd	nd	nd
SDT	mg/l	nd	nd	nd	nd	329.26	487.17	406.09
Turbidez	UNT	164.26	193.91	194.60	189.70	2.90	450.00	13.20
Dureza total	mg/l	nd	nd	nd	nd	222.55	397.17	306.20
Alcalinidad	mg/l	411.10	500.50	492.50	500.10	230.05	240.05	290.05
C. eléctrica	mS/cm	447.70	500.10	500.10	800.00	534.00	843.00	666.10

Fuente: CIGEO (2025), ANA (2014), proyecto GIZ (2014).

Para determinar la calidad de agua en los sitios evaluados, se tomó como referencia normas y guías que se aplican en Nicaragua, entre ellas: la guía OMS, norma CAPRE y la NTON 05-007-98. Las primeras dos están referida a la calidad de agua para uso potable, la última está relacionada a la clasificación de los recursos hídricos en el territorio nicaragüense. (Tabla XLIV).

Tabla XLIV. Valores guías de parámetros de calidad de agua

Parámetro	Unidad de medida	Normas o Guías					
		OMS	CAPRE	NTON 05-007-98			
				Tipo 1		Tipo 2	
				1A	1B	2A	2B
Calcio	mg/l	SR	100	SR	SR	SR	SR
Magnesio	mg/l	0.30-3	30-50	SR	SR	SR	SR
Sodio	mg/l	200	25-200	200	SR	200	SR
Potasio	mg/l	50-150	10	SR	SR	SR	SR
Hierro	mg/l	0.3	0.3	0.3	3	0.05	SR
Carbonatos	mg/l	200	SR	SR	SR	SR	SR
Bicarbonatos	mg/l	200-400	SR	SR	SR	SR	SR
Cloruros	mg/l	250	25-250	250	600	SR	SR
Sulfato	mg/l	250	25-250	250	400	SR	SR
Nitratos	mg/l	50	25-50	10 (NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )	SR	SR	SR
Nitritos	mg/l	3	0.1-3		SR	SR	SR
Fluoruro	mg/l	1.5	0.7	1.5	<1.7	SR	SR
Silicato Dis	mg/l	SR	SR	SR	SR	SR	SR
Sílice	mg/l	SR	SR	SR	SR	SR	SR
Boro	mg/l	0.3	SR	SR	SR	1	SR
pH	Unid.	SR	6.5-8.5	6-8.5	SR	SR	SR
Temperatura	°C	SR	18-30	SR	SR	SR	SR
Color	U Pt-Co	15	ene-15	<15	<150	SR	SR
Salinidad		SR	SR	SR	SR	SR	SR
Sólidos T	mg/l	1000	1000	100	1500	3000	SR
Turbidez	UNT	5	01-may	<5	<250	SR	SR
Dureza total	mg/l CaCo <sub>3</sub>	SR	400	400	SR	SR	SR
Alcalinidad	mg/l	200	SR	SR	SR	SR	SR
C. eléctrica	mS/cm	SR	400	SR	SR	SR	SR
Manganeso		0.5	0.1-0.5	0.5	SR	5	SR

Fuentes: OMS, CAPRE, NTON 05-007-98. \*SR: Sin Referencia.

En el parámetro calcio, todos los sitios están por debajo del valor de referencia de la norma CAPRE; para este elemento, la guía OMS y la NTON-05-007-98 no refleja valor de referencia.



El Magnesio, según la norma OMS, no cumple con el valor guía, pero sí está dentro del valor normado por CAPRE. El parámetro sodio tiene un valor aceptable en todos los sitios. El potasio en la mayoría de los 15 sitios evaluados cumple, a excepción de los sitios: río Sucio, presa Amalia, presa Tres ríos y presa Zepeda.

En cuanto al hierro, solo cinco sitios fueron evaluados, de los cuales solo uno de ellos está dentro del valor de referencia en las tres normas. Los diferentes puntos evaluados del río Sucio, río Amalia y Carbonero presentan valores de hierro por encima de la norma.

Los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos están dentro de los parámetros guías. De los sitios donde se evaluó fluoruros, el río Sucio presenta valores fuera de la norma (29.25 mg/l). Para silicatos disueltos y Sílice no hay referencia.

Los parámetros pH, color, TDS, están dentro de los valores guías. La salinidad no tiene referencia en las normas. La temperatura solo se refleja valor en tres sitios, en la cual, dos de ellos presentan valores fuera de norma. La turbidez, en la mayoría de los sitios presentan valores superiores a la norma CAPRE y guía OMS, si son comparados con la NTON 05-007-98, la mayoría estarían dentro del valor guía, excepto los sitios, presa San Luis y río Sucio.

El parámetro dureza total, en todos los sitios están dentro de lo establecido en las norma. La alcalinidad solo la OMS emite referencia, y de los 15 sitios evaluados, 14 de ellos no cumplen con el valor guía. En cuanto a la conductividad eléctrica únicamente la norma CAPRE emite referencia (400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), con este valor guía 14 de 15 sitios no cumplen.

- Calidad microbiológica

En cuanto a parámetros microbiológico, se evaluó: coliformes totales, coliformes fecales y E. coli. En agua superficial fueron evaluados 13 sitios. (Tabla XLV).

**Tabla XLV. Parámetros microbiológicos en agua superficial**

No	Nombre	Ubicación	Coordenadas		Fecha de análisis	Laboratorio	Col. Totales	Col. Fecales	E. Coli
			Este	Norte			NMP/100 ml	NMP/100 ml	NMP/100 ml
1	San Rafael	Chichigalpa	490165	1381210	06/10/2014	LAQUISA	nd	1360.00	nd
2	Presa Santa Isabel	Chichigalpa	490217	1380485	06/10/2014	LAQUISA	240.00	1680.00	240.00
3	Presa Muñoz	Chichigalpa	495763	1383221	06/10/2014	LAQUISA	1040.00	1120.00	1040.00
	Presa Muñoz	Chichigalpa	495763	1383221	06/10/2014	LAQUISA	12080.00	6040.00	nd
4	Presa San Luis	Chichigalpa	493155	1387756	06/10/2014	LAQUISA	30.00	920.00	nd
	Presa San Luis	Chichigalpa	493155	1387756	06/10/2014	LAQUISA	3840.00	1160.00	nd
5	Presa Amalia	Chichigalpa	491707	1384879	06/10/2014	LAQUISA	100.00	1400.00	100.00
	Presa Amalia	Chichigalpa	491707	1384879	06/10/2014	LAQUISA	3600.00	1060.00	nd
6	Presa Carbonera	Chichigalpa	496624	1386371	06/10/2014	LAQUISA	550.00	2520.00	550.00
	Presa Carbonera	Chichigalpa	496624	1386371	06/10/2014	LAQUISA	2640.00	1000.00	nd
7	Presa Culequera	Chichigalpa	497476	1384742	06/10/2014	LAQUISA	nd	3280.00	nd
	Presa Culequera	Chichigalpa	497476	1384742	06/10/2014	LAQUISA	6900.00	1120.00	nd
8	Presa tres ríos	Chichigalpa	493024	1382764	06/10/2014	LAQUISA	230.00	320.00	230.00
9	Presa Zapatera	Chichigalpa	495185	1382764	06/10/2014	LAQUISA	1030.00	2680.00	1030.00
	Presa Zapatera	Chichigalpa	495185	1382764	06/10/2014	LAQUISA	3800.00	3420.00	nd
10	Presa Zepeda	Chichigalpa	495571	1384631	07/10/2014	LAQUISA	1030.00	2680.00	1030.00
	Presa Zepeda	Chichigalpa	495571	1384631	07/10/2014	LAQUISA	62400.00	62400.00	nd
11	Río Carbonero	Chichigalpa	496945	1386932	04/12/2014	AN-1252	920000.00	920000.00	540000.00
12	Río Sucio	Chichigalpa	493313	1383077	04/12/2014	AN-1253	460000.00	11000.00	7800.00
13	Río Amalia	Chichigalpa	488021	1380639	05/12/2014	AN-1262	17000.00	2300.00	2300.00

Fuente: ANA (2014), proyecto GIZ (2014).

Los resultados del estado microbiológico de los sitios evaluados fueron comparados con: guía OMS, norma Regional CAPRE y NTON 05-007-98. (Tabla XLVI).

Tabla XLVI. **Valores guías de parámetros microbiológicos**

Parámetro	Unidad de medida	Normas o Guías					
		OMS	CAPRE	NTON 05-007-98			
				Tipo 1		Tipo 2	
				1A	1B	2A	2B
Col. Totales	NMP/100 ml	SR	0-≤4	Prom. Mensual <2000	Prom. Mensual <10000	Prom. Mensual <1000	Prom. Mensual <5000
Col. Fecales	NMP/100 ml	SR	0			Prom. Mensual <100	Prom. Mensual <1000
E. Coli	NMP/100 ml	SR	0			SR	SR

Fuentes: OMS, CAPRE, NTON 05-007-98

Si el análisis es basado en la norma CAPRE y guía OMS, ningún sitio de los evaluados cumple. La Norma Obligatoria Nicaragüense de Clasificación de los Recursos Hídricos (NTON 05-007-98), es un poco más flexible, no obstante podría considerarse que la mayoría de los sitios en cuestión no cumple también con esta norma. Los resultados indican que hay una alta contaminación bacteriológica en las aguas superficiales de la unidad hidrográfica río Sucio.

- Plaguicidas

En cuanto a plaguicida únicamente se tuvo información de siete sitios, en ellos se evaluaron alrededor de 29 parámetros. (Tabla XLVII).

**Tabla XLVII. Parámetros de pesticidas**

No	Nombre	Ubicación	Coordenadas		Laboratorio	Fecha análisis	Parámetros medidos	Resultados
			Este	Norte				Mg/L
1	Presas muñoz	Chichigalpa	495763	1383221	LAQUISA	10/05/2013	Malation, Metil paration, ppDDT, Hectacoloro, Aldrin, Endrin, Endosulfan, Clorpirifos, Diazinon, Dimetoato, Monocrotophos, Profenofos, Terbufos	<1
2	Presas carbonera	Chichigalpa	496624	1386371	LAQUISA	10/05/2013		
3	Presas culequera	Chichigalpa	497476	1384742	LAQUISA	10/05/2013		
4	Presas zapatera	Chichigalpa	495185	1382764	LAQUISA	10/05/2013		
5	Presas Zepeda	Chichigalpa	495571	1384631	LAQUISA	10/05/2013		
6	Rio Carbonero	Chichigalpa	496945	1386932	AN-1252	04/12/2014	Coumafos, Tribufo, Etil-paration, Etion, Fention, Forate, Azinfos-metil, Mocap, Terbifos, Fosalone, Alfa-HCH, Beta-HCH, Delta_HCH, Lindano, pp-DDE, pp-DDD, Hectacoloro-Epoxido, Toxafeno, Malation, Metil paration, ppDDT, Hectacoloro, Aldrin, Endrin, Endosulfan, Clorpirifos, Diazinon, Dimetoato, Monocrotophos, Profenofos, Terbufos.	AND
7	Rio Sucio	Chichigalpa	493313	1383077	AN-1253	04/12/2014		

Fuente: base de datos ANA (2015), proyecto PROATAS/GIZ (2016).

Los sitios evaluados en 2013, indican que los parámetros de encuentran con valores <1. La norma CAPRE y la NTON 05-007-98, establecen valores de 0.2 mg/l para pesticidas órganoclorados y 0.1 mg/l para elementos órganofosforados. En los sitios evaluados en 2014, no fue detectado presencia de pesticidas.

#### **4.2.2. Calidad de agua subterránea**

##### **4.2.2.1. Análisis de campo**

En campo se evaluaron 59 sitios de fuentes subterráneas, dentro de los parámetros analizados están: temperatura (T), pH, oxígeno disuelto (OD) y conductividad eléctrica (CE). (Tabla XLVIII y anexo 13).

Tabla XLVIII. **Parámetros de calidad medidos en campo**

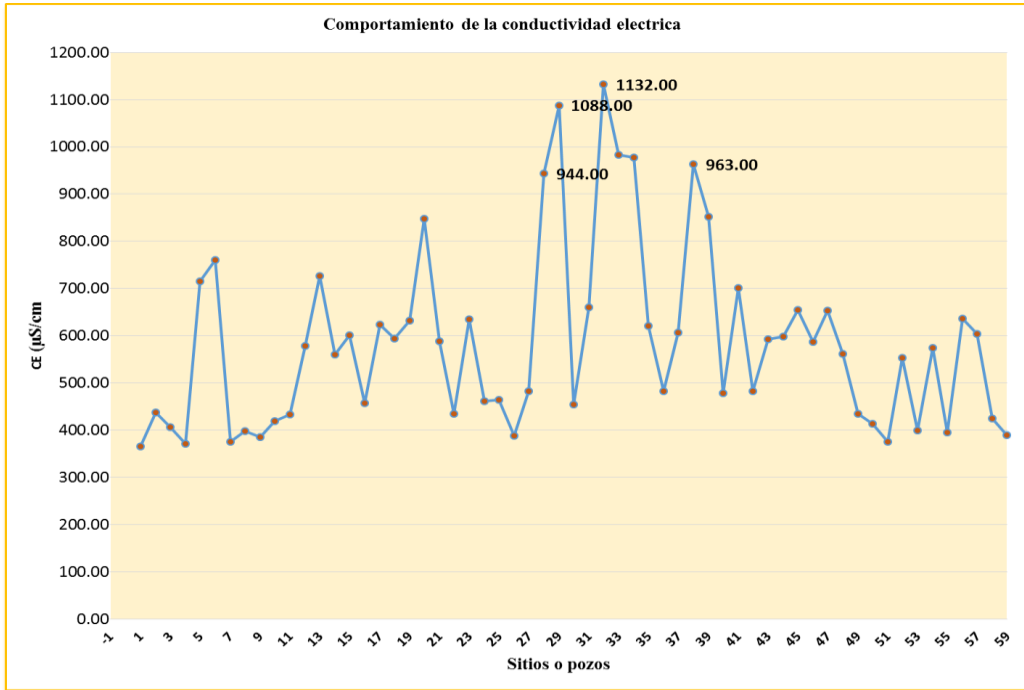
<b>Id</b>	<b>Sitos</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>CE (µS/cm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>OD (mg/l)</b>	<b>pH</b>
1	Sirama Norte	498702	1391349	365	28.25	3.91	7.05
2	Pozo 2	500139	1395078	438	27.39	4.71	6.96
3	Pozo 3	500827	1397521	407	25.76	1.41	6.66
4	Versalle	502789	1400615	371	22.62	5.86	8.06
5	Lateral 3 ríos	492796	1383024	715	29.7	2.96	7.26
6	Goteo Amalia	490676	1385147	760	29.6	2.45	7.6
7	El Piñal	494833	1382622	376	28.5	1.75	7.06
8	Muñoz Lago	495631	1383056	398	28.6	0.82	7.04
9	América	495193	1381706	385	28	1.52	-
10	Silvania 7	495682	1380989	419	28	1.78	-
11	Silvania 6	496303	1381288	434	29.5	4.86	-
12	Fruta de Pan - LP	497157	1387490	579	29.5	4.05	-
13	Mexicano	498104	1387884	727	29.5	2.82	-
14	Tihuilote	497078	1388417	560	29	3.24	-
15	Adela Centro 1	495887	1387709	601	28.1	2.7	-
16	Adela Centro 4	495366	1387555	458	29.2	2.87	-
17	Adela Centro 3	495556	1387259	623	29.7	4.04	-
18	Adela Centro 2	495256	1386790	594	30	2.32	-
19	Adela Curva	494924	1386160	632	29.1	4.1	-
20	Carbonera	496451	1386340	848	31.5	2.04	-
21	Zapatera	494463	1386669	589	29.4	3.92	-
22	Bananera 3	493804	1386658	435	28.9	3.88	-
23	Martirio 2	493390	1386043	635	29.2	3.77	-
24	Delicia - Delicitas	493926	1387268	461	28.6	4.05	-
25	Delicia - Manolo	494471	1387660	465	28.5	3.73	-
26	Delicia Potrero	494816	1388196	388	28.5	3.47	-
27	Delicia J Real	494558	1388884	483	28.3	3.7	-
28	Pivote Santa Fe	493777	1389159	944	29.8	2.65	-
29	Santa Fe 1	494317	1389619	1088	29.2	1.85	-
30	San Fernando 4	494695	1390958	455	28.4	4.03	-
31	San Juancito	495202	1390982	661	27.5	3.41	-
32	San Pedro 1	493035	1389556	1132	30.6	1.59	-
33	San Pedro 2	492998	1388908	983	29.7	2.38	-
34	Cutillas 2	492682	1388418	977	29.7	1.74	-
35	San Luis Lago	492469	1387460	621	28.4	4.62	-

<b>Id</b>	<b>Sitos</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>CE (μS/cm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>OD (mg/l)</b>	<b>pH</b>
36	Cutillas 3	492941	1387856	483	29	2.56	-
37	San Luis Granero	492898	1387149	607	29.3	4.58	-
38	Cutillas 1	491854	1387860	963	30.5	3.97	-
39	Goteo Trinidad 1	491127	1387326	852	29.5	2.9	-
40	Delicias Avanzadas	493740	1388291	478	29.3	3.86	-
41	Delicias Presa	493339	1387676	701	29.4	2.78	-
42	Martirio 3	492915	1386339	482	29.1	2.67	-
43	Leona Norte	493970	1385493	593	30.1	4.85	-
44	Martirio 1	493823	1385824	599	29.8	2.94	-
45	Lateral Espinoza	493130	1385299	654	29.7	3.69	-
46	Morales San Alejandro	494176	1384806	587	29.8	4.4	-
47	Goteo Rincón Grande	495433	1384778	653	30.4	3.31	-
48	Goteo Benard	495315	1384297	562	30.1	3.49	-
49	Cepeda	495870	1384389	435	29.3	4.4	-
50	Palacios	496935	1383832	413	29.7	1.38	-
51	Goteo Muñoz Centro 1	496517	1382952	376	29.8	1.82	-
52	Monte verde 2	498796	1384781	553	31.2	2.07	-
53	Monte verde 1	499180	1386026	400	29.2	3.56	-
54	Pellas 1	498009	1386065	574	29.6	3.24	-
55	Pellas 4	498125	1385338	395	28.9	3.13	-
56	Lateral Pellas 1	497493	1385527	636	30.1	2.61	-
57	Pellas 3	496750	1385146	604	29.6	4.06	-
58	Palacio Culequera	497706	1384246	425	29.4	4.48	-
59	Vivas	496311	1383963	390	28.9	4.62	-

Fuente: elaboración propia.

El comportamiento de las variables: conductividad, temperatura y oxígeno disuelto, se reflejan en la figura 46, 47 y 48.

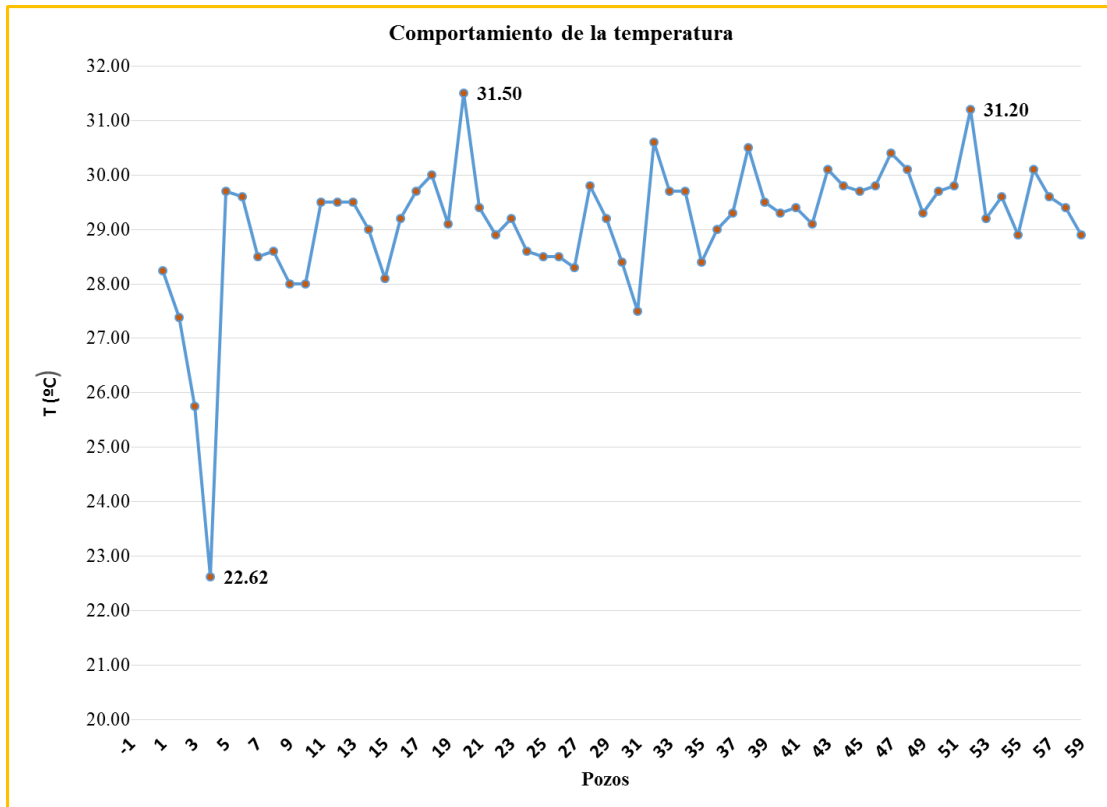
Figura 46. **Valores de conductividad eléctrica (CE)**



Fuente: elaboración propia.

La única norma que establece valores de referencia para la conductividad eléctrica es la CAPRE, establecida para agua potable. Esta norma establece un valor permisible de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Partiendo de este valor guía, la mayoría de pozos no cumplen si el destino del agua es para consumo humano. Los pozos que presentan mayor CE son: 29, 32, 33 y 34 con valores mayores a los 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Figura 47. **Análisis de temperatura**

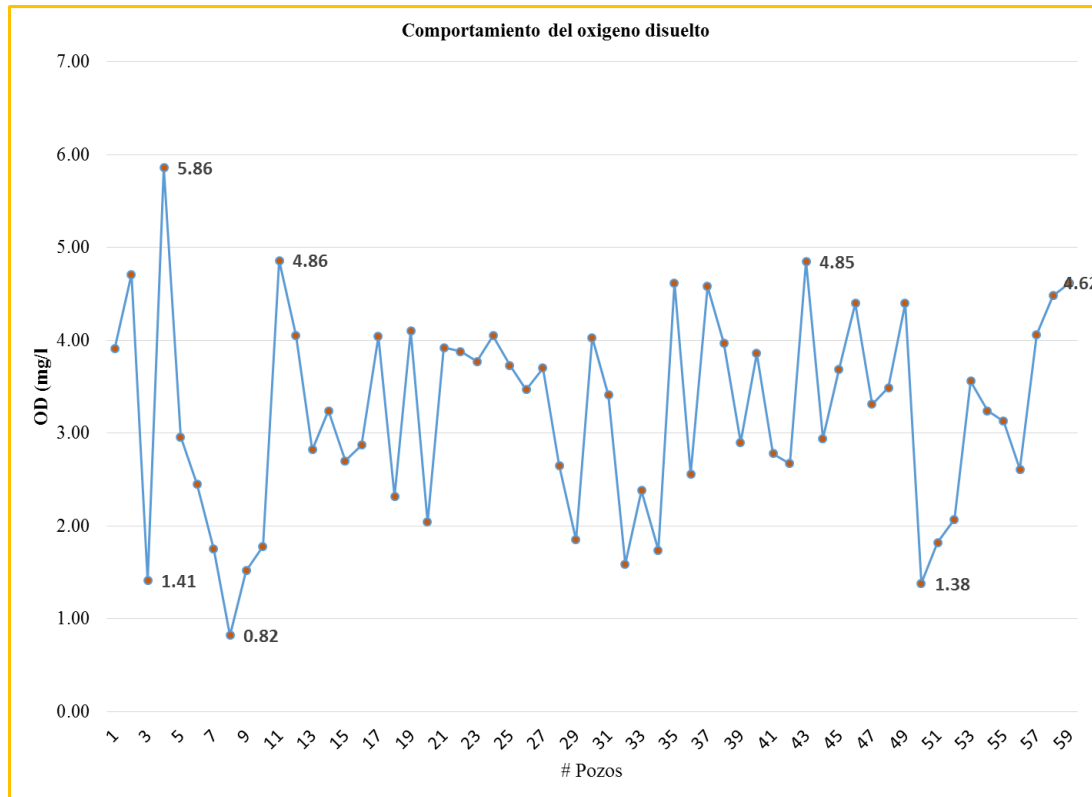


Fuente: elaboración propia.

La temperatura en su mayoría presenta valores dentro de los parámetros normados, a excepción de los sitios 32, 52 y 56.



Figura 48. **Análisis de oxígeno disuelto**



Fuente: elaboración propia.

El oxígeno disuelto en agua subterránea generalmente es bajo, sin embargo, es un indicador de la calidad de agua de una fuente. Valores muy bajo (menor a 1 por ejemplo), puede ser un factor de contaminación. Los sitios que presentan el menor valor de oxígeno disuelto es el ocho (0.82 mg/l) y 50 (1.38 mg/l).

El pH fue medido únicamente en ocho sitios, en las cuales presenta valores dentro de las normas CAPRE y NTON 05-007-98.

#### 4.2.2.2. Análisis de laboratorio

- Parámetros fisicoquímicos

Para la determinación de la calidad fisicoquímica del agua subterránea se evaluaron 44 pozos: 11 sitios tomado de base de datos del CIGEO-UNAN; en período 2004 a 2005, 20 sitios de la base de datos del SiAGUA-ANA; período 2013 a 2014, nueve sitios de la base de FISE (2015), y cuatro sitios que fueron monitoreados por el proyecto PROATAS (2016). (Tabla XLIX, anexo 14).

Tabla XLIX. **Calidad de agua de pozos monitoreados**

No	Municipio	Nombre	Coordenadas		Fecha de Muestreo
			Este	Norte	
1	Chichigalpa	Hda. El Porvenir	503950	1396060	01/08/1995
2	Posoltega	Posoltega	502150	1387750	01/08/1995
3	Chichigalpa	San José del Tololar	502650	1391500	01/08/1995
4	Chichigalpa	El Carmen	490110	1386110	26/04/1999
5	Chichigalpa	Las Nubes	500110	1394850	26/04/1999
6	Chichigalpa	Santa Isabel	492370	1380870	01/11/1999
7	Posoltega	Centro experimental	502030	1387696	20/10/2004
					28/03/2005
8	Posoltega	Finca La Perla	502374	1388698	21/10/2004
					28/03/2005
9	Chichigalpa	ISA Monte Verde	498784	1384594	28/03/2005
10	Chichigalpa	Valle L. Mayorga 1	501184	1389097	19/10/2004
					28/03/2005
11	Chichigalpa	Valle L. Mayorga 2	501841	1389553	21/10/2004
					28/03/2005
12	Chichigalpa	Espinoza Sur	492486	1385163	08/03/2013
13	Chichigalpa	Bananera No 5	493366	1386752	08/03/2013
14	Chichigalpa	Mexicano	498104	1387884	26/04/2013
15	Chichigalpa	Martirio 1	493823	1385824	26/04/2013
16	Chichigalpa	Pozo Pelas 3	496750	1385146	26/04/2013
17	Chichigalpa	San Juancito	495202	1390982	26/04/2013

No	Municipio	Nombre	Coordenadas		Fecha de Muestreo
			Este	Norte	
18	Chichigalpa	San pedro No. 1	493035	1389556	26/04/2013
19	Chichigalpa	Adela Centro 4	495366	1387555	25/04/2013
20	Chichigalpa	Monte Verde 1	499180	1386026	23/05/2013
21	Chichigalpa	Goteo Benard	495315	1384297	23/05/2013
22	Chichigalpa	Pozo el piñal	494833	1382622	23/05/2013
23	Chichigalpa	San Fernando 1	493466	1391933	26/04/2013
24	Chichigalpa	pomona#6	497596	1390502	27/02/2013
25	Chichigalpa	Cutilla no 1	491854	1387860	06/10/2014
26	Chichigalpa	Fruta de Pan	497157	1387490	06/10/2014
27	Chichigalpa	Tigüilote	497078	1388417	07/10/2014
28	Chichigalpa	Lateral 3 ríos	492797	1383019	06/10/2014
29	Chichigalpa	Lateral Santa Rosa	492398	1387099	18/06/2014
30	Chichigalpa	San Luis Granero	492887	1387147	18/06/2014
31	Chichigalpa	Ernestina	493202	1382574	06/10/2014
32	Posoltega	MABE EL Tololar #3	501671	1393150	02/07/2015
33	Chichigalpa	MABE Valle Nuevo	499360	1390772	14/07/2015
34	Chichigalpa	MABE Los Ébanos	498585	1393520	14/07/2015
35	Chichigalpa	MABE Candelaria	495769	1388657	15/07/2015
36	Chichigalpa	MABE El Comején	500780	1391524	14/07/2015
37	Chichigalpa	MABE Villa Dolores	499460	1391833	14/07/2015
38	Chichigalpa	MABE Los Siramas	498697	1391349	14/07/2015
39	Chichigalpa	MABE Pellizco	497986	1396896	14/07/2015
40	Chichigalpa	Mabe San Benito	493895	1393424	13/07/2015
41	Chichigalpa	sector la isla	497582	1388070	24/05/2016
42	Chichigalpa	Sector El triunfo	497840	1386262	24/05/2016
43	Posoltega	San Francisco, El Mojón	500261	1388407	24/08/2016
44	Posoltega	Tololar No. 1	502735	1391794	24/08/2016

Fuente: base de datos de: CIGEO, (2004, 2005), ANA (2013,2014), FISE (2015), PROATAS (2016).

Dentro de los elementos evaluados se mencionan: temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, sólidos totales disueltos, alcalinidad, dureza, entre otros. (Tabla L).

Tabla L. **Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua subterránea**

No	Temperatura	pH	CE	Turbidez	STD	Alcalinidad Total	Dureza Total	Na	Ca	Mg
	°C		µS/cm	UNT	mg/l	(CaCO3) mg/L	(CaCO3) mg/L	mg/l	mg/l	mg/l
1	nd	7.28	334.00	nd	319.98	nd	nd	16.80	38.10	14.44
2	nd	7.54	382.00	nd	374.59	nd	nd	20.00	39.68	18.29
3	nd	7.61	183.00	nd	169.37	nd	nd	10.00	19.05	7.22
4	nd	7.54	670.00	nd	540.88	nd	nd	47.60	50.97	28.87
5	nd	6.88	559.00	nd	451.48	nd	nd	20.00	57.14	23.10
6	nd	7.46	629.00	nd	632.00	nd	nd	35.77	37.00	71.00
7	nd	7.83	397.00	0.70	311.04	178.55	180.00	14.00	37.67	20.89
	nd	7.33	383.00	0.41	309.87	182.70	167.00	14.40	38.08	17.50
8	nd	7.36	366.00	0.92	291.36	156.45	153.00	12.80	36.47	15.07
	nd	6.80	361.00	0.72	292.48	160.65	154.00	13.50	35.27	16.04
9	nd	6.90	562.00	0.46	418.08	277.25	148.00	54.20	33.67	15.55
10	nd	7.78	520.00	0.38	396.90	283.55	248.00	19.35	52.89	28.18
	nd	6.87	458.00	1.24	359.00	245.75	211.00	16.60	45.29	23.81
11	nd	7.49	379.00	0.56	296.60	154.35	153.00	14.10	35.47	15.67
	nd	6.66	367.00	0.57	298.49	157.50	152.00	14.00	36.07	15.07
12	nd	8.03	249.60	nd	124.80	944.20	nd	48.10	81.20	35.10
13	nd	7.09	389.30	nd	194.65	800.00	nd	58.70	48.60	32.50
14	nd	7.30	723.90	nd	492.00	nd	307.60	20.20	67.50	33.80
15	nd	8.10	564.00	nd	373.70	564.00	nd	37.10	40.80	25.10
16	nd	7.60	564.00	nd	282.00	632.00	nd	41.80	51.70	22.30
17	nd	7.70	697.70	nd	473.20	nd	293.20	20.30	64.30	32.20
18	nd	7.40	533.40	nd	361.70	nd	22.30	16.30	47.60	25.10
19	nd	7.20	597.50	nd	404.20	nd	230.40	24.30	47.70	27.30
20	nd	7.80	507.60	nd	335.70	nd	207.50	22.70	50.00	20.10
21	nd	7.50	562.50	nd	379.60	nd	172.80	46.80	40.80	17.20
22	nd	7.50	426.00	nd	288.60	nd	160.20	29.20	43.20	12.70
23	nd	7.00	939.50	nd	638.60	nd	341.00	51.30	81.10	33.60
24	31.84	7.74	546.00	0.20	416.00	286.00	272.48	26.80	50.02	35.88
25	nd	7.10	512.50	nd	256.25	629.20	nd	63.61	34.24	20.29
26	nd	8.00	499.30	nd	249.65	243.00	nd	4.94	32.37	6.14
27	nd	7.80	451.10	nd	225.55	138.40	nd	9.10	12.40	3.68
28	nd	7.10	243.00	nd	121.50	512.50	nd	44.89	35.26	14.61
29	nd	8.20	525.90	nd	262.95	744.80	nd	40.68	51.85	36.14

No	Temperatura	pH	CE	Turbidez	STD	Alcalinidad Total	Dureza Total	Na	Ca	Mg
	°C		µS/cm	UNT	mg/l	(CaCO3) mg/L	(CaCO3) mg/L	mg/l	mg/l	mg/l
30	nd	7.80	464.50	nd	232.25	525.90	nd	28.80	28.28	30.20
31	nd	8.00	689.80	nd	344.90	358.90	nd	14.80	38.09	8.61
32	27.50	5.85	542.00	1.95	359.70	246.20	256.21	22.20	51.30	31.13
33	33.90	5.90	308.00	1.02	211.20	152.12	228.98	13.39	48.10	26.26
34	27.30	5.40	378.00	1.46	293.04	220.17	398.24	15.69	57.71	37.45
35	28.30	5.90	423.00	0.85	326.04	264.21	252.20	18.33	47.29	32.58
36	29.40	5.80	343.00	0.98	236.30	176.15	238.19	14.05	44.89	30.64
37	29.00	6.05	471.00	0.82	356.40	242.19	260.21	22.64	23.71	30.64
38	28.30	6.12	320.00	0.87	240.09	192.15	268.21	13.84	53.71	32.58
39	27.00	5.70	343.00	0.78	262.02	204.16	354.28	14.49	70.54	43.29
40	nd	5.60	272.00	nd	308.25	527.00	30.00	41.00	63.33	36.48
41	29.50	7.01	676.00	0.50	467.24	302.05	292.00	30.00	57.72	35.96
42	29.90	7.16	556.00	0.50	348.82	254.03	240.00	22.10	46.49	30.13
43	28.50	7.17	316.00	0.60	205.18	137.00	139.00	10.85	32.46	14.09
44	28.10	7.27	367.00	4.60	244.16	99.00	151.00	11.00	39.68	12.64

No	K	Fe2	Bicarbonatos (HCO3) mg/L	CO3	Cl	SO4	NO3	NO2
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	5.90	0.17	211.37	nd	9.19	13.75	10.05	nd
2	7.95	0.13	257.69	nd	4.02	8.87	17.67	nd
3	3.15	0.76	105.38	nd	3.89	6.02	13.67	nd
4	8.77		324.08	9.96	18.84	47.23	4.08	nd
5	7.04	0.07	253.17	nd	10.86	6.40	73.28	nd
6	0.22		456.00	NSD	79.00	26.00	6.16	nd
7	7.41	<0.04	217.85	<2.00	4.09	9.92	22.74	<0.003
	7.69	<0.02	222.97	<2.00	4.42	9.69	21.11	<0.003
8	6.22	0.06	190.93	<2	4.12	10.62	23.25	<0.003
	6.78	0.09	196.06	<2	4.21	10.11	23.53	<0.003
9	20.20	<0.02	338.29	<2.00	10.36	19.52	4.41	0.02
10	9.60	<0.04	346.01	<2.00	3.61	10.66	11.85	<0.003
	8.70	<0.2	299.85	<2.00	4.14	8.86	15.01	<0.003
11	6.22	0.16	188.37	<2	4.39	13.33	26.18	0.00
	6.58	0.03	192.21	<2.00	5.15	13.16	26.82	0.03

No	K	Fe2	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) mg/L	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
12	9.50	nd	421.60	nd	26.90	81.90	3.80	nd
13	10.90	nd	365.90	nd	23.00	66.20	7.20	nd
14	5.70	nd	398.60	<2.4	10.76	33.00	1.40	<0.03
15	7.00	nd	283.40	<2.4	12.70	21.40	13.70	<0.03
16	7.80	nd	312.90	nd	19.00	52.10	4.70	nd
17	5.40	nd	410.30	<2.4	12.20	14.20	1.60	<0.03
18	2.90	nd	246.50	<2.4	nd	27.20	5.10	<0.03
19	12.50	nd	304.00	<2.4	nd	16.00	2.00	<0.03
20	6.10	nd	287.80	<2.4	7.33	13.00	4.50	<0.03
21	8.10	nd	287.80	<2.4	14.10	19.00	7.40	<0.03
22	3.70	nd	221.40	<2.4	10.20	10.10	7.00	<0.03
23	13.80	nd	276.00	<2.4	90.00	76.00	<0.9	<0.03
24	9.38	<id	349.03	<id	4.79	20.61	10.54	0.00
25	3.53	nd	265.84	nd	34.44	33.15	7.12	nd
26	2.87	nd	117.46	nd	5.34	2.51	13.55	nd
27	3.59	nd	70.48	nd	3.40	1.60	8.69	nd
28	5.46	nd	159.50	nd	41.23	55.69	6.02	nd
29	3.35	nd	283.20	8.50	35.30	48.20	8.58	nd
30	5.23	nd	202.32	nd	22.94	35.39	20.30	nd
31	7.61	nd	168.16	nd	6.79	10.38	15.62	nd
32	9.00	0.62	300.22	0.00	34.98	14.13	13.77	0.14
33	5.65	0.07	185.51	0.00	21.99	5.72	20.44	0.00
34	7.25	0.06	268.49	0.00	25.98	8.90	14.57	0.00
35	8.88	0.05	322.18	0.00	24.99	9.91	20.65	0.00
36	6.57	0.03	214.79	0.00	29.99	6.03	15.81	0.00
37	8.02	0.03	295.34	0.00	27.98	10.32	14.28	0.00
38	5.65	0.02	234.35	0.00	20.99	4.30	25.54	0.00
39	6.57	0.03	248.96	0.00	24.97	3.47	18.86	0.00
40	12.18	0.09	258.73	0.00	73.97	29.00	13.43	nd
41	10.80	<0.62	368.56	<2.0	10.50	38.87	9.53	<0.003
42	11.31	<0.62	309.98	<2.0	6.40	27.28	9.98	<0.003
43	3.83	0.04	167.19	<2.0	3.19	6.04	12.51	<0.003
44	4.33	0.31	120.82	<2.0	6.94	24.86	45.06	0.02

No	F	As	Mn	Pb	Fosfato	B	Amonio	Sílice	Color
	mg/l	µg/L	µg/L	µg/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UNT
1	0.1	nd	nd	nd	nd	0.05	nd	nd	nd
2	0.19	nd	nd	nd	nd	0.05	nd	nd	nd
3	0.09	nd	nd	nd	nd	0.05	nd	nd	nd
4	0.56	nd	nd	nd	nd	0.11	nd	nd	nd
5	0.39	nd	nd	nd	nd	0.02	nd	nd	nd
6		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
7	0.22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5
	0.32	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<5.0
8	0.24	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5
	0.3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<5
9	0.24	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<5.0
10	0.28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<5.0
	0.39	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<5
11	0.25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5
	0.28	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<5
12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
13	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14	nd	nd	nd	nd	0.37	<0.1	nd	nd	nd
15	nd	nd	nd	nd	0.45	0.1	nd	nd	nd
16	nd	nd	nd	nd	0.33	nd	nd	nd	nd
17	nd	nd	nd	nd	0.37	<0.1	nd	nd	nd
18	nd	nd	nd	nd	nd	<0.1	nd	nd	nd
19	nd	nd	nd	nd	nd	<0.1	nd	nd	nd
20	nd	nd	nd	nd	nd	0.11	nd	nd	nd
21	nd	nd	nd	nd	nd	<0.1	nd	nd	nd
22	nd	nd	nd	nd	nd	<0.1	nd	nd	nd
23	nd	nd	nd	nd	nd	<0.1	nd	nd	nd
24	<id	nd	nd	nd	nd	nd	<id	87.83	10
25	nd	nd	nd	nd	0.03	nd	nd	nd	nd
26	nd	nd	nd	nd	0.13	nd	nd	nd	nd
27	nd	nd	nd	nd	0.21	nd	nd	nd	nd
28	nd	nd	nd	nd	0.24	nd	nd	nd	nd
29	nd	nd	nd	nd	0.22	nd	nd	nd	nd
30	nd	nd	nd	nd	0.34	nd	nd	nd	nd
31	nd	nd	nd	nd	0.06	nd	nd	nd	nd
32	<LDM	ND	11.1	4.68	nd	nd	nd	nd	nd
33	<LDM	0.11	nd	0.85	nd	nd	nd	nd	nd

No	F	As	Mn	Pb	Fosfato	B	Amonio	Sílice	Color
	mg/l	µg/L	µg/L	µg/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UNT
34	<LDM	ND	nd	0.1	nd	nd	nd	nd	nd
35	<LDM	0.06	nd	0.36	nd	nd	nd	nd	nd
36	<LDM	0.03	nd	0.59	nd	nd	nd	nd	nd
37	<LDM	0.02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
38	<LDM	0.03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
39	<LDM	0.07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
40	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
41	0.52	nd	nd	nd	nd	nd	0.01	92.11	nd
42	0.5	nd	nd	nd	nd	nd	0	90.99	nd
43	<0.25	nd	nd	nd	nd	nd	0.02	85.58	nd
44	<0.25	nd	nd	nd	nd	nd	0.04	86.09	nd

nd= no determinado.

Fuente: base de datos de: CIGEO, (2004, 2005), ANA (2013,2014), FISE (2015), PROATAS (2016).

El parámetro temperatura presenta en su mayoría comportamientos dentro del rango establecido por la norma CAPRE, se exceptúa el sitio 24 (31.84 °C) y 33 (33.8 °C). La OMS y NTON 05-007-98 no establecen valores guías para este elemento.

Como se abordó anteriormente, la conductividad eléctrica solo tiene referencia en la norma CAPRE, la que establece criterios para agua potable (400 µS/cm), considerando este uso, únicamente 20 pozos de los 44 evaluados cumplen con el valor. No hay restricción para otro uso, debido a que no se reflejan en ninguna de las otras dos normas (Guía OMS, NTON 05-007-98).

En cuanto a turbidez, las tres normas consultadas establecen valores entre 1 – 5 UNT. De los 44 sitios, solo 22 de ellos fueron evaluados y los valores resultantes, están dentro de lo establecido.



En cuanto a sólidos totales disueltos, las normas de referencias establecen valores de 1,000 a 1,500 mg/l, y los resultados obtenidos indican valores normales.

En cuanto a alcalinidad, únicamente la guía OMS establece valor de referencia con 200 mg/l. La cantidad de 37 pozos fueron evaluados, de estos, 22 pozos presentan valores de alcalinidad por encima de la norma OMS.

Para la dureza total, la norma CAPRE y NTON 05-007-98 establecen valores de 400 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Los resultados de los pozos evaluados indican parámetros normales, es decir, dentro de la norma.

En cuanto al sodio, las tres normas establecen valores entre 25 a 200 mg/l; comparándolos con los resultados obtenidos de cada pozo, se determina que están dentro de los establecido, al igual que el calcio y el magnesio, a excepción del sitio seis que presentan un valor de magnesio de 71 mg/l.

El potasio está referido en la guía OMS y norma CAPRE, con valores de 10 hasta 150 mg/l, los valores obtenidos de cada pozo están dentro de los valores normales.

Los bicarbonatos, según la OMS, el valor guía es de 200-400 mg/l, la mayoría de los sitios, se encuentran dentro del rango establecido, con excepción de los sitios: 6, 12 y 17. Los carbonatos se encuentran dentro del valor guía de la OMS.

Los elementos siguientes, tales como: cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos y fluoruros, presentan valores dentro de lo establecido en las normas, a excepción del sitio cinco, que presentan valores de nitratos fuera de los rangos normados.

En cuanto al arsénico, la OMS en su última modificación a la guía de agua potable, estableció valor provisional de 10 µg/l (0.01 mg/l). En el monitoreo únicamente seis sitios de los 44 pozos fueron evaluados. Los resultados indican presencia de arsénico en los sitios: 33,35, 36, 37, 37 y 39 con valores que oscilan entre 0.02 a 0.10 µg/l, no obstante, estos valores se encuentra por debajo de lo establecido por la OMS.

Para el manganeso, las tres normas consultadas establecen valores de 0.1 a 0.5 mg/l y hasta de 5 mg/l. Solo un sitio muestra análisis de laboratorio, este presenta valores por debajo de lo establecido.

El plomo fue medido en cinco pozos, de los cuales presentaron valores por debajo de lo establecido tanto en la norma CAPRE como OMS. En cuanto al fósforo las tres referencias consultadas no establecen valores guías.

En cuanto al Boro, este elemento fue evaluado en 14 sitios. Para este elemento la OMS establece valores de 0.05 mg/l y la NTON 05-007-98 de 1 mg/l para agua de tipo 2 (2B), agua para uso no potable. Como resultado, se obtuvo que tres sitios (4, 15 y 20) presentan valores por encima de la norma.

Para el catión amonio la OMS sugiere un umbral gustativo hasta 35 mg/l, la norma CAPRE establece de 0.05 a 0.5 mg/l. Se analizaron cuatro sitios, los cuales presentan parámetros por debajo de la norma. En cuanto a sílice, no se establece en las normas consultadas valores guías. Para el color se establece valores de 1 a 15 U Pt-Co, en este parámetro fueron analizados 10 pozos y todos mostraron parámetros dentro de los rangos de las normas.

- **Parámetros microbiológicos**

Dentro de los parámetros evaluados se encuentran: Coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli. Se evaluaron 17 pozos, de ellos, dos ubicados en la fracción del municipio de Posoltega que le corresponde a la cuenca, el resto de pozos, ubicados en el Chichigalpa, principal municipio de la unidad hidrográfica río Sucio. (Tabla LI).

**Tabla LI. Parámetros microbiológicos**

No	Municipios	Fuente	Coordenadas		Fecha de Muestreo	Col. Totales	Col. Fecales	E. Coli
			Este	Norte		UFC/100 ml	UFC/100 ml	UFC/100 ml
1	Chichigalpa	Martirio 1	493823	1385824	26/04/2013	250	140	nd
2		Pozo Pelas 3	496750	1385146	26/04/2013	340	230	nd
3		Lateral 3 ríos	492797	1383019	18/06/2014	0	0	nd
4		L. Santa Rosa	492398	1387099	18/06/2014	60	60	nd
5		San Luis Granero	492887	1387147	18/06/2014	210	110	nd
6		San Juancito	495202	1390982	25/04/2013	6	0	nd
7		San pedro No. 1	493035	1389556	25/04/2013	10	0	nd
8		Adela Centro 4	495366	1387555	25/04/2013	0	0	nd
9		Monte Verde 1	499180	1386026	13/05/2013	680	260	nd
10		Goteo Benard	495315	1384297	13/05/2013	110	30	nd
11		Pozo el piñal	494833	1382622	13/05/2013	330	230	nd
12		San Fernando 1	493466	1391933	25/04/2013	0	0	nd
13		Pomona # 6	497596	1390502	27/02/2013	NMP/100 ml	NMP/100 ml	NMP/100 ml
						<1.8	<1.8	<1.8
14		Sector la Isla	497582	1388070	24/05/2016	4.5	<1.8	<1.8
15	Sector El triunfo	497840	1386262	24/05/2016	37	<1.8	<1.8	
16	Posoltega	Sn Francisco, E.M	500261	1388407	24/08/2016	49	33	17
17	Posoltega	Tololar No1.	502735	1391794	24/08/2016	23000	4900	4900

Fuente: base de datos de: SiAgua-ANA (2013,2014), FISE (2015), PROATAS (2016).

En el 82.35 % de los sitio evaluados presentaron coliformes totales, en 70 % se encontró coliformes fecales. Únicamente 5 sitios fueron evaluados para determinar E. Coli y todos ellos tienen presencia.

La presencia de los tres parámetros microbiológicos analizados, es un indicador de la contaminación del agua, y pueden deberse al contacto con heces humanas o de animales, o a la cercanía a centros poblados donde los servicios sanitarios son nulos o deficientes.

Al evaluar el agua de los pozos con fines de agua potable, ningún sitio sería apto. La guía OMS y la norma CAPRE establecen que en agua de consumo humano la presencia debe ser nula. La NTON 05-007-98 establece para todos los coliformes incluyendo la E. Coli los siguientes criterios: para aguas de Tipo 1 (1A) un promedio mensual de 2000 NMP/100 ml; para Tipo 1 (1B) el valor promedio mensual de 1000 NMP/100 ml. Cabe señalar que los tipo 1A y 1B, son aguas que se pueden usar para agua potable siempre que se someta a un tratamiento efectivo. De superar los valores de 1A y 1B, el agua pierde calidad y se cataloga de Tipo 2 (2A y 2B), que son aguas utilizables en el sector agropecuario. El tipo 2A es para riego de vegetales destinados a consumo humano, en cambio el 2B es para riego de todo cultivo. A medida que el número de bacteria vaya siendo mayor en el agua se irá perdiendo categoría y su uso será restringido y destinado a otros fines sin contacto humano.

El sitio 17, conocido como Tololar 1 presentan valores de coliformes por encima de cualquier norma o clasificación, por lo que se debería poner mucha atención. Como conclusión se podría decir que las zonas de la cuenca en donde se evaluó el aspecto microbiológico, están fuertemente contaminado.

- Plaguicidas

Al igual que los parámetros anteriores, se consideraron diferentes fechas de análisis para diferentes sitios. Como ya se ha enmarcado, en la cuenca se carece de monitoreo sistemático de la calidad de agua, por tanto, ha sido difícil de evaluar el comportamiento de un sitio específico en el tiempo. En el presente estudio se consideraron 17 pozos, con información suministrada por el SiAgua-ANA, PROATAS, CIGEO-UNAN y el estudio de la cuenca 64. De los 17 sesitos, 4 corresponde a la zona de Posoltega y el resto al municipio de Chichigalpa. (Tabla LII).

Tabla LII. **Evolución de pesticidas en agua subterránea en la cuenca**

No	Municipio	Nombre de la fuente	Coordenadas		Fecha análisis
			Este	Norte	
1	Posoltega	Centro experimental	502030	1387696	20/10/2004
					28/03/2005
2	Posoltega	Finca La Perla	502374	1388698	21/10/2004
					28/03/2005
3	Chichigalpa	ISA Monte Verde	498784	1384594	28/03/2005
4	Chichigalpa	Valle L. Mayorga 1	501184	1389097	19/10/2004
					28/03/2005
5	Chichigalpa	Valle L. Mayorga 2	501841	1389553	21/10/2004
					28/03/2005
6	Chichigalpa	San Juancito	495202	1390982	30/04/2013
7	Chichigalpa	San pedro No. 1	493035	1389556	30/04/2013
8	Chichigalpa	Adela Centro 4	495366	1387555	30/04/2013
9	Chichigalpa	Monte Verde 1	499180	1386026	03/06/2013
10	Chichigalpa	Goteo Benard	495315	1384297	03/06/2013
11	Chichigalpa	Pozo el piñal	494833	1382622	03/06/2013
12	Chichigalpa	San Fernando 1	493466	1391933	30/04/2013
13	Chichigalpa	pomona#6	497596	1390502	
14	Chichigalpa	Sector la isla	497582	1388070	24/05/2016
15	Chichigalpa	Sector El triunfo	497840	1386262	24/05/2016

No	Municipio	Nombre de la fuente	Coordenadas		Fecha análisis
			Este	Norte	
16	Posoltega	San Francisco, El Mojón	500261	1388407	24/08/2016
17	Posoltega	Tololar No1	502735	1391794	24/08/2016

Fuente: base de datos de: SiAgua-ANA (2013,2014), FISE (2015), PROATAS (2016).

A continuación se presentan los resultados de los sitios 1 al 5. Estos están en unidades de nanogramos por litros (ng/l). (Tabla LIII).

**Tabla LIII. Parámetros de pesticidas en pozos, sitios de 1-5**

Sitios	Alfa-HCH ng/l	Beta-HCH ng/l	Delta-HCH ng/l	Lindano ng/l	pp-DDE ng/l	pp-DDD ng/l	pp-DDT ng/l	Hectacloro ng/l	Heptacloro-Epoxido ng/l	Aldrin ng/l	Dieldrin ng/l	endrin ng/l	Endosulfan I ng/l	Endosulfan II ng/l	Toxafeno ng/l
1	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	0.88	AND	AND	AND	AND
	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND
2	AND	AND	AND	AND	AND	AND	5.96	AND	AND	AND	3.11	8.83	AND	AND	71.43
	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND
3	AND	AND	AND	AND	0.83	AND	2.52	0.78	AND	AND	1.04	nd	AND	AND	AND
4	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND
	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND
5	AND	AND	AND	AND	0.59	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND
	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND	AND

Fuente: PROATAS (2016), SiAgua-ANA (2014), CICEO-UNAN (2005).

El sitio 2 y 3 de la tabla anterior presentó valores de ppDDT, dieldrin, endrin toxofeno, no obstante, los valores están por debajo de lo establecido por la norma CAPRE y NTON 05-007-98; por ejemplo, el sitio 2 presentan un valor de 71.43 ng/l, valor más alto de la tabla, este equivale a 0.00007043 mg/l. Las normas establecen 0.2 mg/l para pesticidas organoclorados y 0.1 mg/s para organofosforados.

Tabla LIV. **Parámetros de pesticidas en pozos, sitios 6-17**

Sitio	Coordenadas		Parámetros medidos	Resultado (mg/l)
	Este	Norte		
6	495202	1390982	Malation, Metil- paration, ppDDT, Hectacoloro, Aldrin, Endrin, Endosulfan, Clorpirifos, Diazinon, Dimetoato, Monocrotophos, Profenofos, Terbufos	<1
7	493035	1389556		
8	495366	1387555		
9	499180	1386026		
10	495315	1384297		
11	494833	1382622		
12	493466	1391933	Coumafos, Tribufo, Etil-paration, Etion, Fention, Forate, Azinfos-metil, Mocal, Terbifos, Fosalone, Alfa-HCH, Beta-HCH, Delta_HCH, Lindano, pp-DDE, pp-DDD, Hectacoloro-Epoxido, Toxafeno, Malation, Metil paration, ppDDT, Hectacoloro, Aldrin, Endrin, Endosulfan, Clorpirifos, Diazinon, Dimetoato, Monocrotophos, Profenofos, Terbufos.	AND
13	497596	1390502		
14	497582	1388070		
15	497840	1386262		
16	500261	1388407		
17	502735	1391794		

Fuente: PROATAS (2016), SiAgua-ANA (2014). AND=Analizado no Detectado.

Los sitios evaluados en la tabla LIV (6-12) presentan valores menores a la unidad (<1), en los sitios 13 al 17, no fue detectado ningún valor.

## **5. DEMANDA DE AGUA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SUCIO**

### **5.1. Agua potable**

La demanda de agua potable estimada para la cuenca hidrográfica río Sucio, se basó en el consumo registrado según las siguientes fuentes de información: Registro de Concesiones otorgadas por la Autoridad Nacional del Agua hasta enero de 2017, registro de consumo de sistemas rurales que monitorea el SIASAR hasta 2015, registro de consumo urbano facilitados por ENACAL al 2015.

La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), en el plan estratégico institucional 2013-2017, menciona que la población urbana de Chichigalpa (97.85 % de la población urbana de la cuenca) tiene una cobertura de agua potable es de 89.9 %, encontrándose un déficit de 10.1 %. Ese déficit para la cuenca representaría aproximadamente una población de 4,335 habitantes. A nivel rural se estima una cobertura de 38 % (SIASAR, 2017), siendo el déficit de 62 %, que es la demanda que la población se abastece a través de pozos excavado u otro sistema.

Para determinar el consumo que no está haciendo atendida a nivel urbano y rural, el que no está contabilizado, se tomó como base para determinarlo, la Norma Técnica Nicaragüense para el Diseño de Abastecimiento y Potabilización de Agua, elaborada por el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), donde establece para rango de poblaciones de 5,000 a 10,000 habitantes una dotación de agua de 95 l/hab./día.



Partiendo de la base de datos de la cobertura y/o extracción contabilizada y el volumen estimado a partir del déficit de cobertura, se obtuvo la demanda para el uso de agua potable. (Tabal LV).

**Tabla LV. Demanda estimado en agua potable**

No	Sistema	Administración	Coordenadas		Demanda (m <sup>3</sup> )	
			Este	Norte	Mensual	Anual
1	MABE	CAPS Comején	500816	1391521	310.88	3730.53
2	MABE	CAPS Villa Dolores	499478	1391808	138.17	1658.01
3	MABE	CAPS Sirama Sur	498695	1391399	151.98	1823.81
4	MABE	CAPS Las Nubes	500131	1395078	276.34	3316.02
5	MABE	CAPS Pellizco Occidental	498018	1396966	518.13	6217.54
6	PPEBP # 1	CAPS Santa Matilde 1	495752	1392400	110.53	1326.41
7	PPEBM # 2	CAPS Santa Matilde 2	495547	1392127	2487.02	29844.21
8	PPEBM # 3	CAPS Chichigalpina	495274	1392119	2487.02	29844.21
9	PPEBM # 4	CAPS Santa Matilde 4	495536	1391962	2487.02	29844.21
10	PPEBM # 5	CAPS Parte este Santa Matilde	495741	1392237	1989.61	23875.37
11	MABE	CAPS San Benito 1	493895	1393424	9119.06	109428.77
12	MABE	CAPS Valle las Mayorga	501188	1389292	13264.09	159169.12
13	MABE	CAPS Fe y Esperanza	501140	1389693	2901.52	34818.25
14	MABE	CAPS Valle Viejo	500292	1390364	1243.51	14922.11
15	MABE	CAPS Tololar No 1	502007	1391153	2901.52	34818.25
16	PPEBE	MINSA	497630	1391834	9810.00	117720.00
17	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	497989	1392756	32702.40	392428.80
18	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	499250	1387333	4745.00	56940.00
19	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	497655	1387254	465.00	5580.00
20	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	497842	1386264	614.00	7368.00
21	PPEBE	Alcaldía de Chichigalpa	500,826	1,397,518	673.00	8078.00
22	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495,307	1,385,722	55000.00	660000.00
23	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495,017	1,385,744	55000.00	660000.00
24	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494,594	1,384,992	50000.00	600000.00
25	MABE	ENACAL 7	497,160	1,392,052	101185.00	1214220.00
26	MABE	ENACAL 8	496,853	1,392,195	65492.00	785900.00
27	MABE	ENACAL 9	496,821	1,390,850	84929.00	1019150.00
28	MABE	ENACAL 10	496,593	1,388,883	110664.00	1327970.00
29	Varios	Demanda Urbana no atendida (10.1%)	Población: 4,335		12528.00	150333.00

No	Sistema	Administración	Coordenadas		Demanda (m <sup>3</sup> )	
			Este	Norte	Mensual	Anual
30	Varios	Demanda Rural no atendida (62%)	Población: 9,528		27535.00	330420.00
Total demanda (m <sup>3</sup> )					651728.69	7820744.22
Total demanda Mm <sup>3</sup>					0.65	7.82

Fuente: base a datos de ANA, ENACAL, SIASAR, 2015.

Tal como se observa en la tabla anterior, la demanda de agua potable en la cuenca es de 0.65 millones de m<sup>3</sup> mensuales para un total anual de 7.82 Mm<sup>3</sup> anuales.

## 5.2. Uso agrícola

Basado en el uso actual de la tierra, la agricultura representa la actividad principal de la cuenca con el 66.17 % del territorio (148.78 km<sup>2</sup>), no obstante, 33.02 km<sup>2</sup> son tacotales. Con base a lo anterior, se estima que las áreas cultivadas son 115.76 km<sup>2</sup> y de eso el 75.70 % es dedicado al cultivo de la caña de azúcar, a menor escala se encuentra (cultivos + pastos) con el 18.33 %, cultivos anuales (5.65 %) y café con sombra (0.31 %).

Basado los datos de la Dirección General de Concesiones de la Autoridad Nacional del Agua, la caña de azúcar es el principal cultivo que utiliza agua de riego. Estos riegos son realizados entre los meses de noviembre a mayo, es decir, durante siete meses al año.

En la demanda de agua para el sector agricultura, se consideró los aprovechamientos de agua superficial y agua subterránea. Esto con la finalidad de utilizar estos datos por separados en la estimación de la disponibilidad neta de agua de la cuenca. En la tabla LVI, se reflejan la demanda de agua superficial,

describiendo: empresa o dueño, coordenadas geográficas, caudales mensuales y anuales.

**Tabla LVI. Demanda de agua superficial para riego agrícola**

No	Empresa	Coordenadas		Q (m <sup>3</sup> /año)	Q (m <sup>3</sup> /mes)
		Este	Norte		
1	Nicaragua Cocotera, S.A	493152	1387751	84091.86	588643
2	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	493239	1388023	52557.43	367902
3	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	496398	1386373	52557.43	367902
4	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	495846	1383151	63068.86	441482
5	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	496936	1386808	63068.86	441482
6	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	495167	1387531	84091.86	588643
7	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	496580	1386401	203152	1422064
8	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	497936	1384809	146880.43	1028163
9	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	495583	1384608	1295505.57	9068539
10	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	492962	1382782	1884218.86	13189532
11	Nicaragua Comercial, S.A.	494445	1383327	1624.71	11373
12	Nicaragua Comercial, S.A.	490129	1380694	2184.29	15290
13	Nicaragua Comercial, S.A.	495743	1383168	1453.43	10174
14	Nicaragua Comercial, S.A.	490192	1381216	4121	28847
15	Nicaragua Comercial, S.A.	490165	1381210	1344211.2	9409478.4
16	Nicaragua Comercial, S.A.	490217	1380485	375087.09	2625609.6
17	Nicaragua Comercial, S.A.	495763	1383221	342711.77	2398982.4
18	Nicaragua Cocotera, S.A	493155	1387756	213056.23	1491393.6
19	Nicaragua Cocotera, S.A	491707	1384879	224269.71	1569888
20	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	496624	1386371	168060.34	1176422.4
21	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	497476	1384742	195128.23	1365897.6
22	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	493024	1382764	2212413.94	15486897.6
23	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	495571	1384631	2632195.2	18425366.4
24	Nicaragua Cocotera, S.A	487477	1380717	53468.43	374279
25	Nicaragua Cocotera, S.A	493155	1387756	284749.29	1993245.04
26	Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A.	491705	1384830	117103.64	819725.5
27	Nicaragua Comercial, S.A.	493279	1383060	25927.79	181494.5
Total m <sup>3</sup>				12,126,959.43	84,888,716.04
Total Mm <sup>3</sup>				12.13	84.89

Fuentes: base de datos de concesiones, Autoridad Nacional del Agua, 2017.

El aprovechamiento de agua superficial para fines agrícola se estima en 12.13 Mm<sup>3</sup> mensuales para un total de 84.89 Mm<sup>3</sup> anuales. Los principales usuarios agrícolas que demanda agua para riego son empresas de producción de caña de azúcar.

Para la determinación la demanda de agua subterránea se monitoreó 73 pozos, la mayoría de usuarios son empresas que demandan agua para riego, específicamente dedicadas a la producción de caña de azúcar. (Tabla LVII).

**Tabla LVII. Demanda de agua subterránea para riego agrícola**

No	Sistema	Nombre	Coordenadas		Q (m <sup>3</sup> /mes)	Q (m <sup>3</sup> /año)
			Este	Norte		
1	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	496395	1387891	119,908	839,357
2	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492789	1385696	149,886	1,049,204
3	PPEBE	Nicaragua Comercial, S.A.	495682	1380989	59,094	413,658
4	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494317	1389619	67,108	469,753
5	PPEBE	Nicaragua Comercial, S.A.	496517	1382952	71,543	500,800
6	PPEBE	Nicaragua Comercial, S.A.	495193	1381706	77,263	540,842
7	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494558	1388884	80,123	560,864
8	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	496321	1387389	83,563	584,942
9	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493823	1385824	83,847	586,927
10	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	492941	1387856	84,275	589,926
11	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493339	1387676	84,275	589,926
12	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	491127	1387326	85,850	600,951
13	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	493035	1389556	88,137	616,959
14	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	497078	1388417	89,573	627,014
15	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	492682	1388418	89,857	628,998
16	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495256	1386790	89,857	628,998
17	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	491854	1387860	90,430	633,011
18	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	498104	1387884	90,430	633,011
19	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	490676	1385147	100,157	701,102
20	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495433	1384778	100,157	701,102
21	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493390	1386043	100,586	704,101
22	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495556	1387259	103,018	721,123

No	Sistema	Nombre	Coordenadas		Q (m³/mes)	Q (m³/año)
			Este	Norte		
23	PPEBE	Compañía Azucarera y Cafetalera El Polvon, S.A	491854	1387860	106,886	748,201
24	PPEBE	Nicaragua Comercial, S.A.	495631	1383056	108,461	759,226
25	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	492898	1387149	108,461	759,226
26	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	498125	1385338	108,461	759,226
27	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493777	1389159	109,891	769,236
28	PPEBE	Nicaragua Comercial, S.A.	494833	1382622	111,749	782,246
29	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495202	1390982	114,465	801,253
30	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	498009	1386065	115,328	807,295
31	PPEBE	Nicaragua Comercial, S.A.	496303	1381288	115,611	809,279
32	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495887	1387709	115,611	809,279
33	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	496451	1386340	115,611	809,279
34	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494173	1384806	100,321	702,248
35	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	498796	1384781	117,041	819,290
36	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493739	1388287	120,191	841,340
37	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	497706	1384246	120,620	844,339
38	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493926	1387268	125,773	880,412
39	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494684	1390942	110,381	772,670
40	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	496311	1383963	128,778	901,448
41	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	496588	1388527	131,065	917,456
42	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492915	1386339	150,242	1,051,697
43	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492796	1383024	156,253	1,093,768
44	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	497157	1387490	157,393	1,101,750
45	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494471	1387660	157,393	1,101,750
46	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	496750	1385146	160,688	1,124,815
47	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493130	1385299	163,120	1,141,837
48	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	492998	1388908	173,993	1,217,954
49	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	492469	1387460	178,857	1,251,999
50	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495366	1387555	178,857	1,251,999
51	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494463	1386669	179,430	1,256,012
52	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494924	1386160	190,304	1,332,129
53	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494816	1388196	190,304	1,332,129
54	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495309	1384299	191,734	1,342,139
55	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	497493	1385527	197,461	1,382,226
56	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	495870	1384389	200,605	1,404,232
57	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	499180	1386026	216,348	1,514,438
58	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	496935	1383832	329,956	2,309,693
59	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492797	1383020	128,559	899,910

No	Sistema	Nombre	Coordenadas		Q (m³/mes)	Q (m³/año)
			Este	Norte		
60	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	492896	1387149	86,156	603,094
61	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	493200	1382574	154,886	774,430
62	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492486	1385163	61,364	736,364
63	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493366	1386752	61,364	736,364
64	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494233	1386187	61,364	736,364
65	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	491886	1386476	61,364	736,364
66	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492422	1386513	61,364	736,364
67	PPEBE	Nicaragua Cocotera, S.A	492466	1386992	128,559	899,910
68	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492486	1385163	61,364	429,545
69	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493366	1386752	61,364	429,545
70	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494233	1386187	61,364	429,545
71	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	491886	1386476	8,766	61,364
72	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	492422	1386513	8,766	61,364
73	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493800	1386659	157,393	1,101,750
Total					8,510,577	60,798,361
Total Mm³					8.51	60.80

Fuente: base de datos ANA (2017), ENACAL (2015), SIASAR (2015).

Se estima que para el uso agrícola, el consumo de agua subterráneo es de 8.51 Mm³ mensual, para un total de 60.80 Mm³ anuales.

### 5.3. Uso pecuario

Para la determinación de la demanda de agua para este uso, se consultó la población pecuaria reflejada en el informe del IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) desarrollado por el Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE) y Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), entre 2010-2011, publicado en 2013, dicho informe correspondiente al departamento de Chinandega.

Como aproximación a la población pecuaria de la cuenca, se tomó en cuenta datos del municipio de Chichigalpa para el año 2011, a partir de ahí se proyectó dicha población al año 2016.

El informe del IV Censo Nacional Agropecuario, reporta que el crecimiento anual del ganado bovino es de 6.15 %; el crecimiento del ganado porcino se estimó en 23 % (mencionado también por el GRUN, 2017); las aves tiene un crecimiento anual de 6 %. Con esto datos se obtuvo la población pecuaria y aplicando algunos indicadores de consumo diario por animal, se obtuvo la demanda total.

En la dotación de agua por animal, se considera que un bovino consume de 25 a 50 l/animal/día y cerdos de 10 -20 l/animal/día, (Colacelli, 2014). La OPS/OMS, en la guía técnica sobre saneamiento, agua y salud, refleja las cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico, en donde establece una dotación de 20-30 l/animal/día para ganado, 10-20 l/animal/día para cerdos y 10-20 l/100 aves/día. Bajo estos criterios se procedió a estimar la demanda. (Tabla LVIII).

**Tabla LVIII. Demanda de agua del sector pecuario**

No	Pecuario	Q(l/animal/día)	Cantidad (2011)	Cantidad 2016	Total mes (m³)	Total anual (m³)
1	Bovinos	30	3,502.00	4,719.72	4,307.22	51,686.59
2	Porcinos	15	1,229.00	3,460.01	1,578.80	18,945.63
3	Aves (Grupos de 100)	15	195.6	261.76	119.44	1,433.28
Total m³					6,005.46	72,065.50
Total Mm³					0.006	0.072

Fuente: elaboración propia, con base a CENAGRO (2013), GRUN (2017), OPS/OMS.

La demanda de agua en la cuenca para el sector pecuario se estimó en 0.0060 Mm³ mensual para un total anual de 0.072 Mm³ anuales. En esta demanda

el 71.72 % corresponde a la ganadería bovina y 26.29 % para la producción de porcinos. De esta demanda de agua un 28.78 % depende de fuentes de agua subterránea y el restante 71.22 % de agua de superficiales.

#### 5.4. Uso industrial

La fuente de consulta para determinar el uso industrial en la cuenca fue la base de datos que maneja la Dirección General de Concesiones de la Autoridad Nacional del Agua. Las empresas que hace el uso principal para este fin son: Nicaragua Sugar Estates Limited, S.A y la Compañía Licorera de Nicaragua, S.A. La primera empresa hace uso del agua para el proceso industrial de la caña de azúcar y la segunda empresa en el proceso industrial en la producción de licores. (Tabla LIX). No se identificó otra empresa que de forma directa a una fuente aproveche agua para este fin. Algunas pequeñas empresa industriales que se encuentran en la ciudad de Chichigalpa, son abastecidas a través de la red de abastecimiento local.

Tabla LIX. **Demanda de agua industrial**

No	Sistema	Empresa	Coordenadas		Uso	Q m³/mes	Q m³/año
			Este	Norte			
1	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	493970	1385493	Industrial	114.7	1,376.36
2	PPEBE	Nicaragua Sugar Estaste Limited, S.A.	494567	1385276	Industrial	54,545.17	654,542.00
3	PPEBE	Compañía Licorera de Nicaragua, S.A.	497596	1390502	Industrial	39,038.67	468,464.00
Total						93,698.53	1,124,382.36
Total Mm³						0.09	1.12

Fuente: base de datos DGC, ANA (2017).

En el resultado de la estimación del uso industrial, se determina que la demanda es de 1.12 Mm³ anuales, este usos es atendido por fuentes subterráneas.



Basado en el análisis por sector, se determina que la demanda total actual de la unidad hidrográfica río Sucio es de 153.50 Mm<sup>3</sup> anuales. El uso agrícola es utilizado durante siete meses del año (noviembre a mayo), los otros usos son utilizados durante los 12 meses del año. El uso pecuario está compuesto por el consumo de bovino, porcinos y aves. El consumo de bovino en gran parte es abastecido por agua superficial y otra por agua subterránea, el consumo de porcinos y aves esta atribuido a fuentes subterránea. (Tabla LX).

Tabla LX. **Demanda total de agua en la unidad hidrográfica río Sucio**

Consumo	Fuente		Mensual (Mm <sup>3</sup> )	Meses/consumo	Anual (Mm <sup>3</sup> )
	Subterránea	Superficial			
Agua potable	0.65	0.00	0.65	12.00	7.82
Agrícola	8.51	12.13	20.64	7.00	144.46
Pecuario	0.00	0.00	0.01	12.00	0.07
Industrial	0.09	0.00	0.09	12.00	1.12
<b>Total</b>	<b>9.26</b>	<b>12.13</b>	<b>21.39</b>		<b>153.48</b>

Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que aunque los sitios de aprovechamiento superficial son menos a los de agua subterráneas, no sucede así en el volumen de aprovechamiento, este es mayor con el 56.71% respecto al 43.29% de fuentes subterráneas.

## 5.5. Flujo de retorno en la cuenca

La agricultura bajo riego, el uso de agua potable e industrial, generalmente son los sectores que más utilizan el agua en la mayoría de las cuencas hidrográficas y a la vez generan cierto flujo de retorno, el que es necesario considerar a la hora de determinar la disponibilidad hídrica de una cuenca.

Este flujo de retorno, aunque regresa al sistema hídrico, trae consigo sustancias que originalmente no tenía y contribuyendo así a la contaminación de los ríos y acuíferos. En este contexto, no será la calidad de agua del retorno el punto de discusión, sino la cantidad de agua que vuelve al sistema.

El cálculo del flujo de retorno es complicado obtenerlo cuando no se tiene información, un método factible es a través del hidrograma anual de escurrimiento natural a partir de los registros disponibles de hidrometría y usando la conservación de la masa (Silva, Martin, *et al.*, 2007), otro método es considerar la diferencia entre el volumen abastecido y los requerimientos ideales de agua es decir la eficiencia de utilización para los diferentes cultivos que se tengan en la zona. (PHI-UNESCO, 2006). Sin embargo, no se tiene esos datos en la cuenca, para estimarlo se tomaron algunos datos de referencia de algunas bibliografías.

El flujo de retorno para riego puede ser de 20 %, el 80 % es perdido o evapotranspirado. En el caso del agua potable, se estima que del agua captada un 80% es retornado como agua residuo y de este, un 70% retorna al sistema. (PIRH, Ecuador (1989).

Otra fuente tomada, Aparicio-Mijares *et al.*, 2006 y mencionado por Gómez (2013), refieren valores de retorno de 70 - 80 % para uso público, 5 - 15 % uso agrícola y 50 - 60 % en uso industrial. Tomando estos datos de referencia se empleó: 70 % para agua potable, 15 % para riego agrícola, 50 % en uso industrial; para pecuario el flujo se considera 0 %. (Tabla LXI).

Tabla LXI. **Estimación de flujo de retorno**

Consumos	Agua potable	Agrícola	Pecuario	Industrial	Total
Subterráneo (Mm <sup>3</sup> )	0.65	8.51	0.00	0.09	9.26
Superficial (Mm <sup>3</sup> )	-	12.13	0.00	-	12.13
Total Mm <sup>3</sup> mensual	0.65	20.64	0.01	0.09	21.39
Tasa de retorno (%)	70.00	15.00	-	50.00	
R Mm <sup>3</sup> mensual	0.46	3.10	-	0.05	3.60

Fuente: elaboración propia.

Se estima que el flujo de retorno total de la cuenca es de 3.60 Mm<sup>3</sup> mensual. El 49.44 % es flujo de retorno es proveniente del uso de agua subterránea y el 50.56 % del aprovechamiento superficial.

## 6. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SUCIO

La disponibilidad de agua en una cuenca está en dependencia de las entradas (precipitación, otros aportes) y salidas (Evapotranspiración, descargas a otros espacios, extracciones), partiendo de estos dos componentes, se ha determinado la disponibilidad de agua superficial y subterránea a partir del balance hídrico superficial y subterráneo y la demanda de agua en los diferentes usos de la cuenca. (Tabla LXII).

Tabla LXII. **Disponibilidad de agua en la unidad hidrográfica río Sucio**

Parámetro	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Total Anual
Caudal en Mm <sup>3</sup> mensuales	0.35	11.69	9.21	16.81	38.74	44.60	22.30	11.15	5.58	2.79	1.39	0.70	165.30
<b>Demanda Mm<sup>3</sup></b>	12.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	84.96
<b>Flujo de retorno Superficial (Mm<sup>3</sup>)</b>	1.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	12.73
<b>Disponibilidad superficial (Mm<sup>3</sup>)</b>	-9.97	11.68	9.20	16.81	38.74	44.60	11.99	0.83	-4.74	-7.53	-8.92	-9.62	93.07
Recargas subterráneas (Mm <sup>3</sup> )	1.04	21.33	1.40	17.12	49.46	40.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	130.98
Descarga Subterráneas (Mm <sup>3</sup> )	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	19.08
Demanda Subterránea (Mm <sup>3</sup> )	9.26	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	68.54
<b>Flujo de retorno Subterráneo (Mm<sup>3</sup>)</b>	1.78	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	14.97
<b>Disponibilidad Subterránea (Mm<sup>3</sup>)</b>	-8.03	19.49	-0.43	15.28	47.62	38.80	-9.07	-9.07	-9.07	-9.07	-9.07	-9.07	58.33
<b>Disponibilidad Total de la cuenca</b>	<b>-18.00</b>	<b>31.18</b>	<b>8.77</b>	<b>32.09</b>	<b>86.36</b>	<b>83.40</b>	<b>2.92</b>	<b>-8.23</b>	<b>-13.81</b>	<b>-16.60</b>	<b>-17.99</b>	<b>-18.69</b>	<b>151.40</b>

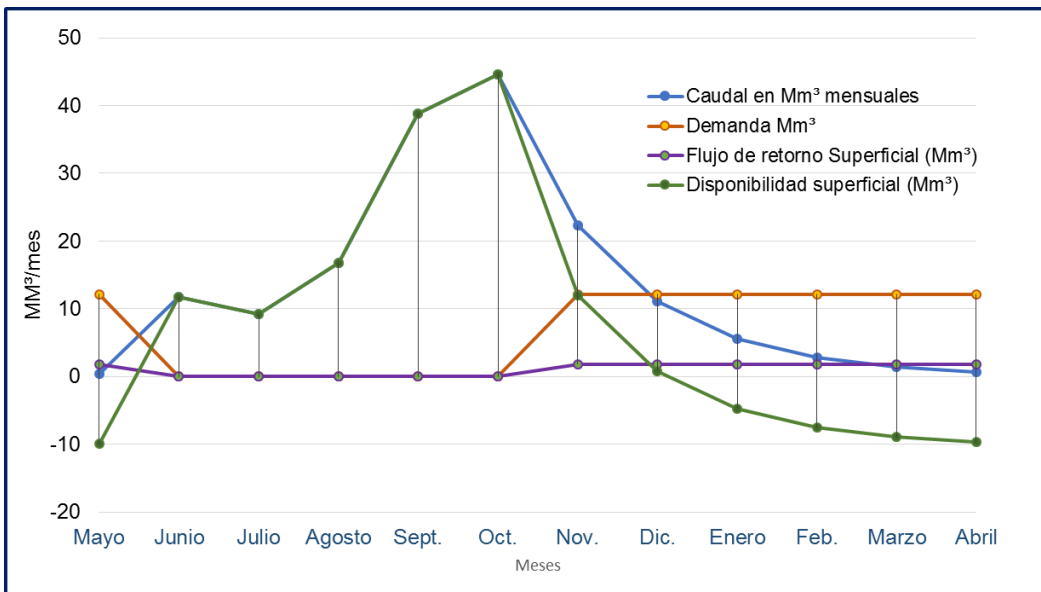
Fuente: elaboración propia.

Basado en el análisis de entradas y salidas, se determinó que en la cuenca hay una disponibilidad de 151.40 Mm<sup>3</sup> anuales. De ese volumen 93.07 Mm<sup>3</sup> corresponden a agua superficial y 58.33 Mm<sup>3</sup> corresponde a agua subterránea.

Cabe señalar que el balance es positivo al considerar el resultado anual, sin embargo, en los meses de la época seca (noviembre a mayo), el resultado es

negativo y la existencia de un reducido caudal en época de estiaje se debe a la contribución de los acuíferos hacia los ríos.

Figura 49. **Disponibilidad de agua superficial unidad hidrográfica río Sucio**



Fuente: elaboración propia.

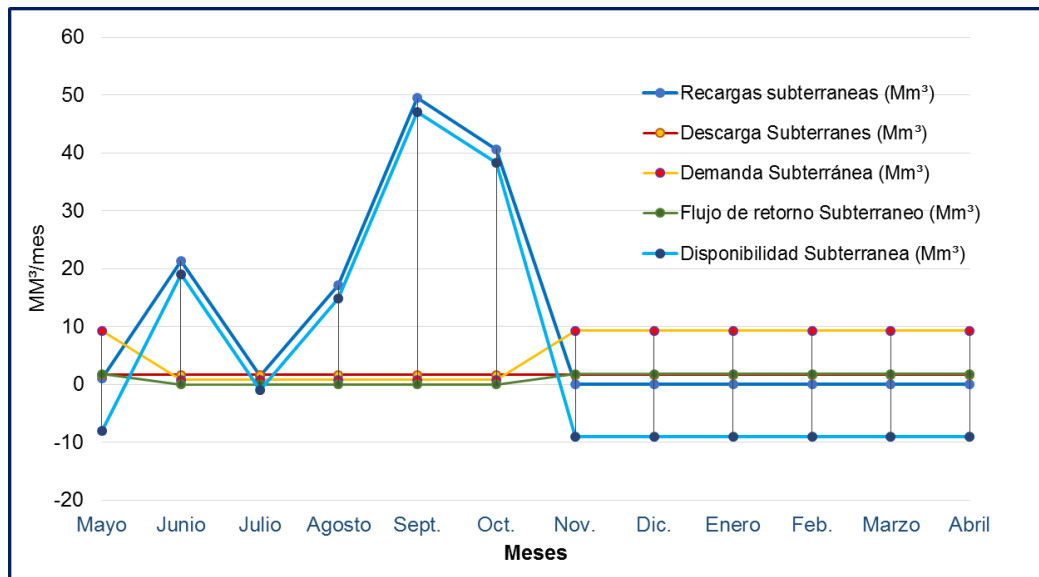
Los usuarios que dependen de la irrigación de agua superficial construyen represas para almacenar el agua y mantener un servicio constante. En algunos casos los usuarios extraen hasta el caudal mínimo o ecológico que debería permanecer en el cauce de los ríos.

Hay que destacar que los flujos de retorno contribuyen a disminuir el déficit en la época de estiaje, sin embargo, aunque es significativo, la disponibilidad en esta época sigue siendo negativa.

En cuanto los recursos subterráneos, en los meses de déficit (noviembre a mayo y también en el mes de julio) no haya recarga, las extracciones son bastecida por las reservas del acuífero que se han acumulado con el tiempo. Sin embargo, esta situación ha generado efectos sobre los niveles estáticos de pozos circundantes, sobre todo a pozos comunitarios.

En la figura 50, se hace una evaluación del comportamiento de las variables del sistema. Ahí se puede apreciar la disponibilidad principalmente en la época lluviosa, que es la etapa en donde los acuíferos recuperan su potencial. Puede apreciarse que en el mes de julio la disponibilidad es negativa, y esta situación está asociada al periodo canicular en donde las precipitaciones son escasas a pesar de estar dentro de la estación lluviosa del año.

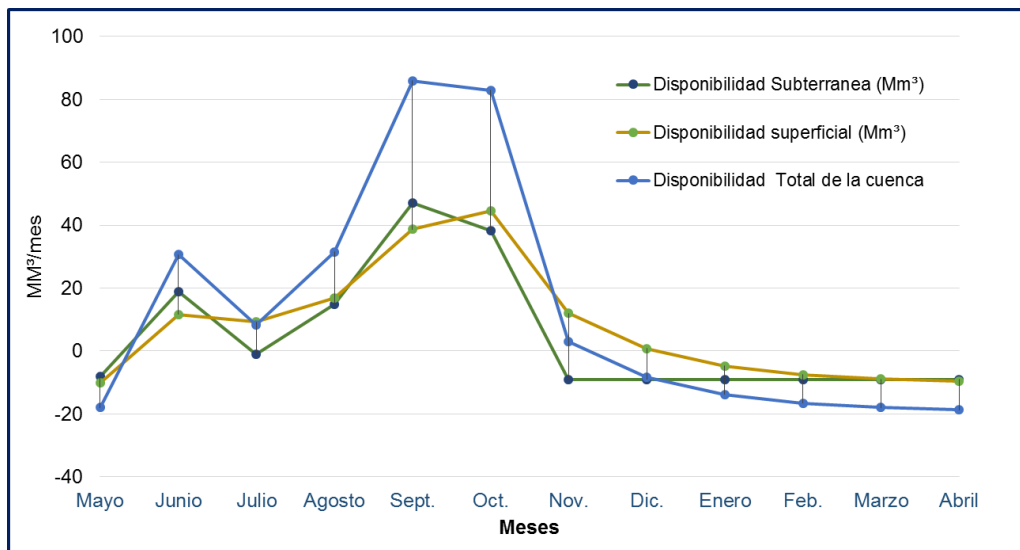
Figura 50. Disponibilidad de agua subterráneas



Fuente: elaboración propia.

El comportamiento de la disponibilidad total de la unidad hidrográfica río Sucio se puede apreciar en la figura 51. Cabe señalar que la disponibilidad se da en la época lluviosa, sin embargo, la demanda (extracción) principal se da en la época de estiaje, siendo la época más crítica, en donde se da paso a los conflictos entre usuarios por el uso del agua.

Figura 51. **Disponibilidad de agua de la unidad hidrográfica río Sucio**



Fuente: elaboración propia.

La disponibilidad total de la cuenca (151.40 Mm<sup>3</sup>), es calculada sumando la subterránea y superficial. Estas tienen un comportamiento lógico similar en el transcurso del año mostrando la disponibilidad en la época lluviosa y déficit en la seca.

### 6.1. Proyección de la demanda en función de la disponibilidad hídrica

Con el objeto de analizar la demanda actual y proyectarla a un plazo de 10 años, meta de diseño del presente plan, se plantea en este apartado, la dinámica

que mostraría la demanda de los diferentes usos en función de su crecimiento anual y de la disponibilidad hídrica.

### 6.1.1. Demanda de agua potable al 2026

La demanda de abastecimiento de agua potable se determinó en función de la tasa de crecimiento de la población para un período de diez años. Cabe señalar que la tasa de crecimiento de 2015 a 2020 reflejada en el censo Nacional 2005, es de 0.4% para Posoltega y 0.1 para Chichigalpa, basado en estos valores se promedió una tasa de 0.25%. La dotación por persona es la resultante de la división entre la demanda actual y la población. (Tabla LXIII).

Tabla LXIII. Demanda de agua potable proyectada al 2026

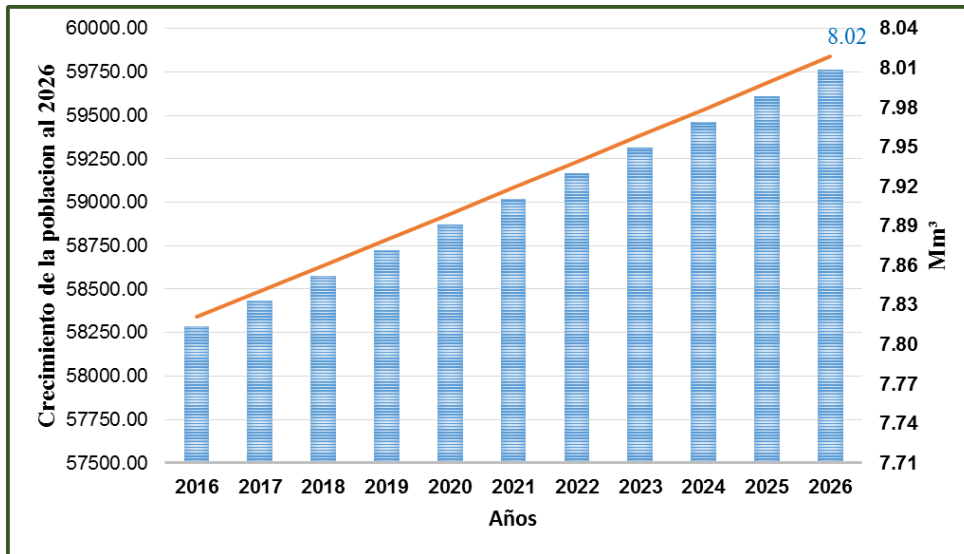
Años proyectados	Comportamiento de la Población	Dotación/persona	Demanda total
		Unidad en Mm <sup>3</sup>	
2016	58,287.00	0.00013	7.82
2017	58,432.72	0.00013	7.84
2018	58,578.80	0.00013	7.86
2019	58,725.25	0.00013	7.88
2020	58,872.06	0.00013	7.9
2021	59,019.24	0.00013	7.92
2022	59,166.79	0.00013	7.94
2023	59,314.70	0.00013	7.96
2024	59,462.99	0.00013	7.98
2025	59,611.65	0.00013	8
2026	59,760.68	0.00013	8.02

Fuente: elaboración propia.

El punto de partida para la proyección, fue la población existente en la cuenca en 2016 y la demanda respectiva a ese año base. (Figura 52).



Figura 52. **Proyección de la demanda de agua potable al 2026**



Fuente: elaboración propia.

Partiendo del análisis de la demanda de agua potable, se estima que al 2026 la población de la cuenca será de 59,760.68 habitantes y tendrán una demanda de 8.02 Mm<sup>3</sup>.

### 6.1.2. Demanda agrícola al 2026

Para proyectar la demanda a 10 años en el sector agrícola, fue necesario determinar la tasa de crecimiento anual en años anteriores. Para esto se tomó como referencia el Índice Mensual de Actividad Económica (IMAE) publicado por el Banco Central de Nicaragua (BCN) para 2015 y 2016 y el informe estadístico publicado por el Comité Nacional de Productores de Azúcar (CNPA, 2017).

El IMAE como primera fuente para estimar el crecimiento a usar en la cuenca, refleja que el sector agrícola en 2015 y 2016 ha tenido un crecimiento

promedio de 2.4 %. El CNPA como segunda fuente, en el rubro de caña de azúcar refleja incremento de áreas de siembra promedio anual de 2.32 % entre 2012 a 2017. Con base a estas referencias y considerando que en la unidad hidrográfica río Sucio, el principal uso agrícola es la caña de azúcar (75.70 % de las áreas cultivadas, según uso de la tierra), se tomó como criterio un crecimiento de 2.3 %. (Tabla LXIV).

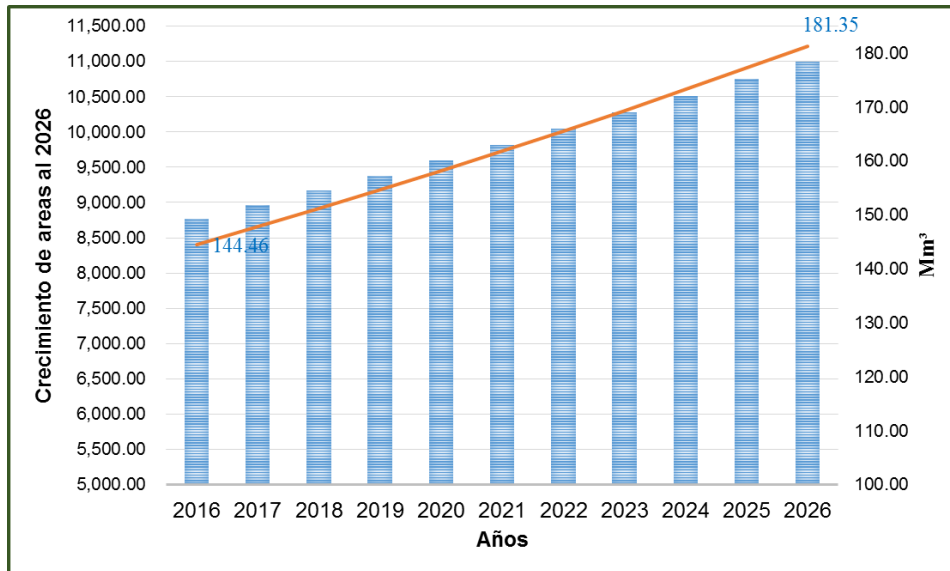
**Tabla LXIV. Demanda agrícola proyectada al 2026**

Años proyectados	Áreas de siembras (Ha)	Dotación/Ha	Demanda total
		Unidad en Mm <sup>3</sup>	
2016	8,763.00	0.0164855	144.46
2017	8,964.55	0.0164855	147.79
2018	9,170.73	0.0164855	151.18
2019	9,381.66	0.0164855	154.66
2020	9,597.44	0.0164855	158.22
2021	9,818.18	0.0164855	161.86
2022	10,044.00	0.0164855	165.58
2023	10,275.01	0.0164855	169.39
2024	10,511.34	0.0164855	173.29
2025	10,753.10	0.0164855	177.27
2026	11,000.42	0.0164855	181.35

Fuente: elaboración propia, con base a mapa de uso de la tierra, 2015.

Las 8,763 hectáreas (87.63 km<sup>2</sup>), fueron el punto de partida, el cual aplicando la tasa de crecimiento del 2.3 % se obtuvo la demanda para el año 2026. En la figura 53 puede apreciarse las tendencias del crecimiento de las áreas de siembra y el incremento del aprovechamiento que implicaría al plazo proyectado.

Figura 53. **Proyección agrícola al 2026**



Fuente: elaboración propia.

Se estima que al año 2026 las áreas de siembra incrementaría a 11,000.42 hectáreas y el aprovechamiento a 181.35 Mm<sup>3</sup>, 35.89 Mm<sup>3</sup> más que en 2016.

### 6.1.3. **Demanda del rubro pecuario**

Esta estimación se realizó con base a la tasa de crecimiento determinada a partir del Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO, 2013), se determinó que el 6.15 % los es en bovinos, 23 % para porcino y 6 % para aves.

Tabla LXV. **Demanda de agua para el sector pecuario proyectada al 2026**

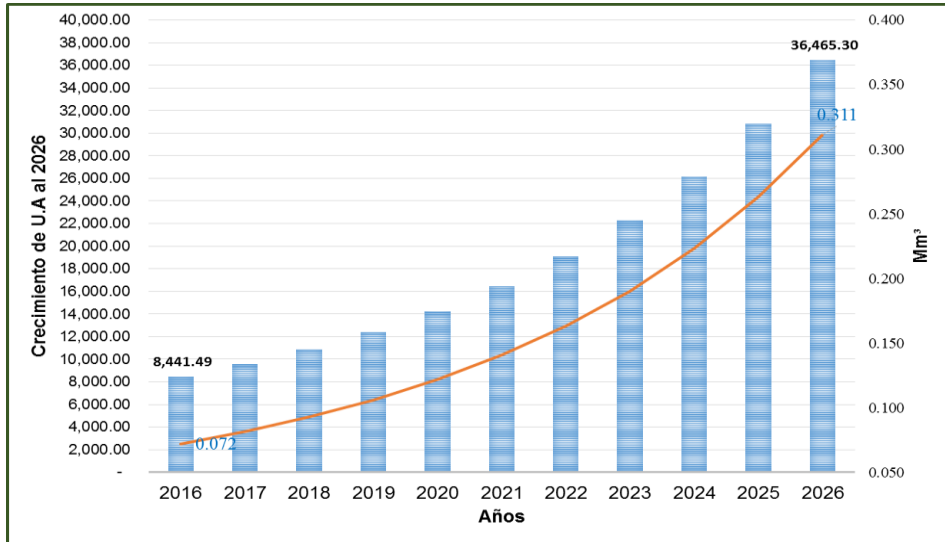
Años proyectados	Unidades animales				Dotación/U.A	Demanda total
	Bovinos	Porcinos	Aves	Total		
2016	4,719.72	3,460.01	261.76	8,441.49	0.0000085	0.07
2017	5,009.98	4,255.81	277.46	9,543.26	0.0000085	0.08
2018	5,318.10	5,234.65	294.11	10,846.86	0.0000085	0.09
2019	5,645.16	6,438.62	311.76	12,395.53	0.0000085	0.11
2020	5,992.34	7,919.50	330.46	14,242.30	0.0000085	0.12
2021	6,360.86	9,740.99	350.29	16,452.14	0.0000085	0.14
2022	6,752.06	11,981.41	371.31	19,104.78	0.0000085	0.16
2023	7,167.31	14,737.14	393.59	22,298.03	0.0000085	0.19
2024	7,608.10	18,126.68	417.2	26,151.98	0.0000085	0.22
2025	8,076.00	22,295.82	442.23	30,814.05	0.0000085	0.26
2026	8,572.67	27,423.86	468.77	36,465.30	0.0000085	0.31

Fuente: elaboración propia.

Se estima que en diez años de proyección, la demanda para el sector pecuario será de 0.31 Mm<sup>3</sup> anuales, 0.07 Mm<sup>3</sup> para la demanda de ganado bovino, 0.23 Mm<sup>3</sup> para porcino y 0.004 Mm<sup>3</sup> para aves.

En la figura 54 puede apreciarse el comportamiento de la demanda anual del sector pecuario. Lógicamente como en todos los rubros analizados, la tendencia es al crecimiento.

Figura 54. **Proyección de la demanda del sector pecuario al 2026**



Fuente: elaboración propia.

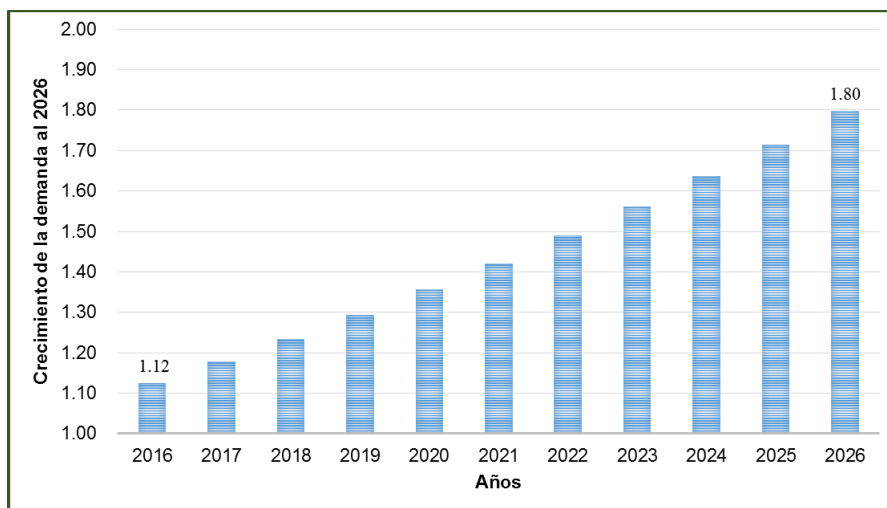
En el análisis se observa el crecimiento a partir de los datos base (2016). Se estima que las Unidades Animales (U.A) en 10 años pasarán de ser una población de 8,441.49 a 36,465.30, esto implica que la demanda crecerá en un 331.7 % en ese período.

#### 6.1.4. **Demanda industrial al 2026**

Para determinar la demanda industrial a 10 años, se tomó como referencia la tasa de 4.8 % con base a datos del Banco Central de Nicaragua. (BCN, 2017). Esta tasa de crecimiento aunque el banco hace referencia al crecimiento de la industria en forma general, en el presente ejercicio se está asumiendo que en la cuenca haya un crecimiento similar tanto en la ampliación de los procesos productivos existentes, como el surgimiento de nuevas empresas demandante de agua directamente de las fuentes de agua.

Hay evidencias de la existencias de un número considerado de empresas dedicada a procesos industriales, sin embargo, no rola dentro del sistema de control de la entidad competente y la mayoría están catalogadas como pequeñas industrias, es posible que estas estén dentro de la cobertura de agua que brindan los prestadores de servicios a nivel local.

Figura 55. **Proyección de demanda industrial al 2026**



Fuente: elaboración propia.

Con base al consumo actual y aplicando la tasa de crecimiento referida, se obtuvo que la demanda estimada para el 2026 sería de 1.80 Mm<sup>3</sup> anuales.

### **6.1.1. Análisis de la disponibilidad y demanda al 2026**

Luego de analizar la demanda de los diferentes usos de la cuenca a 10 años, se obtuvo que esta será de 191.48, con un crecimiento de 37.98 Mm<sup>3</sup> más respecto al 2016. En la comparación de la demanda y la oferta a los 10 años proyectados, se está asumiendo que la oferta hídrica se mantenga, sin embargo,

dependiendo de del manejo que se le dé a la cuenca, asociados a amenazas naturales, esta disponibilidad podría reducirse grandemente. (Tabla LXVI).

**Tabla LXVI. Disponibilidad de agua a una proyección de 10 años**

Sectores	Unidad de medida	Cantidad	Demanda (Mm <sup>3</sup> )
Agua potable	Habitantes	59,760.68	8.02
Agricultura	Áreas de siembra	11,000.42	181.35
Pecuario	U.A	36465.3	0.31
Industrial	N/D	Global	1.80
Total proyectada			191.48
Demanda cubierta (actual)			153.50
Aumento al 2026			37.98
Oferta agua superficial anual			93.07
Oferta agua subterráneas anual			58.33
Total oferta			151.40
Disponibilidad al 2026			113.42

Fuente: elaboración propia.

Con los resultados obtenidos en la proyección de la disponibilidad versus demanda, puede concluirse que habría recurso para satisfacer una demanda de 191.48 Mm<sup>3</sup> anuales, y que la disponibilidad después de los 10 años será de 113.42 Mm<sup>3</sup> anuales. Esta disponibilidad es necesario aclarar que son volúmenes anuales, y que el problema disponibilidad en meses de estiaje no cambia, el déficit es grande sobre todo en agua superficial.

## **7. GESTIÓN INSTITUCIONAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

### **7.1. Política hídrica**

La primera Política Nacional de los Recursos Hídricos de Nicaragua, fue la aprobada el 21 de noviembre del 2001, mediante el Decreto No.107-200, publicado en La Gaceta No. 233 del 7 de diciembre del 2001.

El objetivo de la política era establecer un marco jurídico para el uso y manejo integrado de los recursos hídricos en correspondencia con los requerimientos sociales y económicos del desarrollo y acorde con la capacidad de los ecosistemas, en beneficio de las generaciones presentes y futuras. En ella se estableció los lineamientos institucionales siguientes:

- El Estado como el proveedor de la organización de las instituciones que incluyan las funciones de planificación, desarrollo, regulación, control y administración de los recursos hídricos, para tal fin se debía fortalecer la Comisión Nacional de Recursos Hídricos como organismo de consulta y coordinación a nivel nacional.
- Se estableció la necesidad de impulsar los organismos de cuenca en conjunto con la sociedad civil y además fortalecimiento técnico y económico y las capacidades institucionales para analizar, evaluar y organizar actividades para afrontar las emergencias nacionales originadas por desastres de origen hidrometeorológico y antropogénico, tales como sequías e inundaciones.
- Se estableció el régimen legal para poner en claro los derechos y obligaciones de los usuarios del agua, traduciéndose en otorgar concesiones aquellos demandantes de recursos hídricos, y controlar aquellas empresas o usuarios que después de usar al agua, generan



vertidos y que a los mismos, se propuso que debería ser regulados bajo autorizaciones.

- Se estableció que el Estado en su planificación debe establecer los balances hídricos por cuencas, para determinar la disponibilidad hídrica y así orientar la planificación hídrica.
- Se estableció que el Estado debe de impulsar las normas y criterios de programación de inversiones en proyectos de infraestructura, a fin de asegurar que se tomen en cuenta las ventajas económicas y financieras del aprovechamiento múltiple del agua, incluida la mayor reutilización del recurso.
- Ejecutar medidas requeridas para fomentar el desarrollo de la agricultura bajo riego, y que permitan introducir o formalizar mecanismos de mercado para propiciar el uso eficiente del agua en la agricultura, dentro del marco establecido por la legislación.
- Entre otras funciones.

A pesar de haber un primer paso en materia hídrica, la política actual presenta ciertos vacíos, entre los que se pueden mencionar: enfoca el manejo de los recursos hídricos de cuencas hidrográficas, pero no determina lineamientos para la planificación bajo el esquema de gestión integrada; débil en la definición de prioridades en cuanto a los usos del agua, así como estrategias de preservación y desarrollos; no se ajusta a los objetivos de la Política Nacional de Desarrollo Humano (2008-2012); ausencia de lineamiento de fortalecimiento institucional; no están definidos instrumentos de gestión importantes tales como el Plan Nacional de los Recursos Hídricos y los planes de manejo por cuenca. (ANA, 2012).

En 2012, la Autoridad Nacional del Agua, figura creada con base a la Ley 620, Ley General de Aguas Nacionales, inició procesos de elaboración de una

nueva política hídrica, en la cual a la fecha aún no ha sido aprobada y mientras nos sea oficial su aprobación, la política hídrica de 2001 seguirá vigente.

## **7.2. Marco legal**

En el inicio, el instrumento jurídico regulatorio era el Código Civil de 1904, este promovía el manejo privado del agua y de los recursos naturales y lo regía, mediante leyes establecidas de forma específica. Posteriormente, en 1919 y en 1923 se promulgó un Decreto Legislativo sobre corrientes y caídas de aguas naturales y su reglamento. Con estas leyes se regulaba el uso de cuerpos de agua superficiales para la generación de electricidad, con ello, el Estado marcó la pauta como regidor de las concesiones sobre uso de agua. La concesión de uso de las aguas públicas bajo este marco, se haría mediante contrato con el ejecutivo, aprobado por el congreso.

En 1958 se aprobó la Ley General sobre Explotación de Riquezas Naturales, que se incluyó el agua como un recurso natural propiedad del Estado, cuyo uso debía ser normado por una ley especial. Esta ley especial no se elaboró, y su ausencia redundó en el inicio de la explotación de los recursos hídricos para diversos usos sin el menor control gubernamental (CNRH, 1998).

En 1969, el Estado estableció procedimientos concretos para controlar el uso del agua para fines agrícolas. Para ello, se estableció el Registro Nacional de pozos mediante el Decreto 11-L; dicho registro se interrumpió desde 1979, debido a la falta de seguimiento. Esto redundó en el uso gratuito del agua en proyectos de irrigación (CNRH, 1998). En años recientes, el Ministerio de Fomento, Industria y Comercio retomó el registro de perforación de pozos a través de su Dirección de Recursos Naturales.

Durante la Revolución Sandinista (1979-1989), se crearon algunas instituciones con funciones en materia hídrica. En 1979, se creó el Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente, hoy Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. En 1981, se creó el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. En 1987, se promulga la Constitución Política de Nicaragua, considerado como el logro más importante para el marco jurídico del país. Con ella se estableció la potestad del Estado para custodiar o administrar los recursos naturales.

Luego se aprueba la Ley 2017, Ley General de Medio Ambiente y los Recursos Naturales en 1996, esta definió lineamientos dirigidas a proteger los recursos hídricos de forma integral, en su contexto se declara el recurso agua de dominio público y reservando al Estado la propiedad de las playas marítimas, fluviales y lacustre, entre otros.

Hacia 1998, se creó la Comisión Nacional de Recursos Hídricos estableciendo un Plan de Acción de los Recursos Hídricos de Nicaragua (CNRH, 1998), en el cual se incluía un anteproyecto de Ley General de Aguas, esta ley aunque no tuvo progreso, dio paso a la promulgación de la primera Política Nacional de Recursos Hídricos en 2001 (Decreto 107-2001).

En septiembre de 2007, se aprueba la Ley 620 “Ley General de Aguas Nacionales” y su reglamento ‘Decreto No. 44-2010. El propósito fue establecer el marco jurídico institucional para la administración, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento sostenible, equitativo y de preservación en cantidad y calidad de todos los recursos hídricos existentes en el país, sean estos superficiales, subterráneos, residuales y de cualquier otra naturaleza, garantizando a su vez la protección de los demás recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente.

Dentro de los objetivos particulares de dicha ley, era el ordenar y regular la gestión integrada de los recursos hídricos a partir de las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas e hidrogeológicas del país; crear y definir las funciones y facultades de las instituciones responsables de la administración del sector hídrico y los deberes y derechos de los usuarios, así como garantizar la participación ciudadana en la gestión del recurso; y regular el otorgamiento de derechos de usos o aprovechamiento del recurso hídrico y de sus bienes.

Facultado por la Ley 620, se creó en 2010 la Autoridad Nacional del Agua como órgano descentralizado del Poder Ejecutivo en materia de agua, con personería jurídica propia, autonomía administrativa y financiera. Esta tendrá facultades técnicas-normativas, técnicas-operativas y de control y seguimiento, para ejercer la gestión, manejo y administración en el ámbito nacional de los recursos hídricos, de conformidad a la presente Ley y su Reglamento.

### **7.3. Gestión de la información hídrica**

Es necesario enmarcar que en la gestión de agua hay diversas instituciones que ejercen acciones ya sea como reguladoras o administradores y desde su campo de acción maneja información hídrica, por ejemplo:

- La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), empresa que brinda servicios de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales, como servicio público, generalmente en zonas urbanas, maneja base de datos de los pozos y acueductos que tiene bajo su control.
- El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) ente regulador, de control y normalización del sector agua potable y

alcantarillado sanitario, también maneja base de datos de sistemas rurales y urbanos.

- El Fondo de Inversión Social de Emergencia (Nuevo FISE) que dirige inversiones sectoriales para el desarrollo local en cuanto a agua potable y saneamiento en las regiones rurales, este órgano maneja la información hídrica de pozos y acueductos a nivel rural.
- El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) institución facultada para generar información sobre los recursos (hidrológicos, meteorológicos, estudios geofísicos, entre otros.) mediante las direcciones de Meteorología y Recursos Hídricos manejan la base de datos de monitoreo de acuíferos, estaciones meteorológica e hidrométricas ubicadas en el territorio nacional.

Existen también otras instituciones que tiene funciones en materia hídrica, tales como: El Ministerio de Salud (MINSa), que establece la regulación de la calidad de agua y tienen facultad de determinar los rangos máximos permisibles de contaminantes; El Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) el cual formula, propone y dirige las políticas del ambiente y uso sostenible de los recursos naturales y que incide directamente en la protección de la calidad de agua en los cuerpos de agua superficial y subterránea. Estos últimos dos órganos también manejan y administran información hídrica útil para toma de decisiones en materia de gestión del agua.

Cabe señalar que aunque existen diferentes entidades institucionales que generan información a partir del monitoreo de sistemas hídricos, dicha información en su mayoría no está disponible públicamente, por otra parte cada entidad en la mayoría de los casos no están haciendo esfuerzos conjuntos en la

generación de la información hídrica, esto ha traído consigo duplicidad de esfuerzo.

La Ley 620 “Ley General de Agua Nacionales” en su contexto establece como instrumento de gestión para el manejo de la información hídrica el Sistema Nacional de Información de los Recursos Hídricos, conformado principalmente por la información geográfica, meteorológica, hidrológica, hidrogeológica e incluye el manejo de los bancos de datos, la operación y mantenimiento de las redes y la difusión de la información obtenida. Para tal efecto, el Consejo Nacional de Recurso Hídrico, instancia de más alto nivel y foro de concertación y participación compuesta por: instituciones, consejos regionales y representantes de usuarios, ha coordinado esfuerzo para recopilar la información hídrica que se encuentra dispersa, así contribuir a generar una línea base para la caracterización de la calidad y cantidad de agua disponibles en la cuencas.

De antemano, se puede determinar que en Nicaragua, la información hídrica es limitada, no se cuenta con los medios, equipos y redes de monitoreo suficiente para generarla, esto ha impedido hacer los estudios de disponibilidad y calidad de agua de todas las cuencas. Un caso particular, es referente a la existencia de redes de estaciones hidrométricas, en la cual la distribución es limitada, por ejemplo, en la cuenca 64 (Entre volcán Cosigüina y río Tamarindo) que abarca una extensión territorial de 2,911 km<sup>2</sup> solo hay una estación para el monitoreo de caudales.

#### **7.4. Gestión participativa**

La gestión participativa en materia hídrica se debería hacer a través de la conformación organismos de cuenca y comité de cuenca, y más local, es decir a nivel de comunidad, mediante el fortalecimiento de los Comité de Agua Potable

y Saneamientos (CAPS), estos últimos como prestadores de servicio de agua potable a nivel rural.

En el nuevo marco jurídico del agua, está establecido la conformación de organismos de cuenca como instancias gubernamentales, con funciones técnicas, operativas, administrativas y jurídicas especializadas propias, coordinadas y armonizadas con la ANA, para la gestión, control y vigilancia del uso o aprovechamiento de las aguas en el ámbito geográfico de una cuenca respectiva, no obstante, esta iniciativa no ha progresado y actualmente no se cuenta con ningún organismos de cuenca.

A nivel de unidades hidrográficas menores, está establecido la conformación de comité de cuencas como foros de consulta, coordinación y concertación entre los Organismos de Cuenca, entidades del Estado, municipios, Regiones Autónomas, en su caso, así como las organizaciones no gubernamentales y los usuarios de la respectiva cuenca. En este particular se ha obtenido un cierto avance; hasta la fecha se cuenta con la conformación de 60 comité de cuencas, 33 formado por la Autoridad Nacional del Agua y 27 comité que han sido formados por otras instancias. (ANA, 2015).

Cabe señalar que este progreso de conformación de comité de cuenca, aunque es un buen avance, no es sustancial, se estima que en el país hay alrededor de 220 subcuencas y un número no estimado de microcuencas.

En la unidad hidrográfica del río Sucio, no se identifica ningún comité de cuenca conformado, la instancia de participación en este caso lo ejercen los CAPS conformados.

Los Comités de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) instancia de participación en materia hídrica, son organizaciones comunitarias rurales y que realizan gestiones organizativas y operativas para llevar agua y saneamiento a los hogares. Se estima que a nivel nacional existen 5,600 comités formados, en la unidad hidrográfica del río Sucio, se identificaron 15 comités.

### **7.5. Gestión de riesgo hídrico**

En materia hídrica, el riesgo está asociado al déficit o exceso de agua, puede estar asociado a una sobreexplotación del recurso o al efecto del cambio climático y variabilidad climática en las cuencas hidrográficas. También se puede considerar como riesgos la alteración de la calidad de agua, la falta de monitoreo, el uso irracional de pesticidas, la mala gestión de residuos sólidos y líquidos, entre otros.

La pertinencia de los proyectos hidráulicos con el conocimiento de la variabilidad climática e hidrológica, el crecimiento no planificado de la demanda sobre una oferta neta limitada, los conflictos por el uso del agua y, las deficientes e inadecuadas acciones para la gestión del riesgo por eventos socio-naturales aumentan la vulnerabilidad del recurso. (MINAMBIENTE, Colombia, 2017).

Basado en un estudio de la vulnerabilidad del recurso hídrico superficial desarrollado en la Cuenca No. 64, donde es parte la unidad hidrográfica del río Sucio, indica que el nivel de la vulnerabilidad es media hasta alta, frente a los eventos extremos y la variabilidad climática asociada al cambio climático; este comportamiento se evidencia en la presencia de condiciones meteorológicas propias de años con fenómeno Niño, donde los caudales en los ríos que conforman la red hidrográfica, disminuyen considerablemente en comparación a los años normales, comportamiento que incide de manera negativa en las actividades económicas relacionadas con la agricultura, afectando la disponibilidad del agua. (MARENA. 2008).



En cuanto a los recursos subterráneos, en una simulación de los escenarios de recarga del acuífero para años con sequía, indica que la vulnerabilidad es muy alta, ya que el acuífero reduce su potencial en casi un 50 %, valor que corresponde al límite de seguridad de explotación de acuerdo a su potencial. Este es un indicador de riesgo futuro muy importante, sobre todo bajo situaciones de sequías prolongadas asociadas al cambio climático, es decir, que sin medidas de adaptación concretas, es muy poco probable que dicho acuífero se pueda continuar aprovechando sosteniblemente en un futuro muy próximo (15 a 20 años), (MARENA, 2008).

En cuanto a la calidad de agua, el MRENA en sus estudio de vulnerabilidad realizado en 2008, indica que la vulnerabilidad a la contaminación aumenta a medida que se acerca a la costa del Océano Pacífico, especialmente porque en esta área generalmente el acuífero es muy somero, en algunas zonas el agua subterránea aflora a la superficie, como en la zona de Manglares.

Aun habiéndose anticipados el grado de vulnerabilidad de los recursos hídricos, no se han implementado sustanciales medidas para reducir la magnitud de riesgo. Por ejemplo, las extracciones de agua han estado en función de la demanda y no de la capacidad de oferta en términos de calidad y cantidad. Esto se puede ver en el resultado de la estimación de la disponibilidad hídrica superficial en el presente estudio, en donde las extracciones que principalmente se dan en época de estiaje son mayores que la oferta. Por otro lado, en la evaluación de la calidad de agua de algunos pozos puede identificarse presencia de contaminación bacteriológica, no obstante, no se han implementado medidas de protección para evitar efectos a la salud de la población.

Como iniciativa actual, la Autoridad Nacional del Agua, basado en la Ley General de Agua “Ley 620” ha establecido que cada usuario presente estudio

hidrológico o hidrogeológico (según la fuente de agua) para determinar la disponibilidad y calidad de los recursos para cubrir su demanda, esto acompañado de un posterior monitoreo de: la calidad, comportamiento de caudales en ríos y niveles freáticos en los pozos, etc., no obstante, no todo los usuarios tendrían la capacidad para desarrollar dichos estudios.

## **7.6. Control de usuarios**

El control de usuario fue una iniciativa originada a partir de la implantación de la Ley General de Aguas Nacionales. Con la apertura de la Autoridad Nacional del Agua en 2010, se han otorgado aproximadamente 862 concesiones de aprovechamiento de agua a nivel nacional, para un total de usuarios de 227. En la unidad hidrográfica río Sucio se han otorgado unas 113 concesiones para un total de 7 usuarios. Cabe señalar que los usuarios principales en cuanto al uso agrícola están representado por las empresas productoras de caña de azúcar.

A nivel nacional 58 % de concesiones está representado por el sector agrícola, de esto el 93.57 % es uso de caña de azúcar. El 8.21 % es usos industrial, 5.37 % consumo humano, 2.54 % turismo, 2.99 % minero, 1.34 % doméstico, 1.34 % pecuario; un tanto minoritario, corresponde a usos como: forestal, generación de energía, avícola, entre otros.

A nivel de la unidad hidrográfica río Sucio, el 89.38 % de las concesiones está representado por el sector agrícola (principalmente cultivo de caña de azúcar), 7.96 % consumo humano y 2.66 uso industrial.

## **7.7. Planificación de los recursos**

Con el nuevo marco jurídico del agua se propone la planificación hídrica y otros instrumentos de planificación, con carácter obligatorio por ser fundamental para la más eficaz, productiva y racional gestión del agua, la conservación de los recursos naturales y del medio ambiente. Esta deberá estar en función de los objetivos nacionales, regionales y locales de la Política Nacional de los Recursos Hídricos, las prioridades para el uso y aprovechamiento de las aguas nacionales. (Ley 620).

La formulación e integración de la planificación hídrica, tendrá en cuenta adicionalmente los criterios necesarios para garantizar el uso benéfico sostenible y el aprovechamiento integral de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas y los acuíferos como unidades de gestión.

La planificación implica la elaboración de un Plan Nacional de los Recursos Hídricos impulsado por la Autoridad Nacional del Agua, que servirá de base para que se elaboren planes y programas por cuenca, bajo responsabilidad de los Organismos de Cuenca. Estos planes serán aprobados por el Consejo Nacional de los Recursos Hídricos (CNRH).

Los planes y programas aprobados serán parte integral del proceso de planificación hídrica. El Consejo Nacional de los Recursos Hídricos (CNRH) evaluará periódicamente los avances en la implementación del Plan Nacional y los planes y programas por cuenca.

De manera operativa, en la unidad hidrográfica río Sucio, no se tuvo referencia sobre la existencia de un plan de gestión y manejo de los recursos hídricos. Como antecedentes, se reconocen algunas iniciativas en materia de

gestión hídrica tales como: a) proyecto Cuenta Reto del Milenio (CRM) en 2007, el cual elaboró propuesta de un Plan de Acción en cuencas de la Región de León y Chinandega; b) proyecto de adaptación al cambio climático para el manejo sostenible de los recursos hídricos en la cuenca No.64 de León y Chinandega desarrollado por MARENA con el apoyo de la cooperación del PNUD / GEF, en 2008, no obstante, estas iniciativas fueron a nivel regional y no se evidencian resultados específicos en la unidad hidrográfica río Sucio.

Actualmente, para iniciar un proceso de planificación de los recursos hídricos en la zona del pacífico de Nicaragua, la ANA en coordinación con otras instituciones y el apoyo de la Cooperación Alemana, en el marco del proyecto PROATAS, está desarrollando un proceso de compilación y generación de datos hídricos para obtener un diagnóstico representativo para dar paso a la formulación del Plan de Gestión Integrada de los recursos hídricos para la cuenca 64, donde es parte la unidad hidrográfica del río Sucio.



## 8. IMPACTOS DE LA GESTIÓN ACTUAL SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

En una visión integral de la gestión de los recursos hídricos, los impactos también se originan a partir de acciones paralelas que están íntimamente ligadas con sistema hidrológico de una cuenca, entre ellos pueden mencionarse: los aspectos socioeconómicos, la gestión de suelo y bosques, entre otros.

En un diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio, se identificó el impacto sobre ellos, resultado de la planificación actual. (Tabla LXVII).

**Tabla LXVII. Impacto de la gestión actual sobre los recursos hídricos**

Aspectos	Problema y/o efectos	Indicador
Gestión Social	Pobreza extrema	Aproximadamente un 30 %
	Baja cobertura de agua potable	37.64 % a nivel rural, 89.9 % a nivel urbano
	Baja cobertura de saneamiento	38 % a nivel urbano y a nivel rural 91.84 %. deficiente sistema de tratamiento de agua residual
	Baja cobertura en el manejo de desechos solidos	27.87 % a nivel urbano, 91.90 % a nivel rural
Gestión del suelo	Deforestación	Aproximadamente se pierden 469.44 hectáreas de bosque al año
	Conflicto de uso del suelo	Conflicto de uso de la tierra 13.07 % sobre utilizado, 10.85 subutilizado, 7.17 % uso no adecuado
Gestión de la calidad de agua	Descarga de agua residual proveniente de la ciudad, población rural e industrial	460.8 m <sup>3</sup> /día aproximadamente proveniente de la ciudad. Rural e industrial no determinado
	Contaminación fisicoquímica y microbiológica de los recursos hídricos	Agua superficiales y subterráneas contaminadas
Oferta de agua	Baja disponibilidad de agua en época de estiaje	Con déficit de 4.73 a 9.61 Mm <sup>3</sup> en agua superficial (enero – abril) y 8.03 a 9.06 Mm <sup>3</sup>

Aspectos	Problema y/o efectos	Indicador
		(enero-abril) agua subterránea en base a la recarga potencial
	Sobre explotación de recursos hídrico superficial	Mayores extracciones (12.13 Mm <sup>3</sup> ) Vs caudales (4.52 Mm <sup>3</sup> ) en los meses de enero a mayo
Gestión de la demanda	Crecimiento acelerado de la agricultura	Promedio de 2,391.50 manzanas por año (Dato global de todo el sector caña)
	Dependencia de la agricultura de riego	Aproximadamente el 75.70 % de las áreas cultivadas
	Incertidumbre de la disponibilidad para abastecer la demanda a largo plazo	La oferta hídrica para loa años venideros no está garantizada, las tendencias indican que se reduciría si disponibilidad
Gestión de la información hídrica	Falta de estaciones hidrométricas	Ninguna estación hidrométrica en la cuenca
	Escasa información hídrica	La mayoría de la cuencas no cuentan con información suficiente
	Información hídrica dispersa	Duplicidad
Gestión Organizativa	Limitaciones en la conformación de comité de cuenca	60 formados Vs 220 subcuencas y un sin número de microcuencas
Planificación	Ausencia de plan de gestión hídrica	Cuenca degradada

Fuente: elaboración propia.

## **9. ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

La prospectiva es la disciplina que pronostica acciones futuras que pueden ser desde el punto de vista ambiental, social, económico, científico y tecnológico. Gaston Berger (1964), uno de los fundadores de la prospectiva definió como la ciencia que estudia el futuro para comprenderlo y poder influir en él. En esencia, con la prospectiva se trata de imaginar o proyectar escenarios futuros posibles, condicionados según múltiples variables continuas o discretas, con el fin último de planificar las acciones necesarias para evitar o acelerar su ocurrencia. Desde esta instancia, se debe entender como una sistemática mental que, en su tramo más importante, viene desde el futuro hacia el presente; primero anticipando la configuración de un futuro deseable, luego, reflexionando sobre el presente desde ese futuro imaginado, para finalmente concebir estrategias de acción tendientes a alcanzar el futuro objetivado o deseable. (Forciniti, 2001).

La prospectiva ofrece fundamentos teóricos, métodos y herramientas útiles para la construcción de futuro, en el sentido de la planificación de largo plazo para el desarrollo. El futuro no está predeterminado, sino que está sujeto a múltiples variaciones y cursos posibles, cuyo conocimiento es indispensable para orientar la acción en el presente. (CEPAL, 2017).

La prospectiva, no debe necesariamente constituir solamente una proyección de los acontecimientos o situaciones actuales sino, que debe ser un punto de partida o propuesta para el diseño y la elaboración de políticas y estrategias destinadas a alcanzar los objetivos de desarrollo de un territorio o cuenca y de los actores sociales que en él habitan, En este sentido, la prospectiva utiliza escenarios como medio descriptivo de los resultados propuestos.



En el presente trabajo se aplicó el concepto de prospectiva para los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio. Para el análisis de la prospectiva, Michael Godet (1985) y mencionado por CEPAL (2000) proponen una serie de métodos para elaborar escenarios futuros, dependiendo de la fase de análisis. La primera fase comprende un diagnóstico del sistema a estudiar, luego llevar a cabo un análisis de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas (FODA) del sistema. Una segunda fase está referida al análisis estructural, el que comprende la delimitación del sistema y la búsqueda de las variables claves. Posteriormente, se realiza una clasificación de las variables mediante matrices y dependencias a través del programa computacional MIC MAC.

### **9.1. Análisis FODA**

El análisis FODA es una herramienta de análisis de la situación interna y externa de un sistema, en el presente caso fue aplicado para la unidad hidrográfica río Sucio. Este análisis orienta la planificación, partiendo de la identificación de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que se tengan.

Las fortalezas y debilidades son situaciones internas que se pueden controlar, en cambio las oportunidades y amenazas son externas y no controlables.

De la aplicación del análisis FODA en la unidad hidrográfica río Sucio con base al diagnóstico realizado, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla LXVIII. **Análisis FODA de la unidad hidrográfica río Sucio**

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo de gobierno central</li> <li>• Marco jurídico del agua</li> <li>• Disponibilidad municipal</li> <li>• Recurso humanos</li> <li>• Disposición de usuarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciativas de manejo de cuencas</li> <li>• Interés de la cooperación Internacional</li> <li>• Visión de estado</li> <li>• Disponibilidad de tecnologías</li> <li>• Oportunidad de capacitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia de Plan de Gestión hídrica</li> <li>• Baja cobertura de abastecimiento de Agua</li> <li>• Baja cobertura de saneamiento</li> <li>• Débil gestión de desechos solidos</li> <li>• Pobreza extrema</li> <li>• Dependencia de la agricultura bajo riesgo</li> <li>• Escasa información hídrica</li> <li>• Ausencia de sistemas de medición hidrométricas</li> <li>• Ausencia estructura organizativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la disponibilidad de agua</li> <li>• Sobre explotación de los recursos hídricos</li> <li>• Crecimiento acelerado de la agricultura</li> <li>• Riesgo hídrico</li> <li>• Cambio Climático</li> <li>• Falta de valoración económica del agua</li> </ul>

Fuente: elaboración propia, con base al diagnóstico.

Cada situación interna (F y D) y externa (O y A) representa una variable muy útil para el análisis prospectivo de la cuenca y facilitará la definición de estrategias en el plan de manejo de los recursos hídricos.

## 9.1. Selección de variables

Basado en el FODA, se obtuvo la cantidad de 27 variables, misma que serán utilizadas en la aplicación del análisis estructural de la cuenca. (Tabla LXIX).

Tabla LXIX. **Variables para el análisis estructural del sistema**

No	Variables	No	Variables
1	Apoyo de gobierno central	15	Pobreza extrema
2	Marco jurídico del agua	16	Dependencia de la agricultura bajo riego
3	Disponibilidad municipal	17	Escasa información hídrica
4	Recurso humanos	18	Sistemas de medición
5	Disposición de usuarios	19	Estructura organizativa
6	Iniciativas de manejo de cuencas	20	Disponibilidad de agua
7	Cooperación Internacional	21	Sobre explotación
8	Visión de estado	22	C. acelerado de la agricultura
9	Disponibilidad de tecnologías	23	Riesgo hídrico
10	Oportunidad de capacitación	24	Cambio climático
11	Ausencia de plan de gestión hídrica	25	Valoración económica del agua
12	Cobertura de abastecimiento de agua	26	Conflicto de uso de la tierra
13	Baja cobertura de saneamiento	27	Deforestación
14	Débil gestión de desechos sólidos		

Fuente: elaboración propia.

## 9.2. Análisis estructural de variables

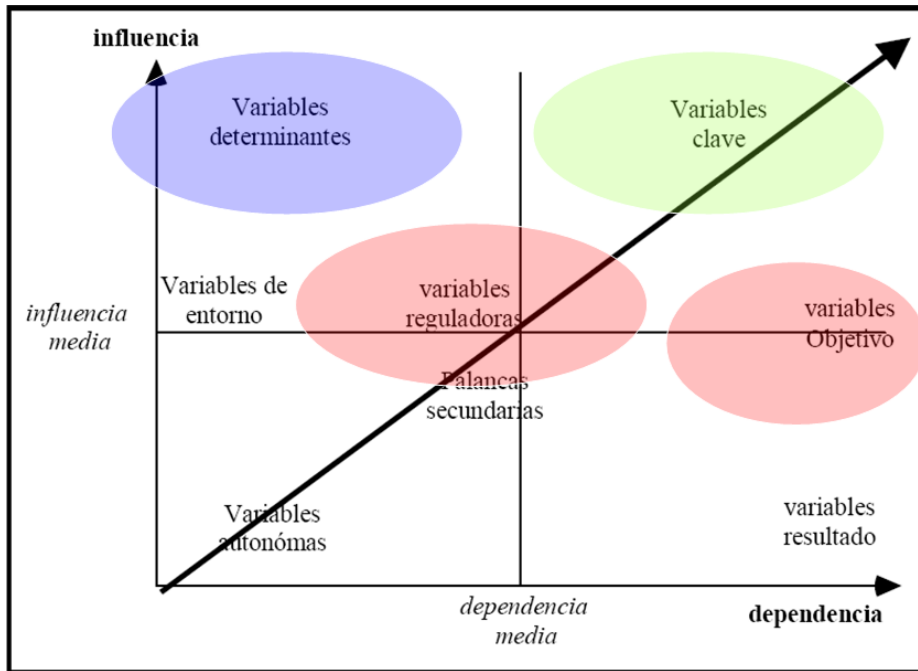
El análisis estructural se desarrolló por medio de la Matriz de Impactos Cruzados (MIC MAC), es una herramienta utilizada para facilitar el análisis estructural de problemáticas analizadas como sistemas complejos, cuyos componentes son altamente dinámicos y presentan altos niveles de interacción.

La herramienta permite relacionar todas las variables o componentes del sistema, en un tablero de doble entrada o matriz de relaciones directas (Cauca 2032, 2011). Es una técnica que facilita una interacción entre participantes, es necesario que los integrantes previamente participen en el listado de variables y en su definición. Se recomienda desarrollar este análisis con la participación de actores de la cuenca y personal multidisciplinario, no obstante, por la naturaleza del presente trabajo (tesis académica), se realizó con tres especialistas de las siguientes disciplinas: Un ingeniero en ciencias agrarias, un licenciado en ciencias ambientales y un especialista en sistemas de protección agrícola y forestal, todos ellos con experiencia en gestión integrada de recursos hídricos.

El método utiliza las siguientes interrogantes: Existe una relación de influencia directa y dependencia entre variables  $i$  y la variable  $j$ ?, si la respuesta considera que no hay influencia y dependencia el valor es "0", si la respuesta es positiva, se debe clasificar la influencia directa en: débil con valor (1), mediana con (2) y fuerte o potencial con (3). Este procedimiento de interrogación hace posible evitar errores y además ordenar y clasificar ideas dando lugar a la creación de un lenguaje común en el seno del grupo. Permite también redefinir las variables y en consecuencia afinar el análisis del sistema.

La comparación de la jerarquización de las variables en las diferentes clasificaciones (directa, indirecta y potencial) es un proceso rico en enseñanzas. Ello permite confirmar la importancia de ciertas variables, pero de igual manera permite revelar ciertas variables que en razón de sus acciones indirectas, juegan un papel principal. Los resultados en términos de influencia y de dependencia de cada variable pueden estar representados sobre una matriz (matriz de influencias directas), que es un resultado de la calificación de expertos. (Figura 56).

Figura 56. **Esquema de clasificación de variables**



Fuente: Godet, 1985.

A partir de este gráfico, se agrupan las diferentes variables del sistema de acuerdo a los siguientes grupos:

**Variabes determinantes:** Son poco dependientes y muy motrices, según la evolución que sufran a lo largo del período de estudio se convierten en frenos o motores del sistema, de ahí su denominación.

**Variabes reguladoras:** Se convierten en “llave de paso” para alcanzar el cumplimiento de las variables clave y que estas vayan evolucionando tal y como conviene para la consecución de los objetivos del sistema. Son aquellas que determinan el funcionamiento del sistema en condiciones normales.

Palancas secundarias: Son complementarias de las anteriores, actuar sobre ellas significa hacer evolucionar sus inmediatas anteriores: reguladoras, que a su vez afectan a la evolución de las variables-clave. Se trata de variables, que igual que las reguladoras combinan el grado de motricidad y dependencia, pero que se sitúan en un nivel inferior. Es decir, son menos motrices que las anteriores y, por lo tanto, menos importantes de cara a la evolución y funcionamiento del sistema, sin embargo, si las actuaciones que se acometen con ellas sirven para provocar un movimiento en las variables reguladoras, la importancia que estas variables adquieren para una adecuada evolución del sistema es evidente.

Variables autónomas: Son poco influyentes o motrices y poco dependientes, se corresponden con tendencias pasadas o inercias del sistema o bien están desconectadas de él. No constituyen parte determinante para el futuro del sistema. Se constata frecuentemente un gran número de acciones de comunicación alrededor de estas variables que podrían no constituir un reto inmediato.

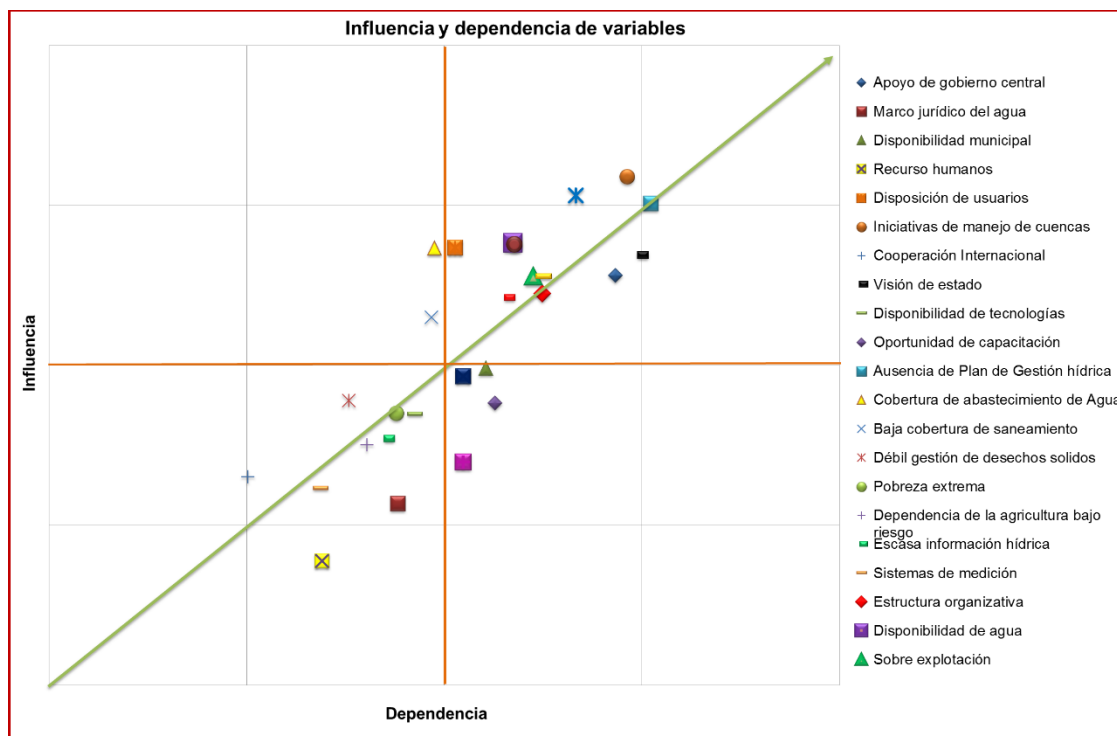
Variables resultado: Se caracterizan por su baja motricidad y alta dependencia, y suelen ser junto con las variables objetivo, indicadores descriptivos de la evolución del sistema. Se trata de variables que no se pueden abordar de frente sino a través de las que depende el sistema.

Variables objetivo: Son muy dependientes y medianamente motrices, de ahí su carácter de objetivos, puesto que en ellas se puede influir para que su evolución sea aquella que se desea. Se caracterizan por un elevado nivel de dependencia y medio de motricidad. Su denominación viene dada porque su nivel de dependencia permite actuar directamente sobre ellas con un margen de maniobra que puede considerarse elevado, ayudando a su vez a la consecución de las variables clave normal del sistema. Cuentan con un elevado nivel de

motricidad y de dependencia, lo que las convierte en variables de extraordinaria importancia.

Como resultados para el análisis de la unidad hidrográfica del río Sucio, se obtuvo un plano cartesiano. (Figura 57).

Figura 57. **Influencia y dependencia entre variables**



Fuente: elaboración propia.

En el resultado de influencia y dependencia, las variables significativas para el análisis de escenarios resultan ser las determinantes y variables claves, no obstante, pude identificarse que gran parte de la variables tienen una significativa dependencia e influencias, siendo necesario considerarlas.

Las determinantes son aquellas que son muy influyentes, que dependiendo de su evolución, van a constituirse en frenos o motores del sistema, entre estas se obtuvieron: baja cobertura de saneamiento, baja cobertura de abastecimiento de agua potable y la disposición de usuarios.

Las variables clave son las que deben abrir espacios para la participación en los procesos de desarrollo, entre ellas se obtuvieron: conflicto de uso de la tierra, estructura organizativa (no hay comité de cuenca), deforestación, sobre explotación, cambio climático, riesgo hídrico, iniciativas de manejo de cuencas, ausencia de plan de gestión hídrica, apoyo del gobierno central y visión del Estado.

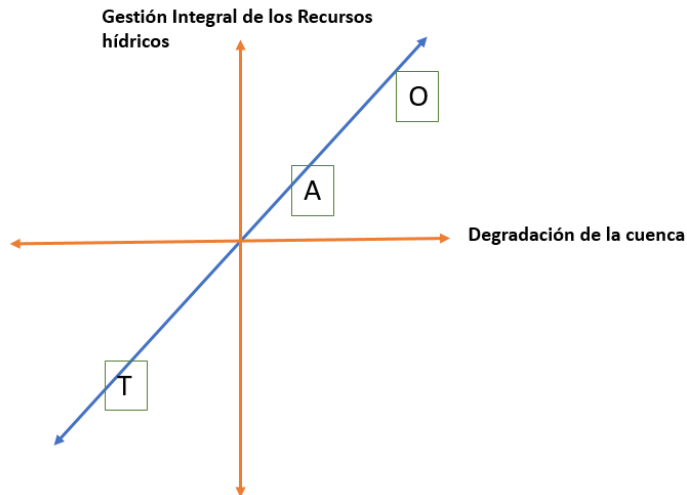
## **9.2. Análisis de escenarios**

El análisis de escenario parte de las variables determinantes y claves, mismas que son las conductoras del sistema, debido a su alta influencia sobre el resto de variables.

Con base a la construcción de dos ejes de incertidumbres (Figura 58), se desarrolló tendencias cualitativas de los escenarios. ¿Qué pasa si los dos ejes de incertidumbres tienden a desarrollarse en planos negativos? ¿Qué futuro podríamos esperar si, por el contrario, las dos incertidumbres críticas se desarrollan en planos positivos? ¿Y si uno de ellos se hace positivo y el otro tiende a lo negativo?.



Figura 58. Ejes de incertidumbres



Fuente: elaboración propia.

Al final es posibles identificar escenarios de futuro: tendencial o catastrófico (T), analizan desde lo negativo; alcanzable, realizable o posible (A), como resultado del logro de avances y retrocesos en cada uno de los ejes de análisis; optimista o utópico (O), se analizan desde lo positivo y en él escenario también tiene influencia el nivel de optimismo con el que se detallan las posibilidades.

#### a) Escenarios I: Tendencial

- Incremento del conflicto de uso de la tierra;
- Continuación de la deforestación;
- Aumento de la sobre explotación;
- Mayor efecto del cambio climático;
- Riesgo hídrico;
- Estancamiento de la cobertura de agua y saneamiento;
- Disminución de la oferta de agua;

- Ausencia de plan de gestión hídrica;
- Incremento de la pobreza;
- Inseguridad alimentaria

#### **b) Escenario II: Alcanzable**

- Mejoramiento de la cobertura de abastecimiento de agua y saneamiento;
- Mejoramiento de la estructura organizativa en la unidad hidrográfica río Sucio a través de la formación de comité de cuencas, subcuenca o microcuenca;
- Implementación del plan de gestión integrada de recurso hídrico;
- Alta disposición y participación del gobierno central en los procesos de gestión de la unidad hidrográfica río Sucio;
- Fortalecimiento a los gobiernos municipales en la gestión, participación y facilitación de equipamiento relacionados al manejo de los recursos hídricos;
- Promoción de la gestión del conocimiento para la formación de una cultura de protección y conservación de los recursos hídricos donde participen autoridades locales, usuarios, comunidades, organizaciones locales;
- Mejoramiento en la aplicación de la ley de agua u otras leyes relacionadas con el agua a través de la capacitación y sensibilización a autoridades locales, organizaciones y usuarios.

#### **c) Escenario II: Óptimo**

- Logrado un equilibrio en entre la capacidad de uso de la tierra y el uso de la misma reduciendo a la mínima expresión el conflicto de uso de suelo;
- Plan de manejo integral de los recursos hídricos implementándose con al menos 3 a 4 proyectos en desarrollo;

- Población con alta capacidad de resiliencia ante los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos;
- Implantadas medidas relacionadas al aprovechamiento racional, reúso del agua, cosecha de agua como contribución al manejo sostenible de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio;
- Practicas establecidas para eliminar la contaminación de los recursos hídricos por desechos sólidos y aguas residuales provenientes de la ciudad y la industria;
- Declaradas zonas de protección y conservación por su potencial de recarga hídrica y/o vulnerabilidad ante la contaminación o degradación;
- Implementadas acciones efectivas y sistematizada relacionadas al control y monitoreo de la cantidad y calidad del agua en toda la extensión de la unidad hidrográfica río Sucio;
- Fortalecidas las autoridades municipales, los comité de subcuencas o microcuencas, organizaciones y usuarios en particular a fin de generar capacidades locales que permitan establecer y poner en práctica políticas y estrategias de interés relacionadas a los recurso hídricos;
- Implementados mecanismos de incentivos para promover los servicios ambientales y prácticas innovadoras amigables con los recursos hídricos;
- Implementados los instrumentos técnicos y de seguimiento que permitan avanzar en la gestión integrada de los recursos hídricos.

### **9.2.1. Elaboración de escenarios narrativos**

#### **9.2.1.1. Escenario tendencial**

¿Qué pasa si no hacemos nada, si todo sigue igual?

De mantenerse o incrementarse las áreas en conflicto en el uso de la tierra, en las áreas sobre-utilizadas por ejemplo, se perderá el potencial productivo dando paso a la migración y por ende crecimiento a la frontera agrícola; en las áreas sub-utilizadas, se pierde la oportunidad de producir para mejorar la economía de la cuenca; en las áreas con usos no adecuados, se pondrá en riesgo el equilibrio ambiental dando paso a catástrofe.

Cada vez se perderá más bosque y con eso se amenaza la disponibilidad de los recursos hídricos, esto acompañado con la sobreexplotación del agua, se estará dando paso en un plazo no muy lejano, a la desertificación. Con lo anterior será muy difícil que las comunidades puedan adaptarse a los efectos del cambio climático.

El riesgo hídrico incrementará como resultado de la disminución de la oferta y la contaminación del agua, reduciéndose cada vez más la disponibilidad. Si la meta es mejorar la cobertura de agua potable, esta se verá afectado por la disminución del potencial del acuífero de la zona y la contaminación de los mismos.

La ausencia de un plan de gestión hídrica será el factor más importante que dará paso al deterioro de los recursos hídricos de la cuenca, esto traerá consigo inseguridad alimentaria y por ende incremento de la pobreza extrema.

#### **9.2.1.2. Escenario alcanzable**

¿Qué pasa si unas cosas mejoran y otras no?

Si se trabaja en función de mejorar la disponibilidad y calidad de agua en la cuenca, se estará garantizando agua para los diferentes usos de la cuenca, incluyendo la demanda ecológica.

La formación y funcionamiento de los comités de cuencas será la mejor instancia de participación de los usuarios, gremios y demás actores, pero será efectivo, siempre que se cuente con un instrumento de gestión, y es aquí donde el plan juega un papel importante en la gestión integrada de recurso hídrico.

Si la participación del gobierno central es activa y sólida, se fortalecerá el control en el manejo responsable y equitativo del recurso, además se propiciara mecanismos de cooperación entre los involucrados en el manejo del agua en la cuenca.

De fortalecer a los gobiernos municipales en la gestión del agua, se facilitaran procesos de participación y sensibilización, debido a que son la autoridad de más influencia a nivel local.

La gestión del conocimiento a través de la formación de recursos humanos, además de crear mejor capacidad de gestión, dará paso a la creación de una cultura de protección y conservación de los recursos hídricos contribuyendo de esa manera al manejo sostenible de los mismos.

### **9.2.1.3. Escenario optimista**

Lo que sucede si todo mejora, si todo es ideal.

Habría un equilibrio en el uso de la tierra garantizando una sostenibilidad en la producción sin afectar el desarrollo futuro.

Se tendría una población resiliente ante los efectos del cambio climático con capacidad de resistir y producir en situaciones adversas, haciendo un uso racional del agua.

La contaminación de los recursos hídricos es disminuida, como efecto de un buen manejo de desechos sólidos y líquidos.

La cuenca cuenta con zonas de protección y conservación de recursos que garantizan sostenibilidad ecológica y abastecimiento a la necesidad humana.

Control y monitoreo de usuario de la cuenca, la cantidad y calidad de sus respectivas fuentes de aprovechamiento de agua, así mismos, los usuarios cuentan con un abastecimiento racional y equitativamente.

Las autoridades municipales, los comités de subcuencas o microcuencas, organizaciones y usuarios en particular tienen capacidad local para el manejo de los recursos hídricos.

En la cuenca se promueven incentivos a aquellos usuarios que practican prácticas ambientales favorables para la protección y conservación de los recursos hídricos.



## **10. PROPUESTA PLAN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

### **10.1. Introducción**

Un plan es el instrumento más importante en la materialización de la política hídrica y las estrategias que a bien de la gestión de los recursos hídricos se promulguen. Permite proyectar el horizonte donde se quiere llegar y los mecanismos que se requieren para alcanzarlo.

En el presente trabajo, se propone la implementación de un plan que coadyuve a resolver la problemática actual que atraviesan los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio. Para eso, a partir de los hallazgos identificados en la fase diagnóstica del presente estudio, se proponen líneas de acción que van encaminadas primeramente a la conservación y preservación de los recursos hídricos para bien de las familias y al fortalecimiento de capacidades institucionales, organizacionales y gestión de conocimiento.

### **10.2. Visión**

Al 2026, la unidad hidrográfica río Sucio cuenta con una alta capacidad de gestión y participación de todos los actores involucrados en los recursos hídricos, con base a un desarrollo integral sostenible que garantiza el bienestar de sus comunidades.



### **10.3. Misión**

Impulsar la gestión integrada de los recursos hídricos de la unidad hidrográfica río Sucio, a través de la implementación de un plan hídrico y la formación de un comité de subcuenca sólido en donde se involucren todos aquellos actores claves de la cuenca.

### **10.4. Principios de la gestión hídrica**

El propósito de este apartado es orientar la planificación y gestión hídrica con base a principios y asuntos clave, mismos que están contemplados en el marco jurídico de Nicaragua. Los principios a mencionar son los propuestos en la Política Nacional de los Recursos Hídricos, los cuales se pueden mencionar:

El acceso al agua y el saneamiento básico como un derecho humano; el agua dulce como un recurso finito y vulnerable, esencial para conservar la vida, sostener el desarrollo social y económico, así como para preservar el medio ambiente; la mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua; el agua tiene un valor social, cultural, ambiental y económico en los diversos usos a los que se destina y por tanto debe reconocérsele como un bien primordial para la vida humana y el desarrollo socioeconómico del país; el agua para consumo humano tiene prioridad sobre cualquier otro uso; el agua es un bien de dominio público; la cuenca hidrográfica como la unidad de gestión territorial de los recursos hídricos; la gestión eficaz de los recursos hídricos requiere un enfoque integrado que concilie el desarrollo económico y social con la protección de los ecosistemas naturales; la gestión de los recursos hídricos se basa en un enfoque de participación ciudadana, que involucra a usuarios, planificadores y tomadores de decisión de todos los niveles; entre otros.

## 10.5. Estrategias del plan

Para la definición de las estrategias del plan se evaluó primeramente el problema, causas y efectos para dar paso a la formulación de objetivos. Identificado el problema principal de la cuenca, se analizó las causas del problema. (Figura 59).

Figura 59. Análisis de causas de problemas



Fuente: elaboración propia.

A partir del análisis de causa del problema más importante identificado, se construyó el árbol de efecto. El árbol de efecto permite definir las consecuencias más importantes del problema en cuestión, de esta forma se analiza y verifica su importancia. Se trata, en otras palabras, de tener una idea del orden y gravedad de los efectos que tiene el problema que se ha detectado, lo cual hace que se amerite la búsqueda de soluciones. (CEPAL, 2005).

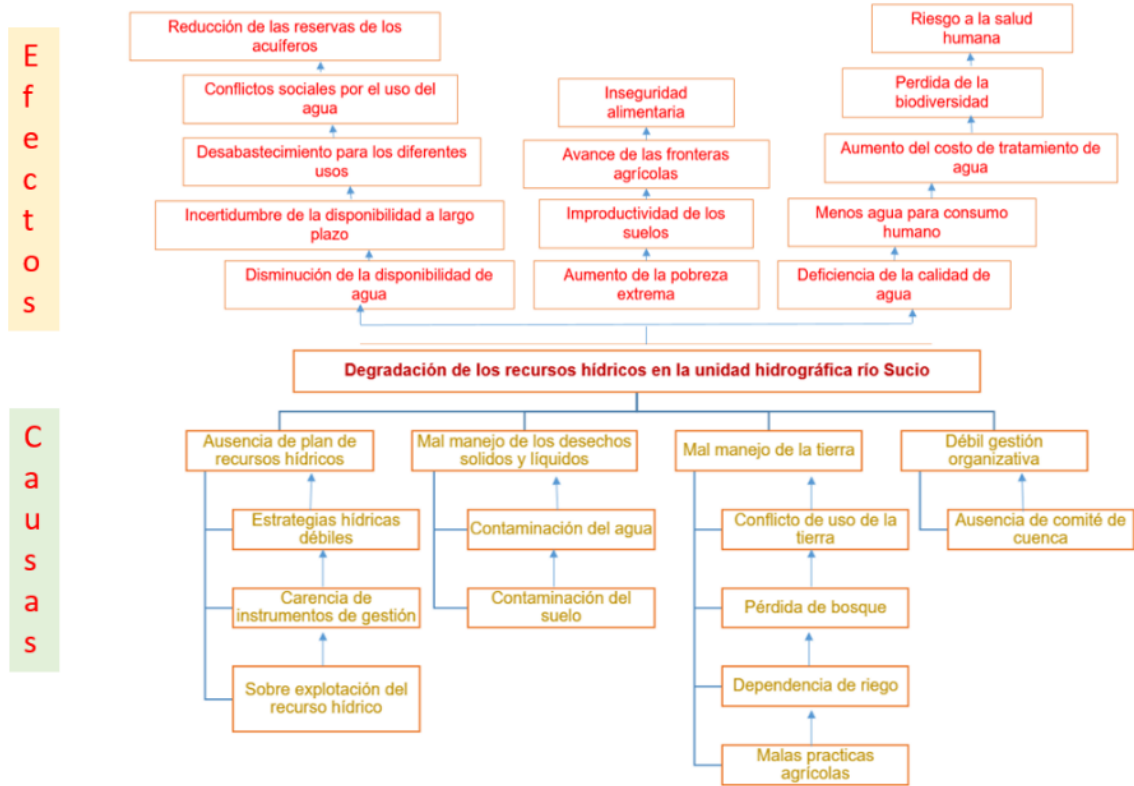
Figura 60. **Árbol de efecto del problema**



Fuente: elaboración propia.

Una vez que el problema central, las causas y los efectos están identificados, se construye el árbol de problemas. El árbol de problemas da una imagen completa de la situación negativa existente. (Figura 60).

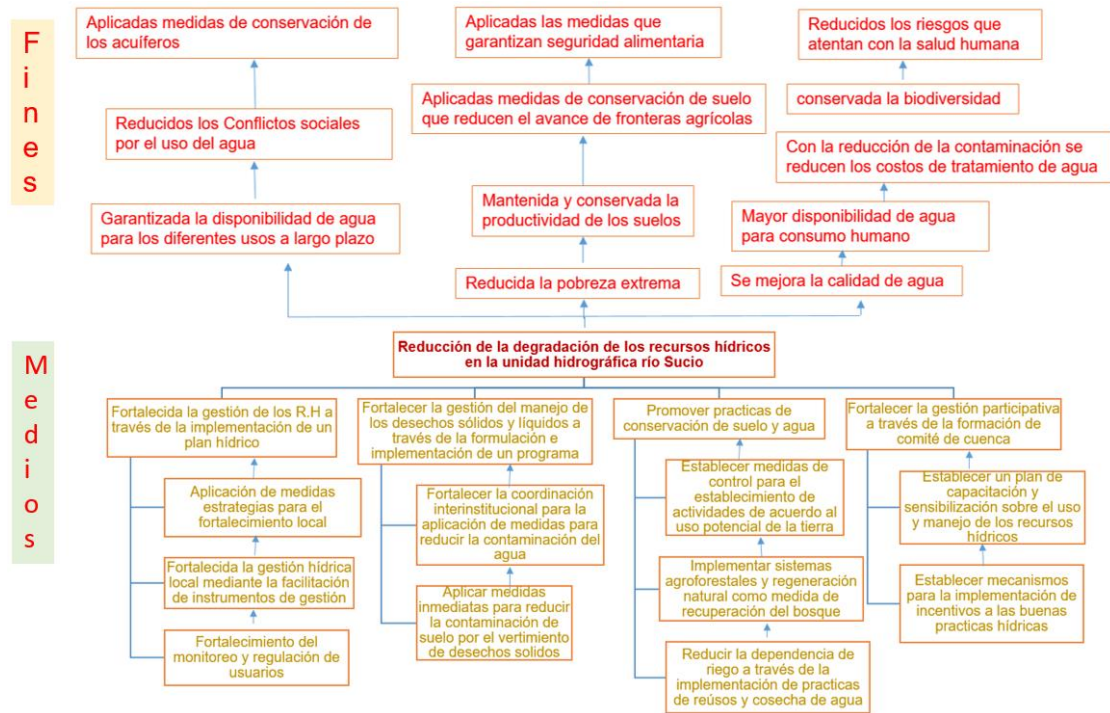
Figura 61. **Figura 1: Árbol de problema**



Fuente: elaboración propia.

Después que es analizado y construido el árbol de problema, se construyó el árbol de objetivo. El análisis de los objetivos permite describir la situación futura a la que se desea llegar una vez se han resuelto los problemas. Consiste en convertir los estados negativos del árbol de problemas en soluciones, expresadas en forma de estados positivos. De hecho, todos esos estados positivos son objetivos y se presentan en un diagrama de objetivos en el que se observa la jerarquía de los medios y de los fines. Este diagrama permite tener una visión global y clara de la situación positiva que se desea, (CAPAL, 2005). (Figura 62).

Figura 62. **Árbol de objetivo a partir del análisis de problemas**



Fuente: elaboración propia.

El análisis anterior es un insumo importante para la construcción del marco lógico del plan, herramienta útil para el ordenamiento lógico de las intervenciones.

### 10.6. Marco lógico del plan

El marco lógico es construido a partir del árbol de objetivo específicamente de los medios que se proponen para llegar a los fines, es decir, al cambio que se desea llevar para resolver el problema principal de la cuenca (Figura 61). El marco lógico es una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño y ejecución de proyectos o programa. Su propósito es brindar estructura

al proceso de planificación y de comunicar información esencial relativa al proyecto.

La matriz de marco lógico presenta en forma resumida los aspectos más importantes del proyecto, contempla el resumen narrativo de los objetivos y las actividades; se formulan los indicadores (resultados específicos a alcanzar); se especifican los medios de verificación que permitirán comprobar el desarrollo de las metas y se consideran los supuestos (factores externos que implican riesgos). A en la tabla LXX se presentan el marco lógico del plan de la unidad hidrográfica río Sucio.

Tabla LXX. **Marco lógico del plan**

Estrategias		Indicadores	Fuentes medios y de verificación	Hipótesis/supuestos
Fin	Reducir la degradación de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio.	A finales de 2026 promovida en la unidad hidrográfica R. Sucio una gestión integrada de los recursos hídricos	Proyectos, programas, participación activa de actores	El compromiso del Estado y actores locales es efectivo
Propósito	Garantizar la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos para abastecer la demanda presente y futura de los usuarios de la cuenca	al 2026 todos los usuarios de la cuenca cuentan con acceso al agua en cantidad y calidad suficiente para satisfacer sus necesidades	Base de datos de usuarios abastecidos, encuestas, monitoreo de la calidad de agua, balances hídricos	Los efectos adversos no controlables afectan la disponibilidad de los recursos
Obj. Generales	1. Implantación de un plan de aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio	Programa propuesto a las autoridades nacionales y locales en el 2018. Al 2018 el plan cuenta con los fondos necesarios para implementarse	Documento del plan, convenios de cooperación, actas	Interés del gobierno central, local y usuarios para implementar el plan
Obj. Específicos (Componentes)	1.1. Fortalecer la gestión de los recursos hídricos a través de la implementación de estrategias de manejo sostenibles	A finales de 2026, se cuentan con acciones sostenibles, evidenciando mejoras en la disponibilidad, usos racional y calidad del agua	Memorias de las acciones, supervisiones de campo, encuestas	Los actores de la cuenca adoptan medidas sostenibles en pro de la rehabilitación de la cuenca

Estrategias		Indicadores	Fuentes medios y de verificación	Hipótesis/supuestos
	1.2. Fortalecer la gestión del manejo de los desechos sólidos y líquidos como medida de reducción de la contaminación a los recursos hídricos	Programa formulado y gestionado al 2018 y ejecutándose al 2019	Documento técnicos, convenios de cooperación, actas de apoyo institucional	Compromiso del gobierno municipal y actores de la cuenca en la gestión de recursos para implementar el programa
	1.3. Promover prácticas de conservación de suelo y agua incluyendo alternativas para reducir los déficit de agua	Al menos 03 prácticas de conservación de suelo aplicadas a finales de 2018 y 02 prácticas de conservación de agua.	Memorias de experiencias, listados de usuarios con experiencias, fotografías de las prácticas	Motivación de los usuarios y el nivel de compromiso de todos los actores para mantener sustentabilidad de las prácticas a largo plazo
	1.4. Promover la gestión participativa de los actores de la unidad hidrográfica río Sucio	al menos 50% de los usuarios participan activamente en las actividades del plan al 20120	Listados de actores, memorias de reuniones, acuerdos	un 50% de usuarios participan de forma aislada
Actividades	1.1.1. Fortalecer la gestión hídrica mediante la facilitación de instrumentos de gestión	Al 2026, al menos 01 zona declarada como áreas de recarga de acuífero. 01 manual elaborado para el manejo de la cuenca. Al menos 02 propuestas de reglamentos específicos para mejorar la gestión	Declaratoria, manuales, reglamento elaborados	Interés del Estado en impulsar la declaratoria de áreas de protección hídrica. La política Nacional de recursos hídricos ya ha sido aprobada con el fin de facilitar procesos
	1.1.2. Fortalecimiento del monitoreo y regulación de usuarios	Al 2019, 100% de los usuarios están identificados en el Registro Nacional de Derechos de Agua. Al menos el 50% son sujetos de monitoreo y regulación	Lista de usuarios, constancias de registros	Existe los medios y recurso necesarios para la implementación de este proceso
Actividades	1.2.1. Fortalecida la coordinación interinstitucional para la aplicación de medidas para reducir la contaminación del agua u otros efectos	Al menos 05 instituciones están actuando en conjunto para reducir los riesgos de contaminación de los recursos hídricos. Al menos 50% de usuarios que generan vertido como parte de procesos industrial están bajo control y monitoreo del Estado	Convenios de cooperación interinstitucional aprobados y ejecutados, planes operativos anuales. Actas de reuniones del con el comité. Número de usuarios registrados y monitoreado	Los actores involucrados trabaja en sinergia y facilitan recurso conjuntos para una ejecución efectiva
	1.2.2. Aplicar medidas inmediatas para la reducción de la contaminación del suelo	al menos 02 estrategias implementada en el tratamiento de los desechos sólidos al 2019	propuestas elaboradas e implementándose	Compromiso de la municipalidad y los usuarios

Estrategias		Indicadores	Fuentes medios y de verificación	Hipótesis/supuestos
	por vertimiento de desechos solidos			
Actividades	1.3.1. Establecer medidas de control para el establecimiento de actividades de acuerdo al uso potencial de la tierra	Al menos dos medidas implementadas al 2020	Reglamentos, estudios, memoria de propuesta	La medidas son aplicadas eficientemente y aceptadas por la población
	1.3.2. Implementar sistemas agroforestales y regeneración natural como medida de recuperación del bosque	Al menos un 30 % de los agricultores agrícola implementa una de las dos prácticas al 2020	Listado de productores, evidencia de las prácticas	Los sistemas son adoptados y con efecto multiplicador
	1.3.3. Reducción de la dependencia de riego a través del aplicación de prácticas de reúso y cosecha de agua	Al 2022 un 30 % de los usuarios utilizan prácticas de reúso del agua. Al 2020 un 20 % de los usuarios tiene sistemas de cosecha de agua	Lista de usuarios, evidencia de prácticas	Aceptabilidad de los usuarios al cambio
	1.4.1. Formación de comité de cuenca	Comité de cuenca formado a finales de 2018	Actas, acuerdos, reglamentos de operación	Apropiación del comité de cuenca como mecanismo de incidencia para la gestión de los recursos hídricos a nivel local
	1.4.2. Establecer un plan de capacitación y sensibilización sobre el uso y manejo de los recursos hídricos	Plan elaborado e implementándose a más tardar a inicios de 2019	Documento del plan, memorias de talleres, charlas o giras de intercambio, listado de participantes	La mujer como un actor estratégico de la cuenca participa en la adquisición de capacidades
	1.4.3. Motivar la participación de usuarios por medio de mecanismos de incentivos a las buenas practicas hídricas	al 2020 el estado representado por las instituciones han logrados acuerdos y elaborado los términos de referencias para la implementación los incentivos	Acuerdos, términos de referencias, sistematización de prácticas	Los incentivos definidos, son los suficientemente motivadores y satisfactorios para la multiplicación de nuevas prácticas hídricas

Fuente: elaboración propia.



## 10.7. Plan de acción estratégica

El plan de acción corresponde a todas las estrategias a implementar en la unidad hidrográfica río Sucio, incluye los objetivos estratégicos, operativos, actividades a desarrollar y el cronograma de ejecución.

Tabla LXXI. Plan de acción estratégica

Actividad	Acción	Responsables	Fuente de financiamiento	2018 - 2027											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Objetivo estratégico 1. Implantación de un plan para la sostenibilidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica río Sucio															
Objetivo operativo 1.1. Fortalecer la gestión de los recursos hídricos a través de la implementación de estrategias de manejo sostenibles															
Actividad 1.1.1. Fortalecer la gestión hídrica mediante la facilitación de instrumentos de gestión.	Acción 1: Proponer a la Autoridad Nacional del Agua la declaración y protección de zonas de recarga hídrica en la cuenca	Comité de cuenca, gobierno local, MARENA, ANA, FISE, MAG	Gobierno central, cooperación externa												
	Acción 2: Elaboración de un manual participativo para el manejo de los recursos hídricos de la cuenca	ANA (Preside), MARENA, ENACAL, FISE y comité de cuenca	Gobierno central												
	Acción 3: Elaboración reglamentos y/o ordenanzas para el manejo y protección de los recursos hídricos	ANA, comité de cuencas, Gobierno local, MARENA, ENACAL, FISE	Gobierno central												
Actividad 1.1.2. Fortalecimiento del monitoreo y regulación de usuarios	Acción 1: Realizar inventario de todos los usuarios de agua de toda la cuenca	ANA con el apoyo del gobierno local e instituciones	Gobierno central, cooperación externa												
	Acción 2: Establecimiento de una red de sitios de monitoreo y control en aras de analizar comportamientos y tendencias	ANA	Gobierno central, cooperación externa												
Objetivo operativo 1.2. Fortalecer la gestión del manejo de los desechos sólidos y líquidos como medida de reducción de la contaminación a los recursos hídricos															

Actividad	Acción	Responsables	Fuente de financiamiento	2018 - 2027																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
Actividad 1.2.1. Fortalecer la gestión interinstitucional para la aplicación de medidas para reducir la contaminación del agua	Acción 1: Implementación de una agenda de participación constante de instituciones en donde resulten compromisos y acciones conjuntas.	ANA (preside), MARENA, ENACAL y comité de cuenca	Gobierno central, cooperación externa																	
	Acción 2: Diseñar y gestionar los recursos para el desarrollo del proyecto "alcantarillado sanitario para la ciudad de Chichigalpa"	Gobierno local, comité de cuencas	Cooperación, gobierno local y nacional																	
	Acción 3: Desarrollar un proceso registro, monitoreo y control de todos aquellos usuarios que generan vertidos a cuerpos receptores	ANA con el apoyo del gobierno local e instituciones	Gobierno central																	
Actividad 1.2.2. Aplicar medidas inmediatas para la reducción de la contaminación del suelo por vertimiento de desechos sólidos	Acción 1: Diseñar, gestionar e implementar el proyecto " Relleno sanitarios para el tratamiento de los desechos sólidos en el municipio de Chichigalpa	Gobierno local, comité de cuencas	Cooperación, gobierno local																	
	Acción 2: Desarrollar proyecto comunitario para el tratamiento de los desechos sólidos y reutilización de los desechos orgánicos	Gobierno local, comité de cuencas, MARENA, ANA, MAG	Cooperación, gobierno local, comunitarios																	
Objetivo operativo 1.3. Promover prácticas de conservación de suelo y agua incluyendo alternativas para reducir los déficit de agua																				
Actividad 1.3.1. Establecer medidas de control para el establecimiento de actividades de acuerdo al uso potencial de la tierra	Acción1: Proponer una ordenanza transitoria para el ordenamiento de las actividades del territorio, mientras se aprueba la Ley General de Ordenamiento y desarrollo Territorial	Gobierno local, comité de cuencas	Gobierno local y municipal																	
	Acción 2: Diseñar y gestionar la aprobación de un proyecto de diversificación productiva en aras de desarrollar las áreas de la cuenca que están en subutilización	MAG (Preside), MARENA, ANA, gobierno local, comité de cuencas	Cooperación y gobierno central																	
Actividad 1.3.2. Implementar sistemas agroforestales y	Acción 1: Ejecución de proyecto de reforestación, a través del establecimiento de sistemas agroforestales y	MARENA (preside), MAG, ANA, gobierno local, comité de cuencas	Cooperación y gobierno central																	

Actividad	Acción	Responsables	Fuente de financiamiento	2018 - 2027											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
regeneración natural como medida de recuperación del bosque	sistemas de regeneración natural														
Actividad 1.3.3. Reducción de la dependencia de riego a través del aplicación de prácticas de reúso y cosecha de agua	Acción 1: Implementación de proyecto de reúso de aguas en unidades de riego y domesticas	ANA, comité de cuencas, Gobierno local, MARENA, ENACAL, FISE	Cooperación externa y gobierno central												
	Acción 2: Implementación de proyecto de cosecha de agua a nivel rural	MARENA (preside), MAG, ANA, FISE, comité de cuencas	Cooperación externa y gobierno central												
Objetivo operativo 1.4. Promover la gestión participativa de los actores de la unidad hidrográfica río Sucio															
Actividad 1.4.1. Formación de comité de cuenca	Acción 1: Desarrollar procedimientos legales y técnicos para la conformación del comité de cuenca	ANA (preside) Gobierno local, MARENA, ENACAL, FISE	Gobierno central												
Actividad 1.4.2. Establecer un plan de capacitación y sensibilización sobre el uso y manejo de los recursos hídricos	Acción 1: Elaboración y ejecución de un plan de capacitación dirigido a usuarios, sistema educativo y público en general relacionado al uso y manejo sostenible del agua	ANA, comité de cuencas, Gobierno local, MARENA, ENACAL, FISE	Cooperación externa												
	Acción 2: Desarrollo de una campaña permanentes relacionada a la protección y conservación de los recurso hídricos	ANA, comité de cuencas, Gobierno local, MARENA, ENACAL, FISE	Gobierno central, fondos locales												
Actividad 1.4.3. Motivar la participación de usuarios por medio de mecanismos de incentivos a las buenas prácticas hídricas	Acción 1: Sistematizar todas aquellas prácticas sostenibles de manejo del recurso hídricos existentes en la cuenca	ANA, MARENA, Comité de cuenca, gobierno local	Gobierno central, fondos locales												
	Acción 2: Elaboración de términos de referencia para la promoción y aplicación de incentivos	ANA, MARENA, Comité de cuenca, gobierno local	Gobierno central, fondos locales												

Fuente: elaboración propia.

## **10.8. Organización y estrategias de sostenibilidad**

En primera instancia, la voluntad del gobierno central y gobiernos municipales para impulsar el plan, es el efecto más importante para iniciar todo proceso de gestión en la unidad hidrográfica del río Sucio. Mismos que deben facilitar recursos, sean humano o financieros y además agilidad en la búsqueda de financiamiento. Tomar en cuenta que la voluntad política más que el convencimiento de las autoridades, es construida a través de la perseverancia de la idea fija y el objetivo claro. (Gil, 2011). En segunda instancias, está la cohesión y trabajo en equipo, las instituciones y actores locales trabajan activamente para el mismo fin, y en aun mediano y largo plazo los problemas de la cuenca se vayan resolviendo, obteniendo mayor desarrollo, menos pobreza, menor tasa de morbilidad, entre otros beneficios.

La idea es formar capacidades locales sustentables en el tiempo, para eso se propone que tanto hombres como mujeres participen activamente en los procesos. Participación que puede hacerse desde al mismo comité de cuenca o desde las comunidades de la cuenca. Cabe señalar que las mujeres juegan un papel activo en el buen uso del agua con fines productivos y en la vida diaria (Gil, 2011).

Fortalecer las capacidades de las instituciones públicas mejorando los sistemas y procesos administrativos y financieros que permitan la coordinación oportuna y eficaz; así como un programa continuo de formación del personal, tanto profesional como técnico y operativo, es una estrategia importante para la sostenibilidad (Pérez, E., 2010).

Se propone que la Autoridad Nacional del Agua como encargada de la planificación y gestión de los recursos hídricos sea la encargada de convocar a

las instancias correspondientes para iniciar el proceso de apertura y posterior desarrollo del plan.

La sostenibilidad del plan será el producto resultante de la capacidad de gestión, tanto de los gobiernos locales, del comité de cuenca y las instituciones nacionales, como los compromisos y responsabilidades de los usuarios o comunitarios. Para lograr ese efecto sostenible se deberán implementar estrategias tales como:

- Socialización, comunicación y acceso a la información para los actores de la cuenca. Para eso deben existir una estrategia de comunicación dirigido a lograr una continua relación entre los actores responsables del plan.
- Un sistema de monitoreo y evaluación, integrando la sistematización de las experiencias permitirá a los actores aprender, retroalimentar y de esa manera orientar la toma de decisiones para que el plan sea efectivo.
- Empoderamiento e institucionalidad del plan y de sus programas y proyectos para lo cual se ha definidos acciones específicas relacionadas con el fortalecimiento de capacidades y además la integración de elemento que derivan beneficios directos y concretos que responden a las motivaciones e intereses de los actores.

#### **10.9. Estrategias de financiamiento y fondo para manejo de cuencas**

Es necesario identificar todas las posibles fuentes de financiamiento para cubrir los costos de actividades que involucra el desarrollo del plan. Como primera fuente, están los presupuestos municipales y transferencias del gobierno central, aprovechando que las municipalidades dentro de su plan operativo involucran acciones relacionadas con el agua y saneamiento. Está establecido que los gobiernos municipales deben invertir al menos 12.5 % de su presupuesto

a proyectos de agua, saneamiento y medio ambiente, estas es una oportunidad de captar fondos.

Otra posibilidad de financiamiento son las donaciones o préstamos a largo plazos que el gobierno nacional adquiere mediante convenios bilaterales con países y organismos internacionales. Existen en el país cooperantes que apoyan iniciativas para el manejo de recursos hídricos y sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento, en lo que se puede mencionar: Cooperación Alemana, Water AID, Cooperación Suiza, AECID, entre otras. Para lograr obtener financiamiento de estas fuentes, se debe elaborar desde ya propuesta al gobierno central para que sea incluida en el banco de proyectos elegibles para financiamiento.

Otra posibilidad de fondo es la aplicación de un canon por el usos y aprovechamiento de los recursos hídricos, considerando que en la unidad hidrográfica río Sucio se extraen actualmente más de 153 millones de metros cúbicos al año de agua sin ninguna retribución por ese servicio ambiental. Si bien es cierto que para hacer cobro de un canon de agua, la Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620) establece la aprobación de una ley especial de canon, se podría emitir Decreto ejecutivo transitorio para el cobro como recurso para el manejo sostenible de los recursos hídricos. Cabe señalar que en Nicaragua ya hay otra iniciativa similar, pero que no se aplica para la cuenca, y es el caso del decreto No. 10-2008 el que establece un cobro para la sostenibilidad de las reservas de agua subterránea.



## CONCLUSIONES

1. En la búsqueda de resolver los principales problemas de la cuenca, se propuso un plan para la sostenibilidad de los recursos hídricos, mismos que ostentan líneas de acción encaminadas a fortalecer capacidades locales para la gestión, organización y adquisición de conocimientos.
2. La evaluación previa de la cuenca, permitió identificar que la oferta hídrica es de 165.30 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y de 130.98 Mm<sup>3</sup> en agua subterránea, de estos, la demanda se estimó en 153.50 Mm<sup>3</sup> anuales. Por otro lado, se estimó un flujo de retorno de 21.71 Mm<sup>3</sup> anuales y descarga de agua subterránea a otras cuencas de 19.08 Mm<sup>3</sup> anuales, considerando estas variables, se determinó que la disponibilidad hídrica de la cuenca en 151.40 Mm<sup>3</sup> anuales. Sin embargo, se considera que la disponibilidad, no es constante durante un año hidrológico, se ve afectada en la época de estiaje con déficit de 4.74 a 9.61 Mm<sup>3</sup> anuales en agua superficial y 8.03 a 9.06 Mm<sup>3</sup> en agua subterráneas.
3. Es observable en el balance hídrico superficial que las extracciones de agua fueron superiores a la oferta potencial en la época de estiaje, esto significa que hay una sobre explotación del recurso.
4. La demanda hídrica actual fue proyectada a 10 años, esta incrementó a 191.48 Mm<sup>3</sup> anuales, volumen que podría ser no atendido al considerar que esta demanda se da mayormente en los meses de ausencia de lluvias.
5. La disponibilidad de recursos hídricos en cuanto a calidad, está siendo afectada por la contaminación bacteriológica y sustancias químicas en



algunos sitios de análisis, con valores fuera de los límites establecidos, según las normas: OMS, CAPRE y NTON 05-007-98.

6. A partir del análisis del impacto sobre los recursos hídricos de la cuenca, se identificó que los mismos presentan una alta degradación y amenaza y que de seguir deteriorándose, para el 2026 la disponibilidad de agua no será suficiente para atender la demanda.
7. La formación y funcionamiento de un comité de cuencas, el nivel de participación de los actores de la cuenca, en el análisis, demostraron ser factores impulsores para mejorar la gestión de los recursos hídricos.
8. Con el análisis prospectivo de los recursos hídricos desarrollado, se concluyó que las variables determinantes están relacionadas a la gestión de usuarios de los recursos hídricos, cobertura de agua potable y saneamiento; en las variables clave resultó la atención a problemas relacionados con: el conflicto de uso de suelo, deforestación, sobre explotación y cambio climáticos.
9. En el análisis de escenario, las tendencias apuntan al incremento y agudización de los problemas actuales, y en la medida que estos sean convertidos a escenarios alcanzables y optimistas, se lograría un equilibrio, mayor desarrollo y reducción significativa de la pobreza extrema.
10. Se considera que las líneas de acción que se propusieron en el presente plan son aplicables y sostenibles en la medida que haya una cohesión o esfuerzo conjunto de todos los actores de la cuenca, para ello, el Estado debe jugar un papel propulsor de las acciones.

## RECOMENDACIONES

1. Por los vacíos de información que habían entorno a la unidad hidrográfica, es necesario complementar y/o retroalimentar el diagnóstico para mejorar el plan.
2. Por la naturaleza en la elaboración de este plan, es decir, se partirá como una iniciativa académica, se propone que sea compartido y discutido con los actores de la cuenca, con el propósito de hacer más efectivo su aplicación.
3. Se sugiere que la Autoridad Nacional del Agua como órgano rector de los recursos hídricos en coordinación con otras instituciones que trabajan en el tema del agua, retomen los hallazgos y las ideas propuestas en el presente plan.
4. Que el primer paso sea establecer el comité de cuencas en la unidad hidrográfica río Sucio, seguido de la búsqueda de financiamiento para el desarrollo de las alternativas del plan de acción.
5. En el plan se proponen algunos proyectos de gran interés para la mejor gestión de los recursos hídricos en la cuenca, es recomendable que el gobierno local y los demás actores los retomen. Sin plan o con plan son muy significativos para el buen desarrollo de la cuenca.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcaldía Municipal de Chichigalpa (Nicaragua). Plan Ambiental Municipal 2008-2017. Chinandega, abril 2008. 68 p.
2. Alcaldía Municipal de Chichigalpa (Nicaragua). Caracterización Municipal. Chinandega, 2009. 31 p.
3. ALTAMIRANO, Maira Esther. Estudio de la microcuenca y diseño del Plan de acción participativo para potenciar la disponibilidad y calidad de agua en la comunidad de Colonia Roque, municipio de Tipitapa, departamento de Managua. Tesis (Magister en ciencias del Agua). Managua, Nicaragua. Universidad Autónoma de Nicaragua, 2002. 46 p.
4. APARICIO, Francisco J. Fundamento de Hidrología de superficies. Editorial Limusa, primera edición, México, 1992. 152 p.
5. Autoridad Nacional del Agua (Nicaragua). Revista científica No.2. Managua, octubre 2014. 28 p.
6. Autoridad Nacional del Agua (Nicaragua). Guía de elaboración de los planes de gestión integrada de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas en Nicaragua. Programa ANA/PROATAS/GIZ, Managua, 2015. 82 p.

7. Autoridad Nacional del Agua (Nicaragua). Sistema Nacional de Información Hídrica. Base de datos de información hidrológica. Managua, 2016. 82 p.
8. Autoridad Nacional del Agua (Nicaragua). Plan de gestión integrada de los recursos hídricos subcuenca Mayales. Programa ANA/PROATAS/GIZ, Managua, julio 2014. 193 p.
9. Banco Central de Nicaragua. Cartografía digital y censo de edificaciones, cabecera municipal, Chichigalpa. Managua, enero 2017. 47 p.  
<http://www.bcn.gob.ni/publicaciones/cartografia/documentos/Chichigalpa.pdf>.
10. Banco Mundial. Nicaragua, panorama general. Septiembre 2016.  
<http://www.bancomundial.org/es/country/nicaragua/overview>.
11. CASTRO, María Luisa. Uso del cloro para la desinfección de agua para consumo: efecto en la salud humana. CEPIS, 1992.  
<http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt049.html>.
12. CATIE. Estudio sobre la capacidad de uso de la tierra en dos áreas de las subregiones Puruscal y Cariagres. Turrialba, Costa Rica, 1984. 42 p.
13. CEPAL. Aplicación de la metodología prospectiva en un sistema territorial: Construcción de escenarios. Agosto, 2000. 92 p.

14. CÁCERES, E. Victoria Raquel. Caracterización de las propiedades resistivas de los acuíferos someros en la zona central de la Planicie León-Chinandega. Tesis (Licenciatura en física). Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Centro de Investigación Geofísica, 2005. 116 p.
15. CERIGNONI, F.J y RODRÍGUEZ, V.A. Análisis morfométrico de la microcuenca núcleo Cunha, Sao Paulo, Brasil, 2015. 12 p.
16. COLACELLI Norberto A. Ganadería: Consumo de agua por el ganado. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, febrero 2014. <http://abcruraltv.com.ar/consumo-de-agua-por-el-ganado/>.
17. CORRIOLS, M. Hydrogeological, Geophysical and Hydrochemical, Investigations in the León-Chinandega Plains, Nicaragua. Licentiate Thesis. Lund University. Sweden, 2003. 164 p.
18. Comité Nacional de Productores de Azúcar. Estadísticas: datos de producción. Managua, Nicaragua, mayo 2017. 2 p. <http://www.cnpa.com.ni/indicadores/>.
19. Departamento Nacional de Planificación. Visión de desarrollo territorial departamental, CAUCA 2032. Cauca, Colombia, 2011. 192 p.
20. DUQUE, Escobar Gonzalo. Manual de Geología para Ingeniero: Macizo rocoso. Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2016. 29 p.

21. Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (Nicaragua). Abastecimiento público de agua potable. Managua, 2015.
22. FAO. La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Estudio Monte 150. Roma, 2007. 154 p.
23. Fondo de Inversión Social de Emergencia (Nicaragua). Base de datos de acueductos rurales. Managua, 2015.
24. GIL, Joram. Gestión integrada de los recursos hídricos en Guatemala: estrategias para la construcción del marco organizativo institucional del manejo del agua en la parte alta de la cuenca río Naranjo: segunda edición, UNESCO, Guatemala, 2011. 28 p.
25. GÓMEZ REYES, Eugenio. Valoración de las componentes del balance hídrico usando información estadística y geográfica. Instituto Nacional de Estadística y geografía. México, 2013. 98 p. [http://www.inegi.org.mx/RDE/RDE\\_10/Doctos/RDE\\_10\\_opt.pdf](http://www.inegi.org.mx/RDE/RDE_10/Doctos/RDE_10_opt.pdf).
26. GÓMEZ, Ligia Ivette, *et al.* Institucionalidad para la Gestión del Agua en Nicaragua: 1ª. Ed.- Managua; NITLAPAN, septiembre, 2007. 92 p.
27. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (Nicaragua). Norma Técnica para el diseño de abastecimiento y potabilización de agua, Managua, 1994. 79 p.
28. Instituto Nacional de Información de Desarrollo (Nicaragua). Anuario Estadístico 2015. Managua, Nicaragua, febrero 2016. 388 p.

29. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaragua). Amenazas Geológicas Plantas Che Guevara V. León, Nicaragua, 2009. 33 p.
30. INETER/CGU. Estudio geológico y reconocimiento de la amenaza natural: área de Chinandega y León, Nicaragua. 1999. 25 p.
31. INETER/MAGFOR. Estudio hidrológico e hidrogeológico para la región del pacífico de Nicaragua. Managua, Nicaragua, 1998. 105 p.
32. Ingenio San Antonio. Base de datos de información hídrica. Chichigalpa, 2016.
33. IBÁÑEZ, S., MORENO R. y GISBERT B. Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y Medio Natural, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2011. 9 p.
34. Ley No 620. Ley General de Aguas Nacionales. Diario oficial de la República de Nicaragua, Managua, Nicaragua, 04 de septiembre de 2007.
35. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia. La gestión del riesgo hídrico. Bogotá, mayo de 2017. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1955:el-riesgo-en-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>.
36. Mapa División Política - Administrativa departamento de Chinandega. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaragua). Escala 1:250,000. Proyección universal transversal de Mercator. Managua,



Nicaragua. Dirección General de Geofísica, 2001. 1 mapa, col., 46x68.

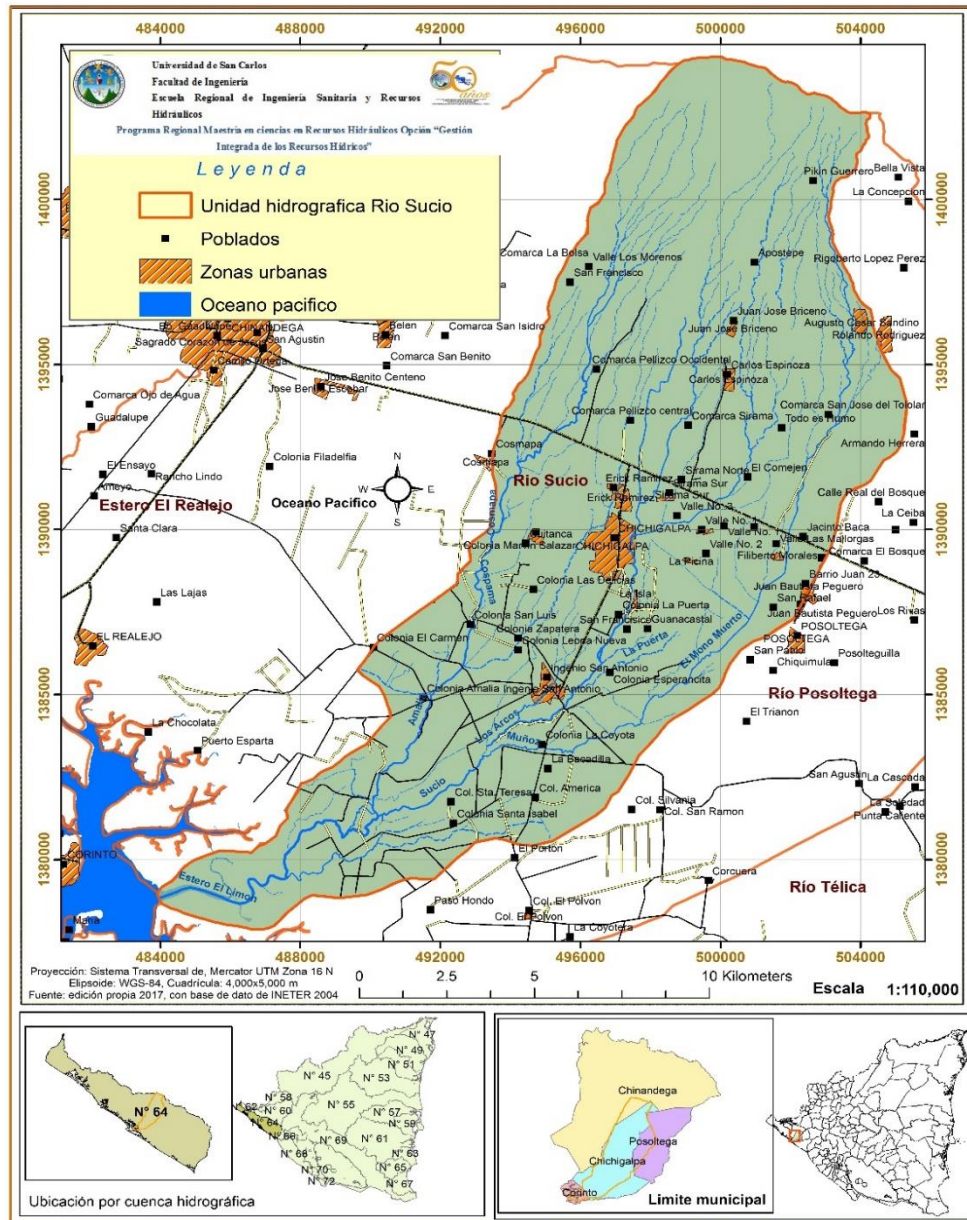
37. Mapa Clasificación Climática de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaragua). S/E. Proyección universal transversal de Mercator. Managua, Nicaragua. Dirección General de Meteorología, 2005. 1 mapa, col.
38. Mapa de Geología de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaragua). Escala 1:250,000. Proyección universal transversal de Mercator. Managua, Nicaragua. Dirección General de Geofísica, 2006. 1 mapa, col., 46x68.
39. Mapa de suelo de la República de Nicaragua. INETER/UNA/MAG. Escala 1: 750,000. Proyección universal transversal de Mercator. Managua, Nicaragua, 2015.
40. Mapa de uso de la tierra de la República de Nicaragua. MAG/INAFOR/MARENA. Escala 1: 750,000. Proyección universal transversal de Mercator. Managua, Nicaragua, 2011.
41. Mapa de confrontación de uso de la tierra de la República de Nicaragua. INETER/UNA. Escala 1: 750,000. Proyección universal transversal de Mercator. Managua, Nicaragua, 2015.
42. Mapa de cobertura forestal de la República de Nicaragua. INAFOR/MAG/MARENA. Escala 1: 750,000. Proyección universal transversal de Mercator. Managua, Nicaragua, 2015.

43. MILAGROS C. *et al.* Propuesta de planificación y gestión territorial de la microcuenca La Soledad, cuenca del río Choluteca. Honduras, mayo 2010. 199 p.
44. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (Nicaragua). Evaluación de la Vulnerabilidad Actual de los Sistemas Recursos Hídricos y Agricultura ante el Cambio Climático en la Cuenca No. 64, Managua, 2008. 44 p.
45. OMS/OPS. Guía Técnica sobre saneamiento, agua y salud. Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico, mayo 2009. 4 p. <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/9-UsoDomestico.pdf>.
46. OMS. Arsénico: nota descriptiva, junio 2016. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>.
47. PÉREZ MANZANARES, E. F. Propuesta de Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Nicaragua. USAC/ERIS, Guatemala, noviembre 2010. 94 p.
48. Proyecto Cuenta Reto del Milenio: Plan de Acción de Cuencas de la Región León – Chinandega, diciembre de 2007. 131 p.
49. SÁNCHEZ F, Javier: Evapotranspiración. Dpto. Geología Univ. Salamanca. Octubre 2010. 8p. <http://web.usal.es/javisan/hidro>.
50. SCHOSINKY, G. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelo. *Revista Geológica*, América Central, 2006. 18 p.

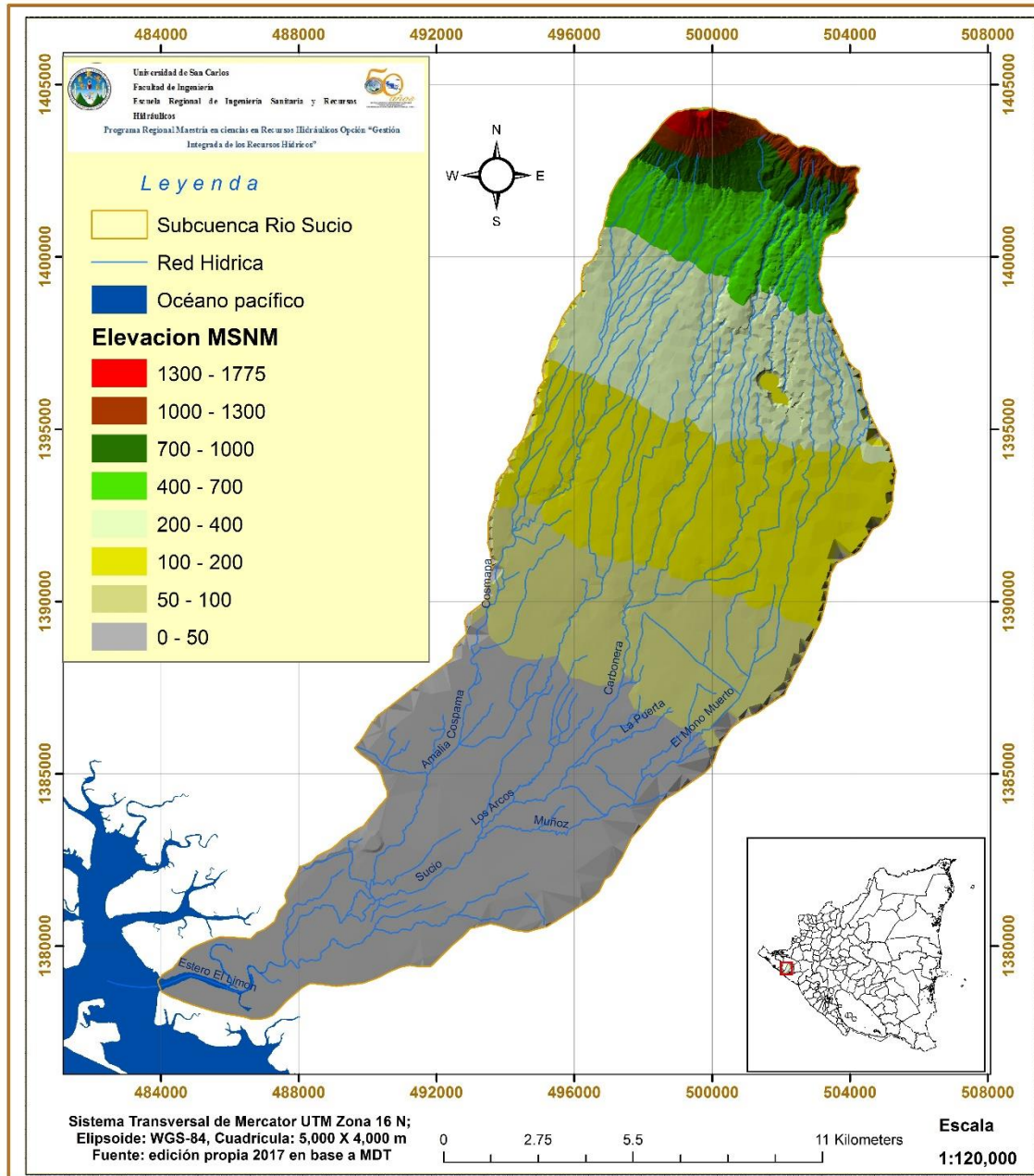
51. SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geológica América Central, 2000. 55 p.
52. Secretaria Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. Plan Integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Manabí. Ecuador, junio 1989.  
<http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea41s/begin.htm#Contents>.
53. THORNTON CW, Mather RJ. The water balance. Publications in climatology, laboratory of climatology. Centerton, NJ, 1995. 104 p.
54. UNI-PROATAS. Guía de procesamiento de delimitación de unidades hidrográficas bajo metodología Pfafstetter. Managua, Nicaragua. Julio 2014. 44 p.
55. UNESCO. Programa Hidrológico Internacional: evaluación de los recursos hídricos. Documento técnico No. 4, 2006. 98 p.
56. Vélez M. Victoria. Hidráulica de aguas subterráneas. 2da edición, Facultad de Minas, Universidad de Colombia, Medellín, 1999. 156 p.
57. Villón Béjar Máximo. Hidrología. Segunda edición, Editorial Villón, Lima, Perú, 2002. 216 p.

# ANEXOS

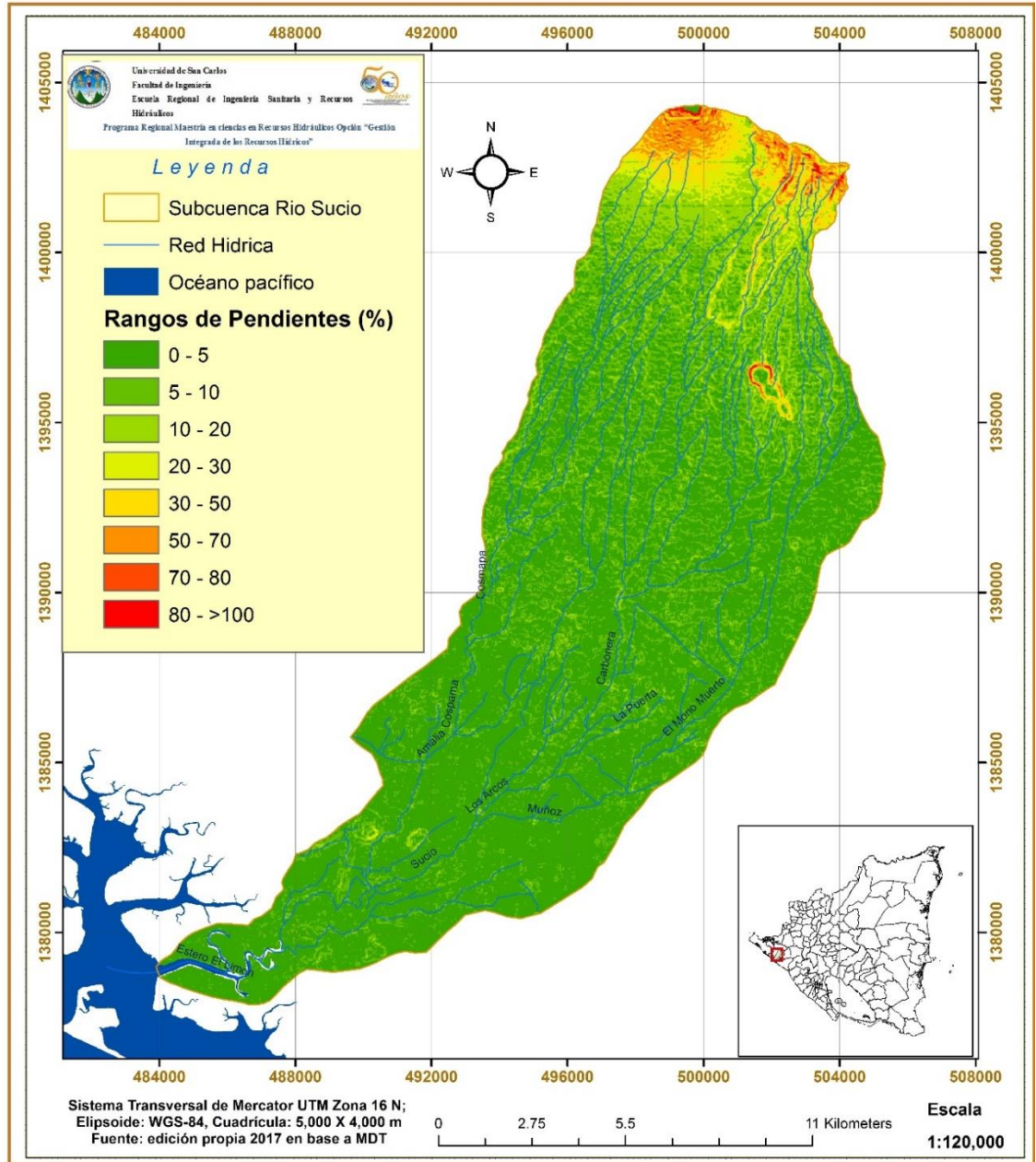
## Anexo 1: Ubicación de la unidad hidrográfica río Sucio



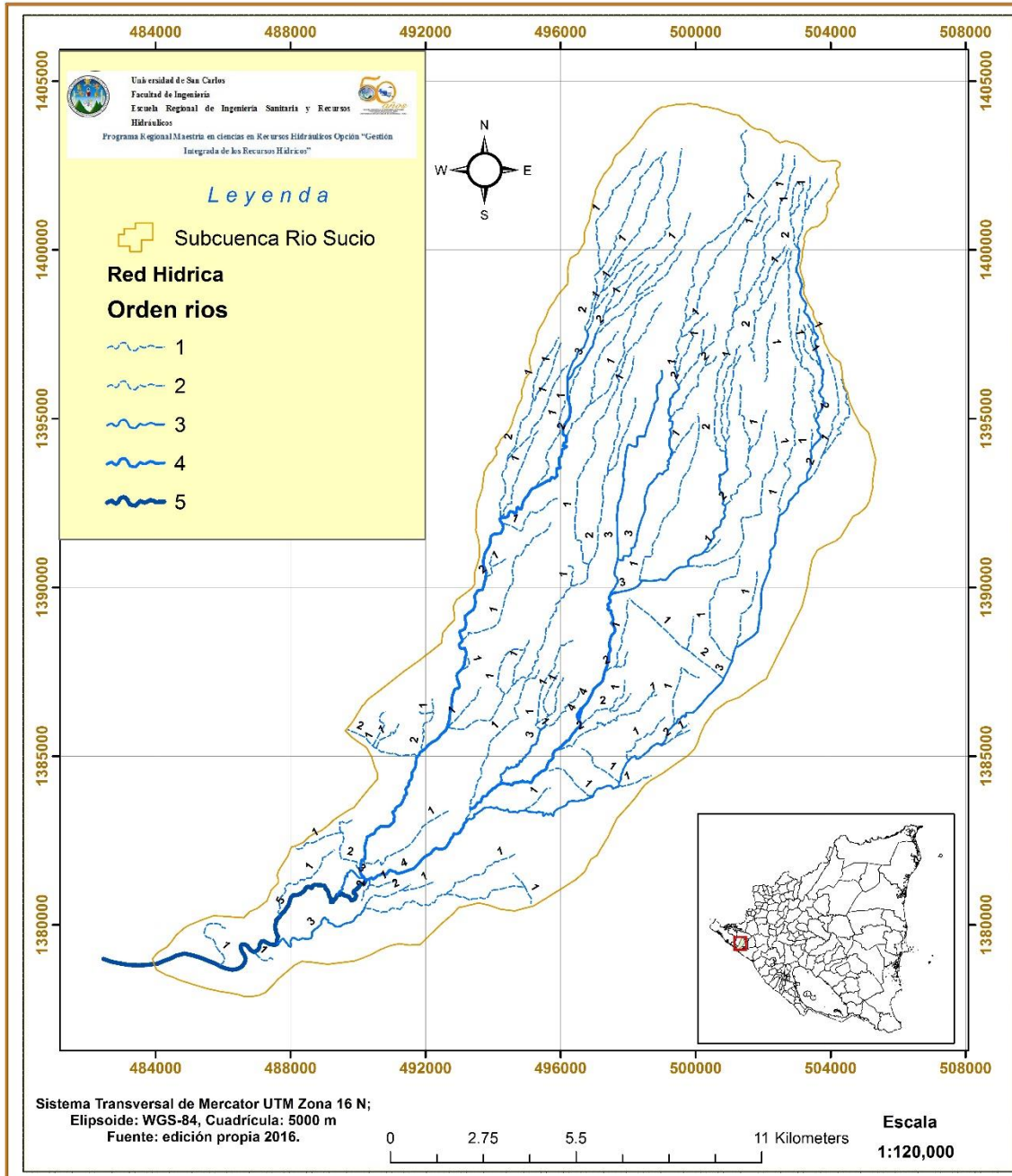
## Anexo 2: Mapa de altitudes de la cuenca



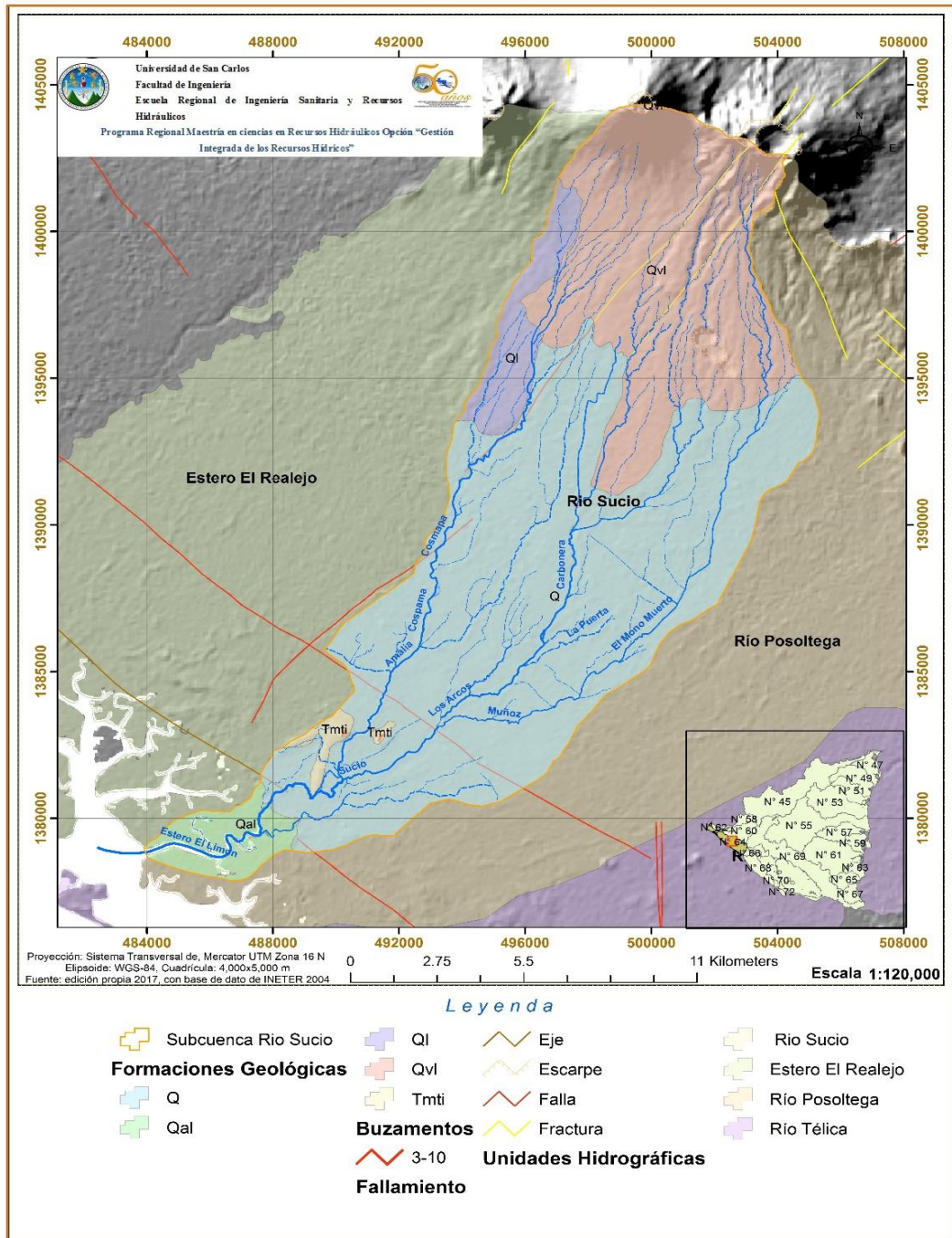
### Anexo 3: Mapa de pendiente de la cuenca



## Anexo 4: Mapa de orden de ríos de la cuenca

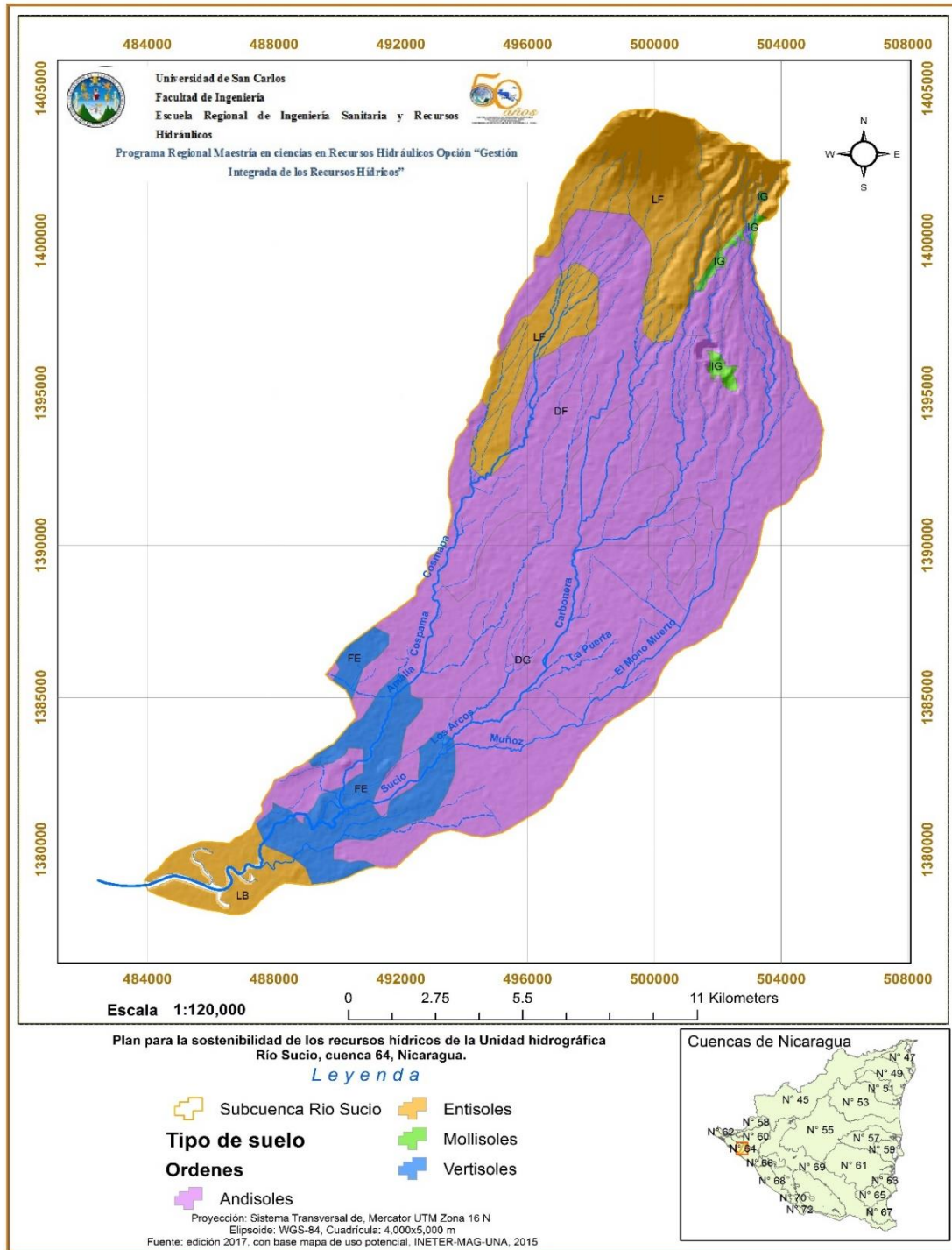


## Anexo 5: Mapa geológico de la cuenca

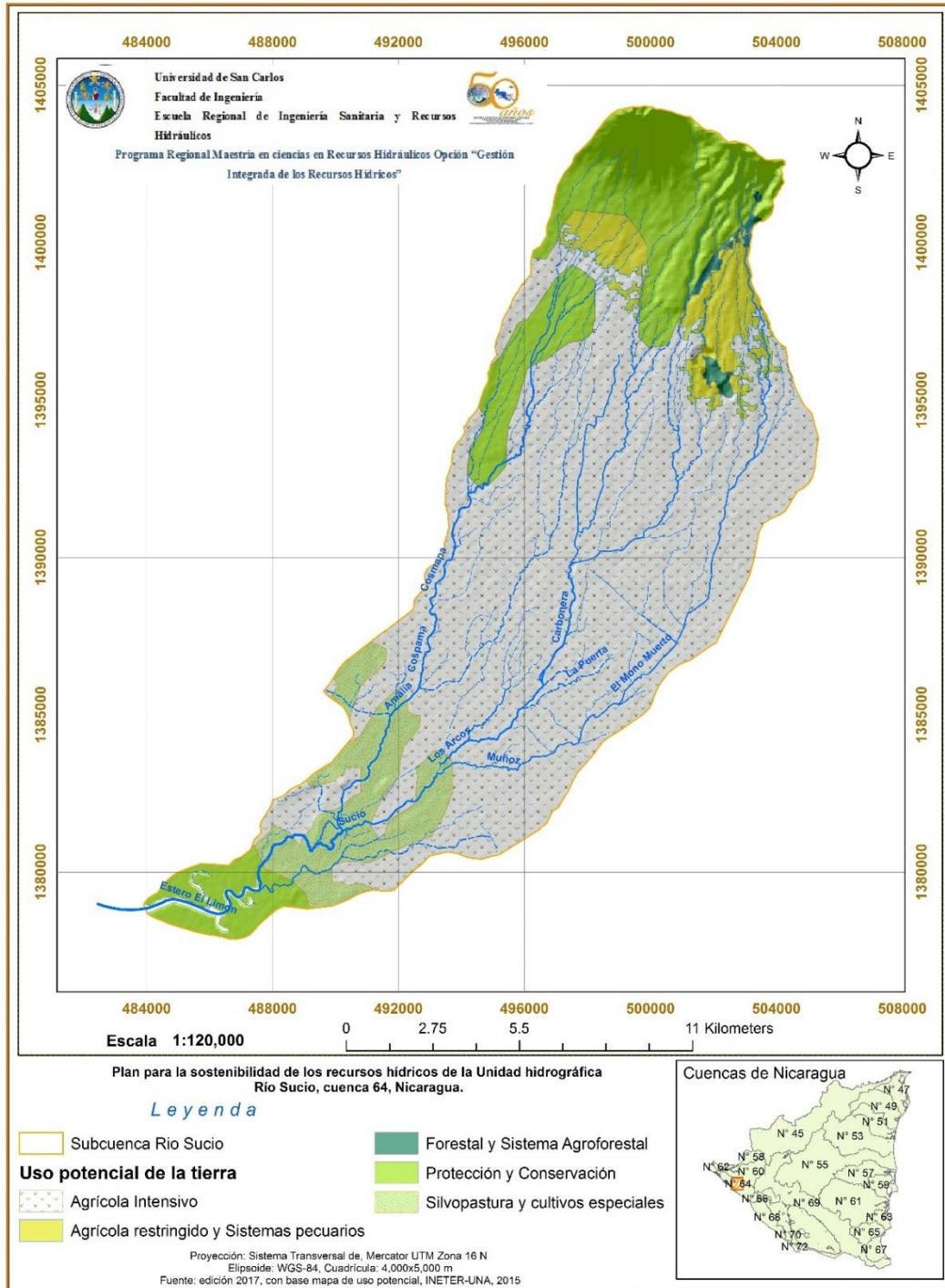




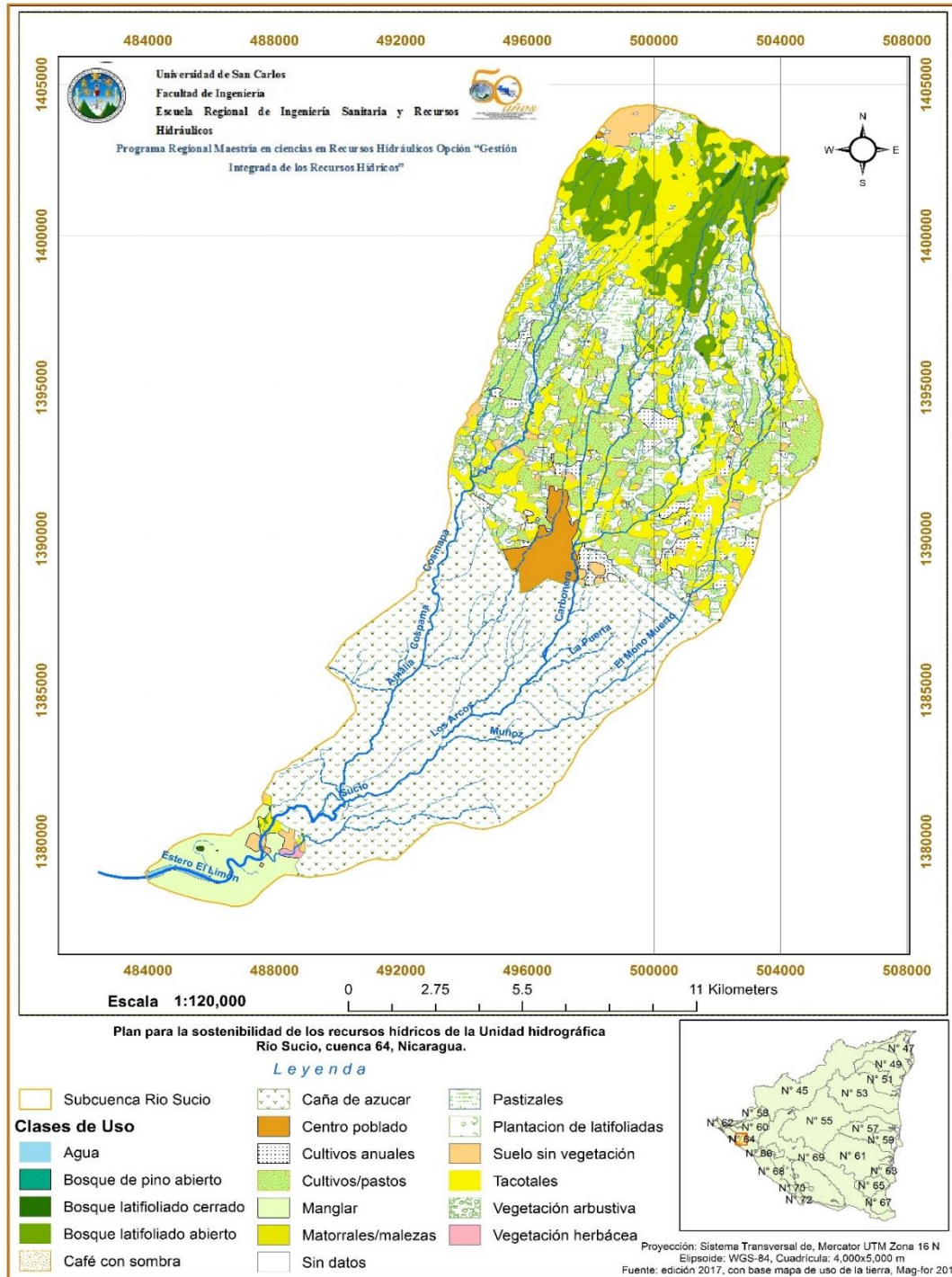
## Anexo 6: Mapa de tipo de suelo de la cuenca



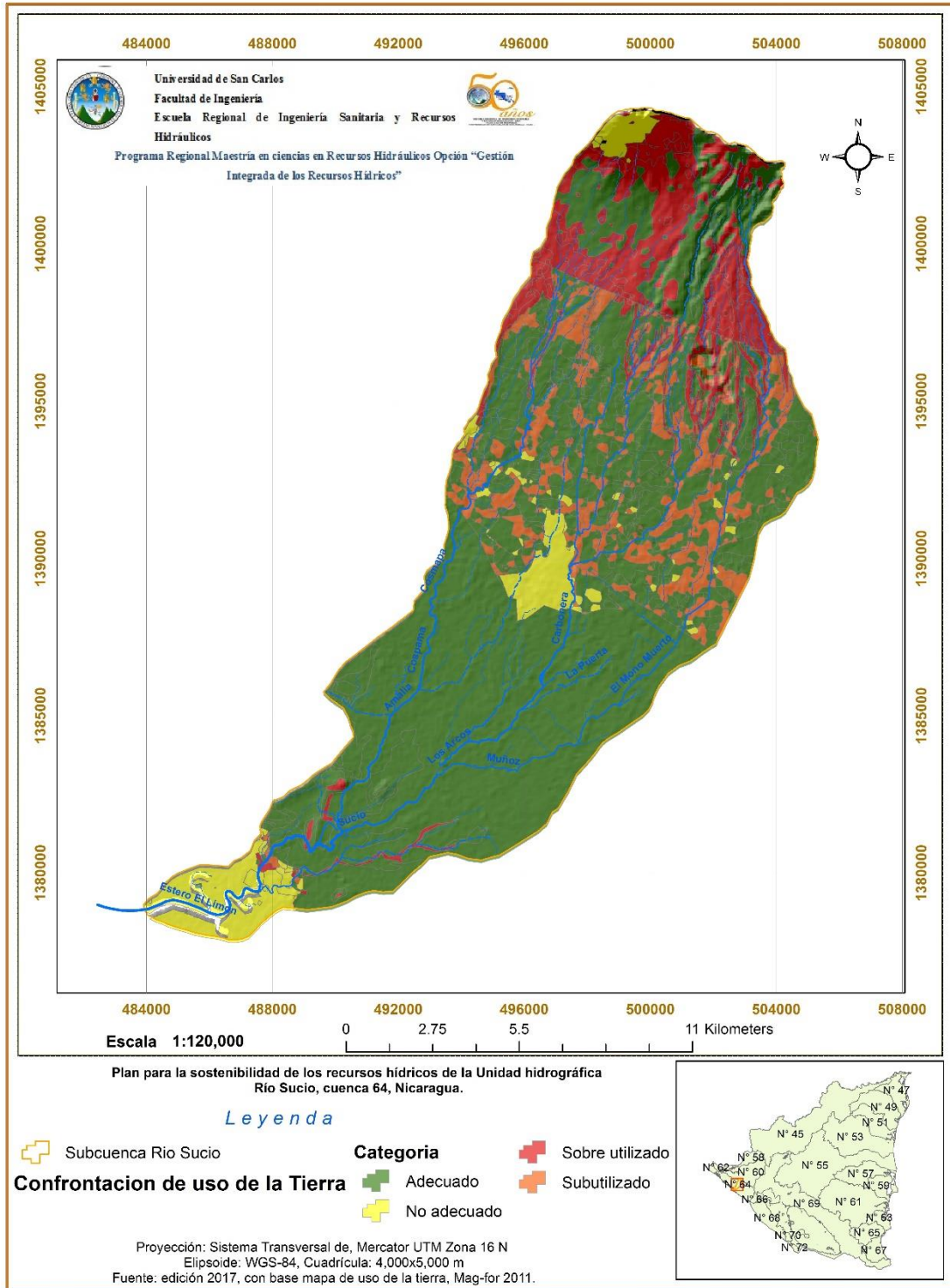
## Anexo 7: Mapa de uso potencial de la tierra



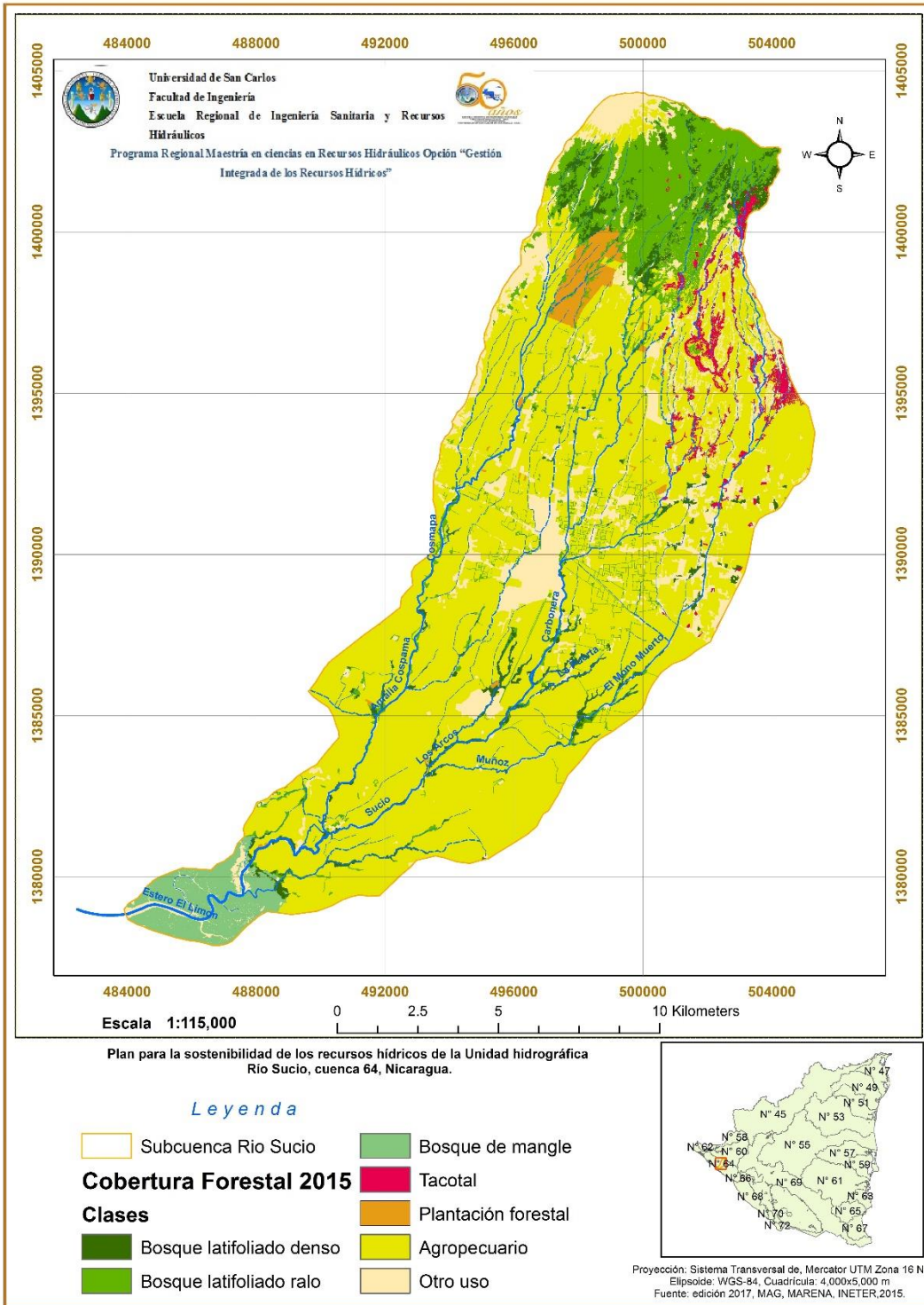
## Anexo 8: Mapa de uso de la tierra



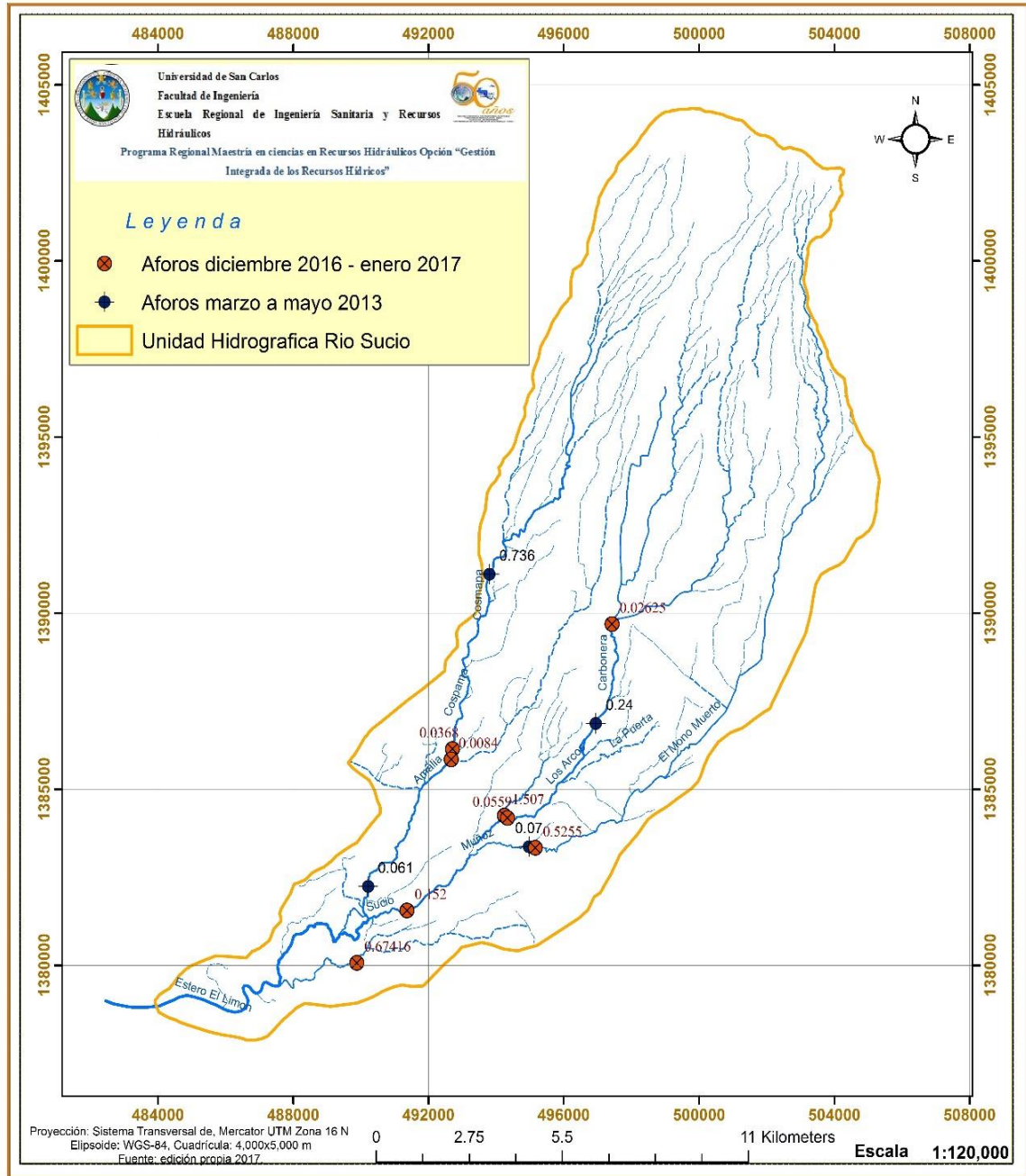
## Anexo 9: Mapa de confrontación de uso de la tierra



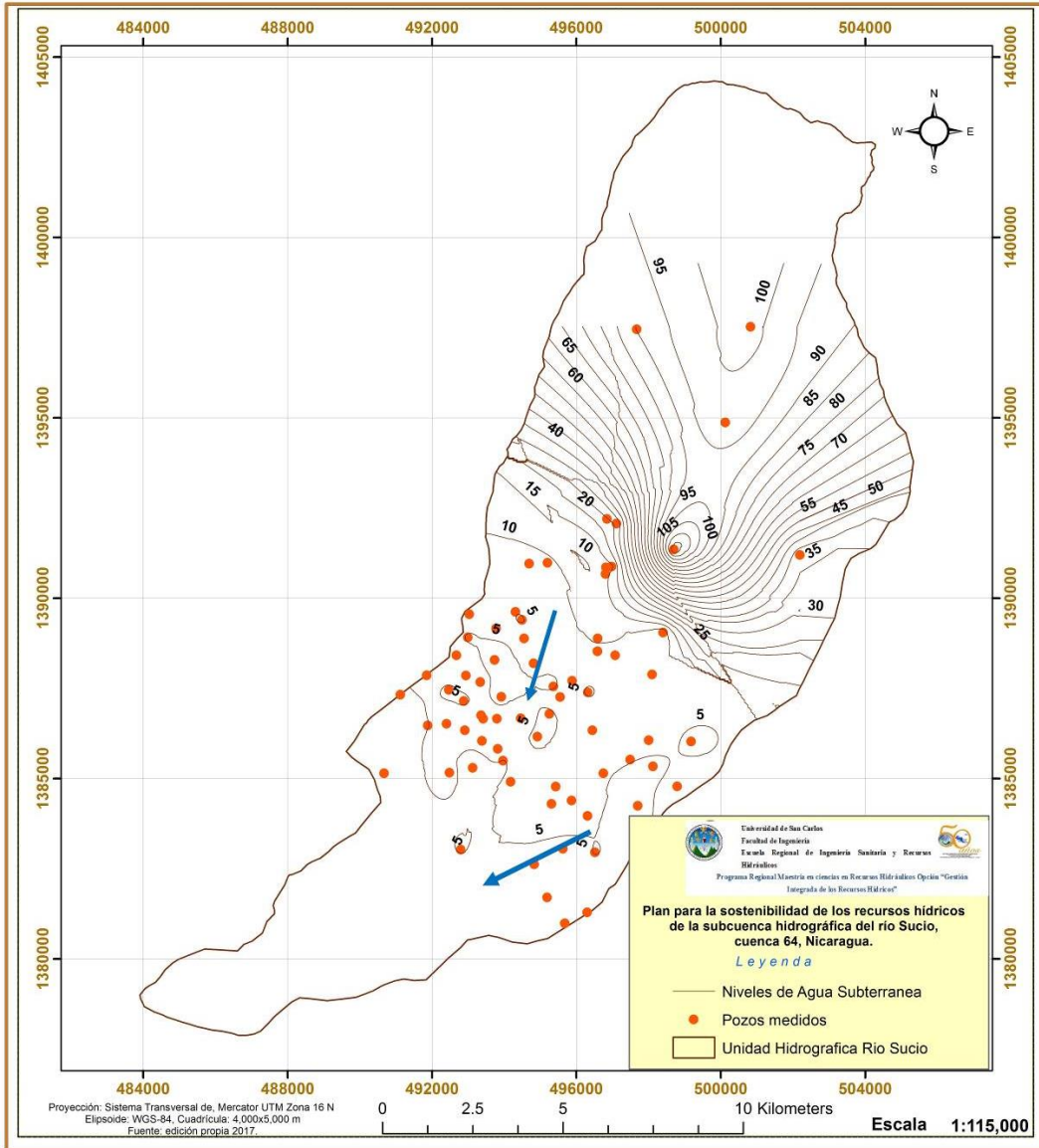
## Anexo 10: Mapa de cobertura forestal



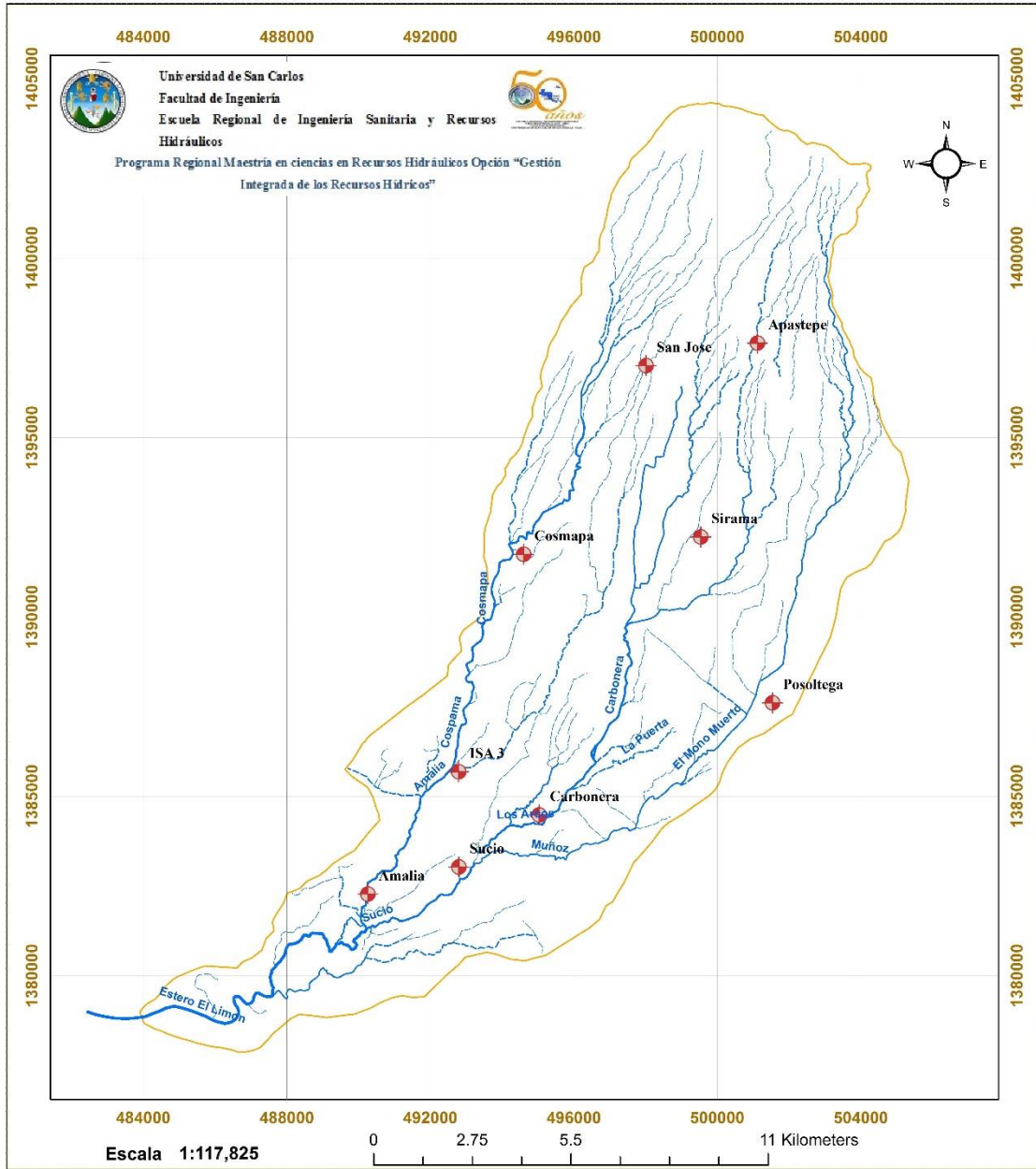
## Anexo 11: Sitios de aforos realizados en 2017



## Anexo 12: Mapa de niveles de agua subterránea en la cuenca



### Anexo 13: Mapa de sitios de prueba de infiltración, 2017





## Anexo 14: Mapa mediciones de calidad de agua en pozos

