



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos

**INCIDENCIA DEL RÍO LOS OCOTES EN LOS POZOS DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA
CANALITOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Ing. Sedwin Aroldo Ramos Lemus

Asesorado por el M.Sc. Ing. Alan Giovani Cosillo Pinto

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INCIDENCIA DEL RÍO LOS OCOTES EN LOS POZOS DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA
CANALITOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. SEDWIN AROLD RAMOS LEMUS

ASESORADO POR EL M.SC. ING. ALAN GIOVANI COSILLO PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN DE RECURSOS
HIDROGEOLÓGICOS**

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Bladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANO	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Hernández Canales
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Luis Rodolfo Castro García
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

INCIDENCIA DEL RÍO LOS OCOTES EN LOS POZOS DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA CANALITOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha de 4 de julio de 2020.

Ing. Sedwin Aroldo Ramos Lemus

LNG.DECANATO.OI.092.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **INCIDENCIA DEL RÍO LOS OCOTES EN LOS POZOS DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA CANALITOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Ing. Sedwin Aroldo Ramos Lemus**, que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Gestión de recursos hidrogeológicos después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, enero de 2023

LNG.EEP.OI.092.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“INCIDENCIA DEL RÍO LOS OCOTES EN LOS POZOS DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA CANALITOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA”

presentado por **Ing. Sedwin Aroldo Ramos Lemus** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Gestión de recursos hidrogeológicos** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA USAC
EF
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Guatemala, 27 de octubre de 2022

Mtro. Ing. Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería, USAC.

Respetable Ingeniero Álvarez

Por este medio me dirijo a usted para saludarlo y desearle éxitos en sus actividades.

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he **REVISADO** el trabajo de graduación titulado: INCIDENCIA DEL RÍO LOS OCOTES EN LOS POZOS DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA CANALITOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, del estudiante: SEDWIN AROLDI RAMOS LEMUS, del Programa de Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos identificado con número de carné: 201020663

Después de haberle hecho las observaciones pertinentes se da por **APROBADO** dicho trabajo

Sin otro particular me despido de usted, atentamente:

"Id y enseñad a todos"

JULIO ROBERTO LUNA AROCHE
INGENIERO CIVIL
GEÓLOGO M. Sc.
COLEGIADO # 2,514

Mtro. Ing. Julio Roberto Luna Aroche
COORDINADOR
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS

Guatemala, 26 de octubre de 2022.

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Coti
Director
Escuela de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

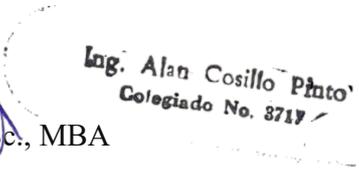
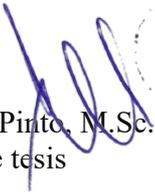
Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que el estudiante profesional Ing. **Sedwin Aroldo Ramos Lemus**, DPI 1598819940101, cuyo título de tesis es INCIDENCIA DEL RÍO LOS OCOTES EN LOS POZOS DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA CANALITOS DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, ha completado los cambios necesarios tanto técnicos, de forma y estilo para sostener la correspondiente defensa, para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Gestión de Recursos Hidrogeológicos.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

Ingeniero Alan Cosillo Pinto, M.Sc., MBA
Asesor de tesis



Ing. Alan Cosillo Pinto
Colegiado No. 3717

ACTO QUE DEDICO A

- Dios** Por estar presente en cada momento de mi vida y permitirme grandes bendiciones
- Mi madre** Adelina Lemus (q. e. p. d.), por ser mi inspiración y brindarme tanto amor incondicional, en cada momento de la vida. Fue gracias a su lucha diaria que aprendí el significado de la perseverancia.
- Mi padre** Isabel Ramos, por todas las enseñanzas brindadas en cada etapa de mi vida, por cada consejo y el amor brindado. Por ser el ejemplo de un padre luchador que se supera constantemente.
- Mi hermana** Claudia Ramos, por convertirse en padre y madre apoyándome en cada momento de la vida, enseñándome la importancia de analizar cada situación desde distintos puntos de vista.
- Mi sobrina** Dulce Ramos, por apoyarme y cuidarme en todo momento, brindándome sus sabios consejos.

Mi amiga y guía

Astrea Chavarría, por brindarme su apoyo incondicional, creer en mí y darme las herramientas necesarias para culminar mi carrera profesional.

Mi amigo y guía

Mario Corzo, por su amistad incondicional, por ser el guía en mi formación como persona y como profesional, siendo un gran ejemplo en todos los aspectos de la vida.

AGRADECIMIENTOS A

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera a través de la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Estudios de Postgrado, con todo su claustro de profesores que me han apoyado en mi formación personal y profesional.
Proyecto Agua Futura en colaboración con la Agencia Italiana para la Cooperación al Desarrollo	Por apoyarme y brindarme la oportunidad de tener la beca para la Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos, con el objetivo de aportar conocimientos en la resolución de las distintas problemáticas respecto a los recursos hidrogeológicos del país de Guatemala.
Director de la maestría	Luna Aroche, por brindarme la oportunidad de aplicar a la beca de la maestría y por todo el apoyo incondicional que me ha brindado en el desarrollo de la misma.
Mi asesor y revisor	Alan Cosillo, por su apoyo incondicional en cada momento de la maestría, por su asesoría durante el periodo académico y en el desarrollo de la tesis de maestría.

Municipalidad de Guatemala de Por brindarme los datos necesarios para realizar la tesis, por medio de la Unidad De Información.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Por brindarme los datos necesarios para realizar la tesis, por medio de la Unidad De Información.

Mis amigos de la maestría y la licenciatura Por su amistad y todo el apoyo que me brindaron durante cada etapa de la licenciatura y de la maestría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
HIPÓTESIS.....	XXV
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXXV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Demografía.....	1
1.1.1. Demografía en las zonas de estudio.....	1
1.2. Climatología.....	6
1.3. Tipo de suelos	9
1.4. Uso de suelo.....	11
1.5. Fallas geológicas	12
1.6. Mapas de la subcuenca.....	13
2. HIDROGEOLOGÍA DE LA SUBCUENCA	17
2.1. Hidrología	19
2.1.1. Presentación de resultados	29
2.1.2. Discusión de resultados.....	34
2.2. Geología.....	40
2.2.1. Presentación de resultados	42

2.2.2.	Discusión de resultados	44
2.3.	Acuíferos	45
2.3.1.	Presentación de resultados	54
2.3.2.	Discusión de resultados	59
2.4.	El recurso hídrico de la subcuenca	62
2.4.1.	Presentación de resultados	63
2.4.2.	Discusión de resultados	65
2.5.	Zonas de recarga hídrica	67
2.5.1.	Presentación de resultados	70
2.5.2.	Discusión de resultados	70
3.	CALIDAD DEL AGUA	73
3.1.	Componentes mayoritarios.....	74
3.2.	Componentes minoritarios.....	76
3.3.	Análisis fisicoquímicos	77
3.3.1.	Presentación de resultados	79
3.3.2.	Discusión de resultados	84
3.4.	Calidad del agua para su uso en recarga hídrica artificial	92
3.4.1.	Presentación de resultados	93
3.4.2.	Discusión de resultados	93
4.	PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA.....	95
4.1.	Los recursos hídricos y el desarrollo sostenible	96
4.2.	Aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos.....	98
4.3.	Metodología del plan de gestión integrado.....	102
4.4.	Estrategias de manejo de recursos hídricos.....	104

CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	111
REFERENCIAS	113
APÉNDICES	123
ANEXOS	225

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Acceso de los hogares a servicios	2
2.	División territorial administrativa de la ciudad de Guatemala	2
3.	Precipitación promedio mensual (mm) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021	7
4.	Mapa geológico regional de la subcuenca del río Los Ocotes	10
5.	Localización de la subcuenca del río Los Ocotes.....	14
6.	Mapa geológico de la subcuenca del río Los Ocotes, áreas de muestreo y perfil A – A'''	15
7.	Gráfica del balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2008 - Método de Schosinsky	33
8.	Hidrogramas promedio (m ³ /s) del río Los Ocotes desde el año 2008 hasta el 2021 y FODECYT 035-2009	38
9.	Perfil litológico del pozo 1 del sistema de pozos de agua potable de Canalitos	43
10.	Tipos de acuíferos según su estructura y funcionamiento	45
11.	Perfil A' - A'' del sistema de pozos de Canalitos	55
12.	Perfil A - A''' del sistema de pozos de Canalitos	56
13.	Perfiles de conductividades hidráulicas estimadas en los pozos de agua potable del sistema Canalitos, ciudad de Guatemala.....	57
14.	Diagrama de Piper multianual para las muestras de agua de los pozos del sistema Canalitos y el río Los Ocotes durante la época seca	82
15.	Diagrama de Piper multianual para las muestras de agua de los pozos del sistema Canalitos y el río Los Ocotes durante la época lluviosa	83

16. Metodología técnica para el sector de Canalitos, ciudad de Guatemala	103
--	-----

TABLAS

I. Metodología de características de pozos.....	XXVII
II. Metodología de balance hídrico climático de Thornthwaite.....	XXIX
III. Metodología de balance hídrico de suelos de Schosinsky.....	XXX
IV. Metodología de estadística multianual.....	XXXI
V. Metodología de clasificación de muestras por época climática para la ciudad de Guatemala	XXXII
VI. Metodología de ordenamiento de las características fisicoquímicas de las muestras de agua	XXXII
VII. Población de la zona municipal 24 de la ciudad de Guatemala -INE 2002 y 2018	5
VIII. Código de colores para cada rango de valores de conductividad hidráulica (cm/s).....	53
IX. Conductividades hidráulicas ponderadas del sistema de pozos de agua potable de canalitos, ciudad de Guatemala	58
X. Conductividades hidráulicas verticales y horizontales ponderadas del sistema de pozos de agua potable de canalitos, ciudad de Guatemala	59
XI. Características físicas de suelos e infiltraciones de la subcuenca del río Los Ocotes.....	69
XII. Datos de recarga hídrica de la subcuenca del río Los Ocotes.....	69
XIII. Resultados promedios de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua de los pozos del sistema canalitos en las épocas seca y lluviosa	79

XIV.	Resultados promedios de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del río Los Ocotes en época seca	80
XV.	Resultados promedios de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del río Los Ocotes en época lluviosa	81

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<i>CC</i>	Capacidad de campo
<i>v</i>	Caudal específico que entra al sistema
<i>K_h</i>	Coeficiente de conductividad hidráulica horizontal equivalente
<i>K_v</i>	Coeficiente de conductividad hidráulica vertical equivalente
<i>D</i>	Déficit
<i>DCC</i>	Déficit de capacidad de campo
<i>DS</i>	Densidad del suelo
<i>l</i>	Distancia horizontal de la formación geológica
<i>d</i>	Distancia vertical de la formación geológica (profundidad)
<i>ESC</i>	Escorrentía superficial
<i>ETP</i>	Evapotranspiración potencial
<i>ETR</i>	Evapotranspiración real
<i>E</i>	Excedente
<i>gal</i>	Galón
<i>G</i>	General
°C	Grado centígrado
<i>pH</i>	Grado de acidez o basicidad de una solución acuosa
<i>hab</i>	Habitante
<i>hm³</i>	Hectómetro cúbico
<i>HSf</i>	Humedad del suelo final

<i>H_{si}</i>	Humedad del suelo inicial
<i>HD</i>	Humedad disponible
<i>H_{CC}</i>	Humedad en lámina de la capacidad de campo
<i>H_{PM}</i>	Humedad en lámina del punto de marchitez
<i>km</i>	Kilómetro
<i>km²</i>	Kilómetro cuadrado
<i>L</i>	Litros
<i>m</i>	Metro
<i>m³</i>	Metro cúbico
<i>msnm</i>	Metros sobre el nivel del mar
<i>mg</i>	Miligramo
<i>mg/L</i>	Miligramo por litro
<i>mm</i>	Milímetro
<i>mm³</i>	Milímetro cúbico
<i>min</i>	Minuto
<i>NR</i>	Necesidad de riego
<i>Δh</i>	Pérdida de carga hidráulica
<i>PdHd</i>	Pérdida de humedad al día
<i>PdHm</i>	Pérdida de humedad al mes
<i>CC(%)</i>	Porcentaje de la capacidad de campo
<i>PM(%)</i>	Porcentaje del punto de marchitez
<i>P</i>	Precipitación
<i>Pi</i>	Precipitación infiltrada
<i>Pu</i>	Precipitación útil
<i>PR</i>	Profundidad de raíces
<i>PM</i>	Punto de marchitez
<i>R₀</i>	Radiación solar extraterrestre
<i>R_s</i>	Radiación solar incidente
<i>Rp</i>	Recarga potencial

<i>R</i>	Reserva
<i>T_{máx}</i>	Temperatura máxima
<i>T_{med}</i>	Temperatura media
<i>T_{mín}</i>	Temperatura mínima
<i>ΔAlm</i>	Variación del contenido de agua en el suelo

GLOSARIO

Acuífero	Capa o capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir un flujo significativo de aguas subterráneas o su extracción.
Antrópico	Pertenece o relativo a los seres humanos, producido o modificado por la actividad humana.
Antropogénico	Pertenece o relativo a lo que procede de los seres humanos que, en particular, tiene efectos sobre la naturaleza.
Capacidad de campo	Es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de la saturarse, es decir, cuando no puede absorber más agua de forma natural.
Caudal	Cantidad de fluido (volumen), que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, río, canal y otros), por unidad de tiempo.
Censo	Padrón o lista de la población o riqueza de una nación o pueblo.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.

Coliforme	Determinados bacilos intestinales, Escherichia coli y Enterobacter aerogens.
Cuenca	Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural.
Desarrollo sostenible	Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades.
Estrés hídrico	Situación que se produce cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad de agua disponible en un tiempo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.
Fisiografía	Especialización que describe la geografía física, abarcando la configuración del planeta Tierra y los mares, incluyendo el relieve, los ríos, lagos, lagunas y las montañas.
FODECYT	Fondo para el Desarrollo Científico y Tecnológico.
Geomorfología	Parte de la geodesia que estudia la figura del globo terráqueo y la formación de los mapas.
Gestión	Ocuparse de la administración, organización y funcionamiento de una empresa, actividad económica u organismo.

GIRH	Gestión Integrada del Recurso Hídrico.
Hidrogeología	Rama de la geología aplicada, que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, así como su movimiento, características físicas, químicas y biológicas.
Hidrograma	Gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna formación hidrológica, usualmente, el caudal respecto al tiempo.
Hidrología	Ciencia que estudia las aguas continentales y subterráneas, sus propiedades, distribución y utilización.
Humedad disponible	Cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un suelo, comprendido entre el índice de marchitez y la capacidad de campo.
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INSIVUMEH	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Litología	Parte de la geología que trata de las rocas.

LMA	Valor de concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual, son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
ONU	Organización de Naciones Unidas.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
Piroclasto	Fragmento sólido de material volcánico (tefra), expulsado a través de la columna eruptiva arrojado al aire durante una erupción volcánica.
Punto de marchitez	Punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica, aunque la humedad ambiental sea saturada.
Recarga artificial	Conjunto de técnicas que permiten, mediante intervención programada e introducción directa o inducida de agua en un acuífero.

Saneamiento

Conjunto de técnicas y sistemas destinados a mejorar las condiciones higiénicas de un edificio, una comunidad o una ciudad.

Subcuenca

Superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos, hacia un determinado punto de un curso de agua.

RESUMEN

El crecimiento desmedido y desorganizado, ha dejado en manifiesto distintas problemáticas relacionadas con los servicios básicos prestados a los habitantes de la ciudad de Guatemala, la cual está dividida en veinticinco zonas desde el año 1964, siendo el Cantón Canalitos, uno de los sectores que han tenido problema en el abastecimiento de agua potable. En parte se debe a la impermeabilización de áreas de recarga debido al rápido crecimiento poblacional, sin tener un plan de gestión integrada de dichas áreas, para poder conservarlas y administrarlas de manera que se pueda seguir contando con la captación de agua pluvial para alimentar el acuífero de la zona.

La incidencia del río Los Ocotes en los pozos de agua potable del sistema Canalitos, está relacionada con las características hidrogeológicas del acuífero en el que se ubican los pozos, debido a su alta permeabilidad secundaria (fracturación), se tienen valores favorables de conductividad hidráulica para el flujo del agua subterránea. Por lo tanto, el agua que ingresa al sistema, no tiene la evolución hidrogeoquímica necesaria, para obtener todas las características y propiedades presentes en las rocas del acuífero, debido al poco tiempo de contacto.

Esto también se evidencia en el análisis hidrogeoquímico del agua de los pozos y del río, determinándose que dichas aguas son del tipo bicarbonatadas cálcicas o bicarbonatadas magnésicas, las cuales son características de las aguas dulces poco profundas o recientes. Para asegurar el desarrollo sostenible del recurso hídrico a mediano y largo plazo, se debe realizar e implementar un plan de gestión integrada del recurso hídrico en la subcuenca del río Los Ocotes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

- Problema

Se desconoce si existe incidencia del río Los Ocotes en los pozos de agua potable del sistema Canalitos de la ciudad de Guatemala.

- Formulación de preguntas orientadas al planteamiento

- Principal

¿Existe incidencia del río Los Ocotes en los pozos de agua potable del sistema Canalitos de la ciudad de Guatemala?

- Secundarias

- ¿Existen suficientes pozos de agua potable en la subcuenca del río Los Ocotes, para abastecer a la población del sector Canalitos?
- ¿La calidad del agua de los pozos del sistema Canalitos, es adecuada para el consumo humano?
- ¿Las actividades antropogénicas que contaminan el río Los Ocotes, tienen incidencia en los pozos de agua potable del sistema Canalitos?

- ¿Qué actores son los que deben involucrarse para realizar una buena gestión del recurso hídrico para el sector Canalitos?

- ¿Qué medidas pueden implementarse para garantizar el abastecimiento de agua potable a la población del sector Canalitos?

- ¿Existe incidencia del río Los Ocotes en los pozos de agua potable del sistema Canalitos de la ciudad de Guatemala?

OBJETIVOS

- General

Analizar la incidencia del río Los Ocotes en los pozos de agua potable del sistema Canalitos de la ciudad de Guatemala.

- Específicos

- Evaluar los niveles freáticos de los pozos de agua potable del sistema Canalitos, presentes en la subcuenca del río Los Ocotes.
- Determinar si el agua de los pozos del sistema Canalitos, tiene la calidad mínima requerida para que sea apta para el consumo humano.
- Identificar el impacto que tienen las actividades antropogénicas en la calidad del agua del río Los Ocotes.
- Identificar los actores que deben involucrarse para realizar una buena gestión del recurso hídrico en el sector Canalitos.
- Evaluar las medidas que pueden implementarse para garantizar el abastecimiento de agua potable a la población del sector Canalitos.

HIPÓTESIS

La escasez de agua potable en el sector Canalitos de la ciudad de Guatemala, es debido a la falta de un plan de gestión integrada de los recursos hídricos de la subcuenca del río Los Ocotes, dicho plan será una herramienta que permita tomar decisiones y realizar acciones que favorezcan al mejoramiento de la calidad del agua que se puede obtener en dicha subcuenca.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

- Metodología de campo

Se realizaron visitas de campo en la zona de estudio, para recopilar los datos de los pozos de agua potable que todavía están en servicio y los que ya están deshabilitados. Para obtener datos del diámetro, profundidad, método de perforación y caudal de los pozos existentes en la zona de estudio (ver Tabla I). Lo que permite predecir a grandes rasgos, el tipo de formaciones geológicas que conforman el acuífero.

Tabla I. **Metodología de características de pozos**

Número de pozo	Diámetro (pulgadas)	Profundidad (m)	Método de perforación	Caudal (L/s)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Fuente: elaboración propia.

Se recopilaron muestras de agua provenientes de los pozos y del río que se encuentran en la subcuenca de estudio, para enviarlas al laboratorio. El muestreo para el análisis fisicoquímico y microbiológico, debe cumplir con los criterios de aceptación que se establecen en las normas COGUANOR correspondientes. Se enviaron las muestras al laboratorio para los respectivos análisis según los parámetros establecidos en la normativa vigente.

Se realizó el trabajo de campo para las pruebas de infiltración y la toma de muestras de suelo para el análisis de laboratorio respectivo.

- Metodología de laboratorio

El laboratorio que analizó las muestras de agua, utiliza una metodología precisa y comprobada para el análisis de la calidad del agua que se encuentra en el ambiente, suministros de agua y aguas residuales. La cual ha sido revisada constantemente por un gran número de expertos en la materia a nivel mundial, dicha metodología es la establecida en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), 21st Edition, 2005.

Para los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, el laboratorio trabajó con lo que se indica en la norma COGUANOR NGO 4010, en la que se aborda el Sistema Internacional de Unidades (SI). También se basa en lo que se indica en la norma COGUANOR NTG 29001, en la cual se establecen las características y especificaciones que se deben cumplir para que la calidad de agua sea considerada como apta para el consumo humano. También se incluye el límite máximo permisible para sustancias inorgánicas o plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.

La norma establece los valores aceptables para los límites máximos admisibles y permisibles de las características físicas, organolépticas y químicas, entre las cuales se tienen: color, olor, turbiedad, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, sólidos totales disueltos, cloro residual libre, cloruro, dureza total, sulfato, aluminio, calcio, cinc, cobre, magnesio, manganeso y hierro total. (COGUANOR NTG 29001, 1999, p. 7)

- Metodología de gabinete

Se procedió a tabular los datos climáticos recopilados de la estación meteorológica correspondiente a la ciudad de Guatemala, para realizar los cálculos correspondientes a la evapotranspiración potencial, la cual estará condicionada por la geolocalización de la estación climática, principalmente, se necesita la latitud a la que se encuentra en el planeta, para determinar la incidencia de la radiación solar en el área de estudio.

En la Tabla II, se muestra la metodología para el cálculo del balance hídrico climático por el método de Thornthwaite. Los resultados obtenidos se tabularon en dicha tabla, para determinar la evapotranspiración que realmente se lleva a cabo en el área de estudio. Este análisis se realizó para tener una estimación del recurso hídrico superficial, que brinda una estimación el agua que se tendrá de reserva en el suelo. Con esos resultados se determinaron los valores de pérdida de humedad, los cuales estarán intrínsecamente relacionados con la necesidad de riego en el suelo.

Tabla II. Metodología de balance hídrico climático de Thornthwaite

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total
Evapotranspiración potencial (ETP)													
Precipitación (P)													
Precipitación útil (Pu)													
Reserva (R)													
Excedente (E)													
Déficit (D)													
Evapotranspiración real (ETR)													
Humedad disponible (HD)													
Pérdida de humedad PdHd(mm/día)													
Pérdida de humedad PdHm(mm/mes)													

Fuente: elaboración propia.

Se procedió a tabular los datos obtenidos de las pruebas de infiltración y que se obtuvo del laboratorio para los porcentajes correspondientes a la capacidad de campo del suelo que se encuentra en el área de estudio y el punto de marchitez de la cobertura vegetal de dicho suelo. En la Tabla III, se tabularon los datos para determinar la humedad del suelo inicial, la humedad del suelo final, el déficit de capacidad de campo, la humedad disponible, la recarga potencial y la pérdida de humedad del suelo que se encuentra en el área de estudio, lo que permite determinar con mayor precisión la evapotranspiración real con mayor precisión.

Tabla III. **Metodología de balance hídrico de suelos de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Precipitación (P)													
Precipitación infiltrada (Pi)													
Escurrimiento superficial (ESC)													
Evapotranspiración potencial (ETP)													
Humedad del suelo inicial (Hsi)													
Humedad disponible (HD)													
Evapotranspiración real (ETR)													
Humedad del suelo final (HSf)													
Déficit de capacidad campo (DCC)													
Recarga potencial (Rp)													
Necesidad de Riego (NR)													
Pérdida de humedad PdHd(mm/día)													
Pérdida de humedad PdHm(mm/mes)													

Fuente: elaboración propia.

Se procedió a realizar el trabajo estadístico que permite realizar un análisis multianual de cada una de las variables que conforman los balances hídricos climáticos y de suelos, para cada uno de los años del periodo analizado, según los datos recopilados de la estación meteorológica que corresponde a la ciudad de Guatemala y los cálculos obtenidos de los balances hídricos. En la Tabla IV,

se muestra una configuración multianual y mensual, iniciando desde el mes de enero, para poder comparar los resultados finales del balance hídrico de cada año, independientemente del mes en el que se inició cada balance anual.

Tabla IV. **Metodología de estadística multianual**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008													
2009													
2010													
2011													
2012													
2013													
2014													
2015													
2016													
2017													
2018													
2019													
2020													
2021													

Fuente: elaboración propia.

Se procedió a clasificar los resultados de laboratorio obtenidos de las muestras de agua recopiladas de los pozos de agua potable y del río, según la época el año (ver Tabla V), para determinar la incidencia que tiene el factor estacional en los resultados de cada parámetro analizado en el laboratorio, según la variación que sea evidente en el tiempo de análisis y observación.

Tabla V. Metodología de clasificación de muestras por época climática para la ciudad de Guatemala

Lugar de recolección	Día	Mes	Año	Época de toma de muestra según año hidrológico de Guatemala	Aspecto	Color (Unidades)	Turbiedad (UNT)	Olor	Sabor	Potencial de hidrógeno (pH) (unidades)
1	11	enero	2008	Época seca						
2	25	abril	2014	Época seca						
3	13	marzo	2009	Época seca						
4	25	febrero	2018	Época seca						
5	31	mayo	2016	Época lluviosa						
6	14	julio	2014	Época lluviosa						
7	19	septiembre	2012	Época lluviosa						
8	22	julio	2017	Época lluviosa						

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla VI, se procedió al ordenamiento y tabulación de cada parámetro desde los que son: físicos, organolépticos, químicos y bacteriológicos, para realizar el análisis hidrogeoquímico correspondiente a cada muestra y así determinar la composición de las mismas y su evolución durante el tiempo de contacto con los suelos y rocas del acuífero.

Tabla VI. Metodología de ordenamiento de las características fisicoquímicas de las muestras de agua

Parámetro	Dimensión	Número de muestra y fecha			
Temperatura	°C				
Cloro Residual	mg/L				
Apariencia	NR/R				

Continuación de la tabla VI.

Olor	NR/R
Color	Pt/Co
Turbiedad	UNT
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH
Sólidos totales disueltos	mg/L
Calcio	mg/L
Dureza total	mg/L
Hierro total	mg/L
Manganeso	mg/L
Nitritos	mg/L
Nitratos	mg/L
Cloruros	mg/L
Sulfato	mg/L
Magnesio	mg/L
Carbonatos	mg/L
Bicarbonatos	mg/L
Sodio	mg/L
Potasio	mg/L
Coliformes totales	NMP/100mL
Coliformes fecales	NMP/100mL
E. Coli	NMP/100mL

Fuente: elaboración propia.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Guatemala, se ha presentado un mayor crecimiento poblacional en los últimos años, dejando en manifiesto distintas problemáticas relacionadas con los servicios básicos prestados a sus habitantes. En la actualidad, el treinta y nueve por ciento del abastecimiento de agua potable de la ciudad proviene de fuentes superficiales, por lo que se debe realizar investigación de campo para determinar fuentes subterráneas de agua para abastecer a la población.

Tras los censos de 1964 se incorporaron, por necesidad censal, las zonas 16, 17, 18, 19, 21, 24 y 25. La zona 19 le correspondía al municipio de Chinautla, la zona 20 a Mixco y la zona 22 a Santa Catarina Pinula. La ciudad de Guatemala está dividida en veinticinco zonas, de acuerdo al establecimiento de las mismas durante el gobierno de Jacobo Árbenz en 1952. La zona 16 abarca desde Vista Hermosa III a San Isidro. Las zonas se aprobaron en aquel año en base a los estudios presentados por la Dirección de Planificación de la Municipalidad de Guatemala, relacionados con la zonificación de la ciudad. (Mollinedo, 2014, párr. 6)

En la mayoría de zonas de la ciudad de Guatemala, se tiene un déficit en el servicio de agua potable, ya sea que estas sean abastecidas por agua que es de su propia zona o por agua que es conducida desde otro lugar, dicho déficit también se debe a un manejo deficiente del recurso hídrico y a la mala calidad del mismo. Esto conlleva al estrés hídrico, ya que la demanda del recurso hídrico es mayor al disponible o también cuando el uso del recurso hídrico se ve restringido debido a su baja calidad, para el uso que se le quiere dar.

Se tiene que: La ciudad de Guatemala, es el núcleo urbano más grande y productivo de Centroamérica, se encuentra en un rápido proceso de expansión urbana y desarrollo económico que ha generado problemas de agua similares a muchas otras grandes ciudades latinoamericanas.

Existe un proceso de urbanización desordenado, las cuencas que abastecen a la ciudad, están siendo constantemente degradadas, falta una normativa que regule el uso y extracción del agua, existe contaminación en los ríos y mantos acuíferos y existe sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos. De acuerdo a registros de EMPAGUA (2015), el abastecimiento de agua de la RMG proviene en un 50.4% de aguas superficiales y 49.6% de aguas subterráneas. Este dato es relevante, considerando que se necesitan 330 años para recuperar el volumen de agua subterránea. (FUNCAGUA, 2020, párr. 3)

En el sector Canalitos, se tienen pozos de agua potable que pertenecen al sistema denominado como Sistema Emergencia I, el cual fue ejecutado en el año 2000 por parte de EMPAGUA, “Consiste en la perforación de 34 nuevos pozos profundos, cambiando el porcentaje a un 39 por ciento del abastecimiento a la ciudad con captaciones superficiales y en un 61 por ciento con agua de origen subterráneo” (Coló, 2014, p. 30). En los últimos años se han presentado descensos de los niveles estáticos y dinámicos en los pozos de agua potable del sector Canalitos, debido a la sobreexplotación que se genera en el acuífero. Es por ello que debe crearse e implementarse un plan de gestión integrada del recurso hídrico, para mitigar los efectos de la sobreexplotación.

1. ANTECEDENTES

1.1. Demografía

La demografía es un campo científico interdisciplinar que estudia el tamaño de la población, su composición y distribución espacial, así como de los cambios en la misma y de los componentes de dichos cambios, como fecundidad, mortalidad y migración.

En el Este de la ciudad de Guatemala, se desarrolla aún un grupo poblacional que habita un sector territorial conocido como CANALITOS. La zona 24 de la ciudad de Guatemala es una de las 25 zonas en las que se divide la ciudad de Guatemala, de acuerdo al establecimiento de las mismas durante el gobierno de Jacobo Árbenz en 1952. La zona 24 abarca los ocho cantones de la aldea Canalitos. (Mollinedo, 2014, párr. 2)

1.1.1. Demografía en las zonas de estudio

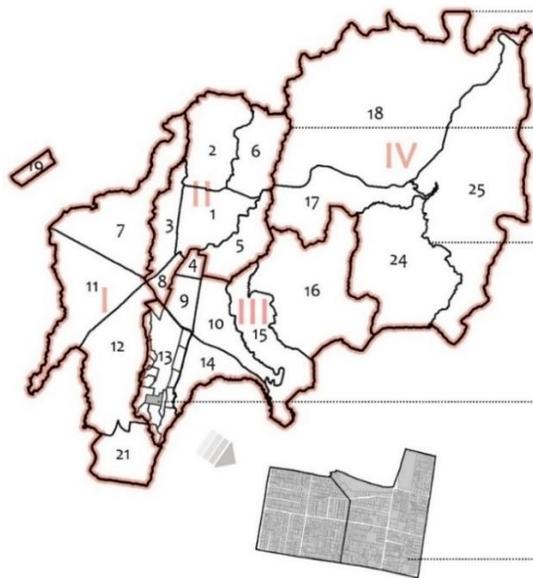
La zona de estudio se ubica en la ciudad de Guatemala definida como una de las aglomeraciones urbanas más pobladas a nivel Centroamérica. Según la información publicada por el Instituto Nacional de Estadística, INE (2018) se estima que el noventa y uno punto veinticuatro por ciento (91.24 %) de la población del municipio de Guatemala, reside en áreas urbanas, el restante ocho punto setenta y seis por ciento (8.76 %), reside en las áreas urbanas de dicho municipio. La ciudad de Guatemala con una población de 3 015 081 habitantes, presenta distintas zonas en las que se tendrá acceso a diferentes servicios de acuerdo a la ubicación de dichas zonas y su accesibilidad (ver Figura 1).

Figura 1. Acceso de los hogares a servicios



Fuente: INE (2019). *Presentación de los resultados del censo 2018*. Consultado el 20 de abril de 2022. Recuperado de <https://www.censopoblacion.gt/documentacion>.

Figura 2. División territorial administrativa de la ciudad de Guatemala



Fuente: POT (2009). *Guía de aplicación Plan de Ordenamiento Territorial*. Consultado el 15 de febrero de 2022. Recuperado de http://pot.muniguate.com/guia_aplicacion/c1/02_division_territorial_administrativa.php.

En la Figura 2, se observa la división territorial del Municipio de Guatemala propuesta por el Plan de Ordenamiento Territorial, se tiene que:

El POT instituye una división territorial administrativa del Municipio conformada en regiones municipales, zonas municipales, delegaciones y barrios para lograr una mejor planificación y administración de su territorio, buscando asimismo una mayor participación ciudadana. Para la toma de decisiones públicas efectiva y eficiente sobre todos los niveles del territorio, tomando en consideración las características específicas locales. (POT, 2009, p. 7)

Canalitos está ubicado en la zona municipal número 24. Es un pueblo que está integrado por 8 comunidades denominadas cantones (ver Figura anterior), los cuales son: Los Encuentros, El Jaguey, Central, El Porvenir, Las Pilas, Las Delicias, Las Huertas y Lourdes. Partiendo del punto trifinio entre las zonas 16, 17 y 24 prosigue su recorrido sobre el Río Canalitos aguas arriba hasta encontrarse con el límite entre los municipios de Guatemala y Santa Catarina Pinula, a la altura de la finca El Pulté, punto localizado a 210 metros Suroeste del camino que conduce a las aldeas La Montaña y El Rosario de Santa Catarina Pinula. (Mollinedo, 2014, párr. 5)

Según los datos obtenidos del INE (2019), se tiene que la población total de la zona municipal 24 para el censo poblacional del año 2002 era de 14 810 habitantes y para el censo poblacional del año 2018 era de 19 488 habitantes. Con dicha información se realizó la proyección de la población a futuro para el año 2021, mediante el uso del método geométrico, para estimar la cantidad de población futura, a partir de por lo menos dos datos censales obtenidos con anterioridad.

Para proyectar la población para el año 2021, se utilizó el método geométrico, para medir la tasa instantánea de crecimiento, lo que representa una ventaja sobre el método aritmético, ya que en este último se realiza la medición de la tasa de crecimiento entre puntos en el tiempo que están igualmente espaciados, lo cual en la mayoría de los censos no se cumple.

“En la medida en que el periodo de tiempo considerado se haga más pequeño, las dos ecuaciones serán más parecidas, hasta el punto que, la ecuación geométrica tiende a la exponencial, cuando el período de tiempo tiende a cero” (Pilar, 1987, p. 17). El crecimiento geométrico o exponencial se puede calcular con cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$P_t = P_0(1 + r)^t \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$P_t = P_0e^{rt} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

- P_t = es la población en el momento t.
- P_0 = es la población en el momento 0.
- r = es la tasa de crecimiento.
- t = es el periodo de tiempo (t - 0).
- e = es la base de los logaritmos naturales o neperianos.

Como primer paso se calculó la tasa de crecimiento poblacional entre los censos realizados en el año 2002 y 2018, realizando el respectivo despeje de la variable r en la Ecuación 1, para poder proyectar la población hasta el año 2021, cuyo valor numérico r es de 0,0173040 (ver resultados en la Tabla VII), con ese valor de r se utilizó la Ecuación 1, para obtener la población proyectada.

$$P_{2021} = P_{2018}(1 + 0,0173040)^{(2021-2018)} = (19\ 488)(1 + 0,0173040)^{(2021-2018)}$$

$$P_{2021} = 20\ 517$$

Tabla VII. **Población de la zona municipal 24 de la ciudad de Guatemala – INE 2002 Y 2018**

Ciudad de Guatemala	Población total año 2022	Población total año 2018	Tasade crecimiento poblacional (r) (método geométrico)	Poblacion proyectada al año 2021 (método geométrico)
Zona municipal 24	14 810	19 488	0.0173040	20 517

Fuente: elaboración propia.

Con esta información se estimó la cantidad de personas que habitaban en Canalitos para el año 2021, para tener una idea de la población a la que se le debería prestar los servicios básicos para sus actividades diarias.

Actualmente en la localidad se encuentra una planta de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), ésta presta el servicio de agua potable para la población; cuando fue construida se instaló la tubería para trasladar agua desde la presa de captación de San José Pinula hacia la planta de tratamiento de Santa Luisa Acatan, construyéndose varios tanques de uso público que hay en cada cantón y algunos chorros ubicados en distintos puntos de las calles. (Mollinedo, 2014, párr. 12)

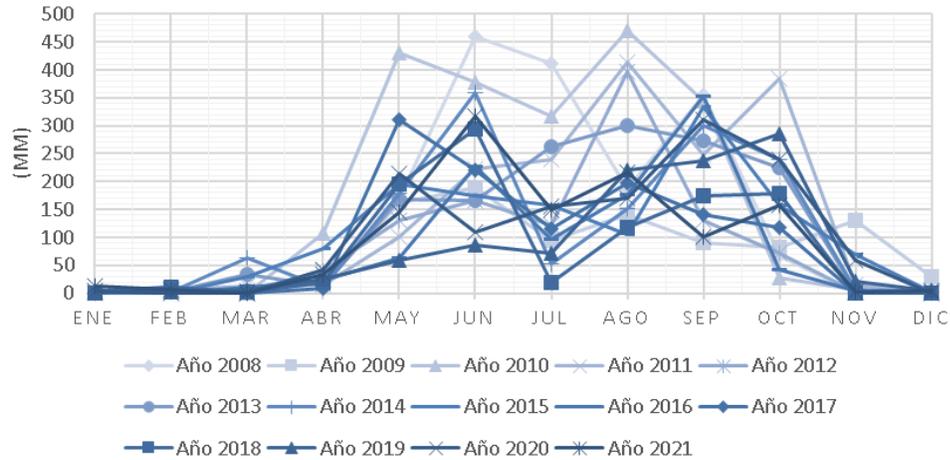
1.2. Climatología

Para la ciudad de Guatemala la temperatura varía de forma general entre 17 °C a 24 °C. La temporada que tiene un clima templado es de aproximadamente dos meses (19 de marzo al 18 de mayo), presentando un valor de temperatura de 22 °C. La temporada que tiene un clima fresco es de aproximadamente de 3 a 4 meses (17 de octubre al 01 de febrero) presentando una temperatura promedio menor a 20 °C (ver Apéndices del 1.1 al 1.4).

Con los datos de precipitación pluvial registrados por la estación del INSIVUMEH, desde el año 2008 hasta el año 2021, se determinó que en la ciudad de Guatemala se tuvo que el año 2009 fue el que presentó la menor cantidad de precipitación pluvial anual con un equivalente de 939,50 mm de precipitación y el año 2010 fue el de mayor precipitación pluvial anual registrando 2 080,80 mm de precipitación anual, también se determinó que la precipitación promedio anual es de 1 298,49 mm (ver Apéndice 1.5 y Figura 3). Los únicos años en los que se presentó una precipitación anual promedio menor a 1 000mm fueron en los años de 2009 (939,50mm) y 2016 (999,50mm).

En el caso de las precipitaciones pluviales anuales registradas en la subcuenca del río Los Ocotes, según lo que se determinó en el estudio del Proyecto FODECYT No. 035-2009, se tuvo que el promedio de la precipitación pluvial anual era de 1 352,35 mm, al considerar las estaciones instaladas en la parte alta y baja de la subcuenca, teniendo una diferencia de 53,86 mm de precipitación pluvial anual respecto a la registrada por la estación del INSIVUMEH en la ciudad de Guatemala.

Figura 3. **Precipitación promedio mensual (mm) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel y datos proporcionados por el INSIVUMEH.

En las dos estaciones climáticas dentro de la subcuenca del río Los Ocotes para los años 2009 y 2010, donde en la parte alta la precipitación anual fue de 1 386,3 mm y en la parte baja la lluvia anual fue de 1 318,4 mm, existiendo solamente una diferencia de 67,9 mm entre las dos estaciones. Además, la época lluviosa se presenta de mayo a septiembre, mientras que la época seca es de enero a marzo, siendo los meses de octubre, noviembre, diciembre y abril con poca lluvia. (Herrera, 2016, p. 25)

La época lluviosa en la ciudad de Guatemala, en los últimos ocho años ha presentado la tendencia de dividirse en tres fases, dos de ellas son de alta cantidad de precipitación pluvial (fase 1: meses de mayo a junio y fase 3: meses de agosto a octubre), separadas por una fase de poca precipitación pluvial (fase 2: mes de julio), teniendo un comportamiento similar al de una canícula prolongada, presentando una disminución promedio en la cantidad de precipitación pluvial de hasta el 70 % de la precipitación pluvial en dicha época.

La humedad relativa es la proporción de vapor de agua real que existe en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación del aire a la temperatura correspondiente, es decir, dicho valor de la humedad relativa indica que tan próximo está el aire de estar saturado, aunque también puede indicar la cantidad real de vapor de agua en el aire. Este parámetro se mide y se expresa en porcentajes comprendidos entre 0 y 100, donde el 0 % significa aire seco y 100 % aire saturado de humedad.

En el caso de la humedad relativa promedio del ambiente para la ciudad de Guatemala, se tuvo un valor promedio anual del 79.09 % de humedad relativa promedio para el año 2010, coincidiendo ese mismo año con el mayor valor de precipitación pluvial anual (2 080,80 mm de precipitación pluvial anual). Para el año 2009 que fue el de menor precipitación con 939,50 mm de precipitación pluvial, se tuvo un porcentaje de humedad relativa promedio anual de 76.43 %. Siendo el valor promedio anual de 73.92 % desde el año 2008 hasta el 2021.

En los últimos ocho años (del 2014 al 2021), se tuvieron porcentajes de humedad relativa promedios anuales, inferiores al valor promedio anual de 73.92 %, se tuvo el valor mínimo de 71.42 % para el año 2019 (ver Apéndices 1.6 y 1.7), siendo una diferencia de 7.67 % respecto al año 2010.

Esto puede explicarse a partir del comportamiento de la temperatura media anual, la cual ha superado el valor promedio de 19,97 °C en los últimos nueve años (ver Apéndice 1.4). Eso explica la disminución de humedad relativa en el ambiente, propiciando un aumento en la evapotranspiración. La variación de temperatura media anual ha sido representada por un incremento de 1,72 °C entre el año 2008 y el 2016 (temperatura máxima anual de 20,73 °C en el año 2016, para luego disminuir hasta los 20,00 °C de temperatura promedio anual, en el año 2021.

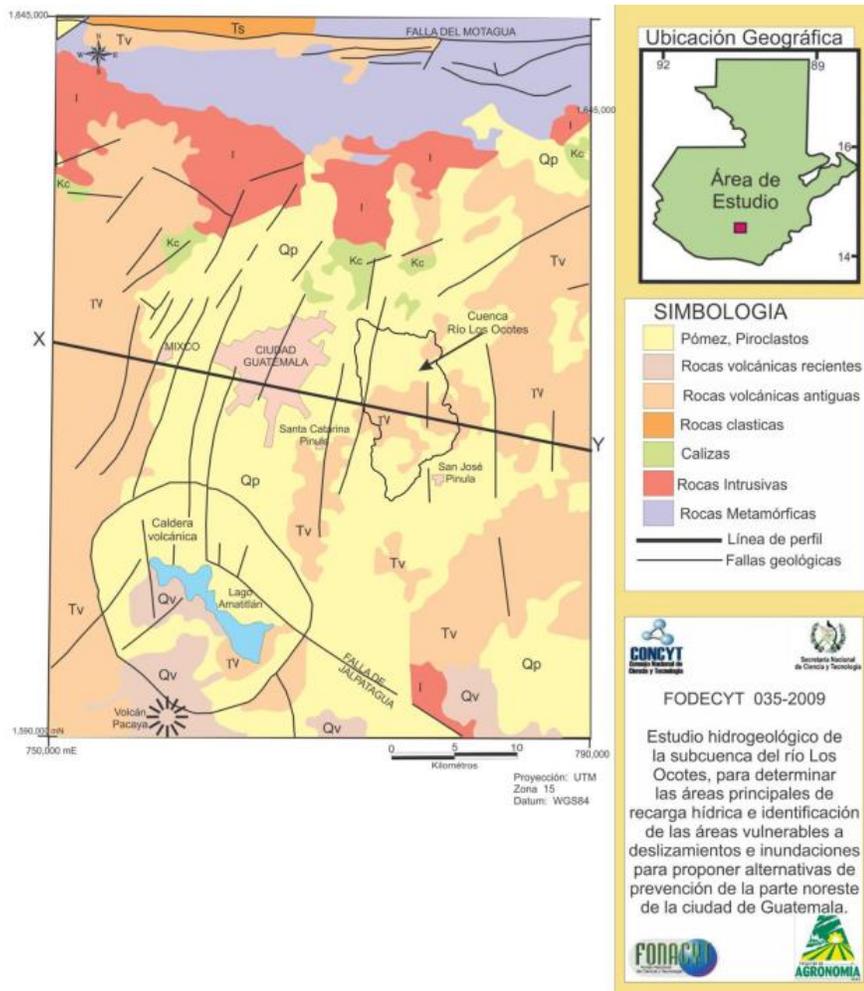
En el grupo de años analizados desde el 2008 hasta el 2021, se determinó que en el año 2010 se registró el valor más bajo de temperatura media anual equivalente a 19,00 °C, ese mismo año se tuvo la mayor cantidad de precipitación pluvial anual (2 080,80 mm de precipitación pluvial anual), también se obtuvo el valor más alto de porcentaje de humedad relativa, siendo este de 79.09 %, lo cual a su vez permite una mayor disponibilidad hídrica para el sector analizado de la subcuenca perteneciente a la ciudad de Guatemala.

1.3. Tipo de suelos

El tipo de suelo es determinado por las partículas minerales que conforman dichos suelos, asimismo, se debe considerar las propiedades físicas tales como la textura, porosidad, estructura y el color. También la granulometría es fundamental para distinguir el tipo de suelo, ya que pueden ser gravas, arenas, limos o arcillas.

En lo que respecta a la estratigrafía en el ámbito del departamento de Guatemala, se han identificado como las rocas más antiguas, a las metamórficas que incluyen: esquistos, filitas y gneiss. Las cuales forman el basamento, abarcando edades desde el Paleozoico hasta Mesozoico, los principales afloramientos están en el valle del río Motagua. Al norte de Guatemala se observan rocas del Mesozoico y Cenozoico, de tipo sedimentarias detríticas: areniscas y limolitas depositadas sobre una plataforma marina somera del Cretácico, así como depósitos calcáreos en amplios espesores. Al sur de ciudad Guatemala se localizan los centros eruptivos volcánicos de edad Terciaria y Cuaternaria. (Herrera, 2012, p. 56)

Figura 4. Mapa geológico regional de la subcuenca del río Los Ocotes



Fuente: Herrera (2012). Proyecto FODECYT 035-2009.

En el caso del área de estudio de la subcuenca del río Los Ocotes (ver Figura 4), se tiene en su geología regional una mayor presencia de rocas tipo pómez y rocas piroclásticas en la parte superficial de la corteza, también se tienen rocas volcánicas antiguas, las cuales conforman la mayor parte del acuífero de la subcuenca.

1.4. Uso de suelo

La ciudad de Guatemala tiene distintos usos para el suelo según la demanda que la población requiera satisfacer para desarrollo del comercio, viviendas, oficinas, restaurantes, parqueos públicos, calles y avenidas, bodegas, universidades, rellenos sanitarios, Industria, hoteles, entre otros. Esto tiene gran importancia al momento de gestionar el recurso hídrico, ya que según el uso se puede tener un estimado de la dotación diaria que se necesita para cubrir las demandas de dichos usos, ya que la dotación para una vivienda unifamiliar no es la misma que la dotación para una industria o para un centro recreativo.

El uso actual del suelo por porcentaje de área (ver Anexo 1.4), según FODECYT 035-2009 en la subcuenca corresponde a: bosques 61.16 % (38,9 km²), pastos 2.09 % (1,33 km²), cultivos 17.70 % (11,26 km²) y poblados (área urbanizada) 19.05 % (12,11 km²).

La transpiración del tipo de vegetación de bosques de coníferas que se presentan en la parte alta y media, y que tienen menores valores de transpiración de 15 a 39 mm/mes, mientras que el cultivo de maíz se presenta principalmente en la parte baja y tiene una mayor transpiración de 68 a 84 mm/mes. (Herrera, 2016, p. 25)

El uso de suelos en la subcuenca del río Los Ocotes, se mantiene a través del tiempo, Herrera (2012) explica el uso de suelo para áreas urbanizadas, cultivos anuales (maíz y hortalizas), pastos naturales y matorrales, bosque natural conformado por coníferas y Quercus. Las áreas de bosques y cultivos anuales, tienen una mayor cobertura de uso de suelo en la subcuenca, lo cual significa que tiene una mayor área para la recarga hídrica.

1.5. Fallas geológicas

“La subcuenca del río Los Ocotes, se encuentra localizado en un sistema de Horst y graben de San José Pinula, limitado por fallas de rumbo norte-sur y formado por rocas volcánicas terciarias y piroclastos del período Cuaternario” (Herrera, 2012, p. 58). En el perfil geológico A-A', en el que se muestran varias fallas ocultas, identificando la dirección del desplazamiento de las tobas soldadas, contribuyendo a la fracturación de las rocas, proveyendo al acuífero altos valores de permeabilidad secundaria, lo que permite analizar el flujo de agua subterránea por medio de la conductividad hidráulica y no solamente a partir de la permeabilidad primaria del acuífero.

En el Anexo 3.2, se observa que:

La subcuenca es de forma alargada de sur a norte, en correspondencia a las fallas de Santa Catarina Pinula y San José Pinula, con un basamento de rocas volcánicas cubiertas por depósitos piroclásticos más recientes, que han originado relieves planos a ondulados donde se ha establecido la ciudad de Guatemala, principalmente en la zona de graben. Sin embargo, hacia la subcuenca del río Los Ocotes se localiza en una zona del horst de Pinula. (Herrera, 2012, p. 58)

Las fallas geológicas de Santa Catarina Pinula se orientan de norte a sur, mientras que las demás fallas se orientan desde el suroeste hacia el noreste, incluyendo las fallas aproximadas y las fallas geológicas ocultas. Ese dato es útil para el análisis de la orientación del flujo del agua subterránea, también se debe tomar en cuenta el concepto del gradiente hidráulico, en el que se considera que el flujo irá desde los puntos de mayor a menor presión. “La textura del suelo es gruesa (franco arenoso),

con alta cobertura vegetal y pendientes bajas a moderadas”. (Herrera, 2012, p. 74)

1.6. Mapas de la subcuenca

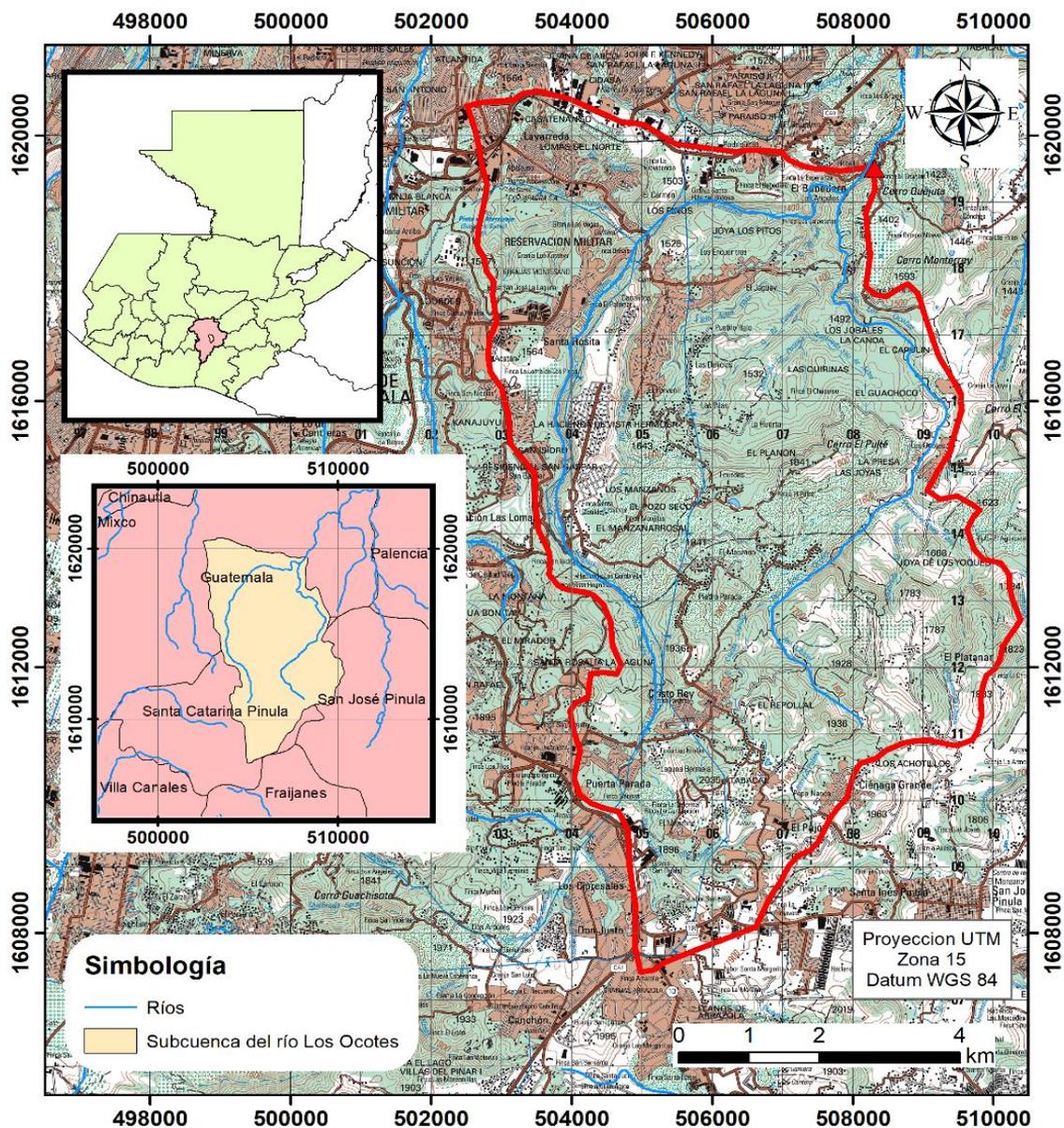
La subcuenca del río Los Ocotes (ver Figura 5). Herrera (2012) explica que la subcuenca tiene un área aproximada de 63.6 km² y un perímetro de 26 km. En la Figura 6, se presentan las zonas de muestreo, el río Los Ocotes a través de la subcuenca y el perfil A-A´´´. En el Anexo 1.3, se muestra que “La geomorfología de la subcuenca del río Los Ocotes se distingue por el tipo litológico y puede precisarse la pendiente del terreno y la clase de suelo, para determinar la infiltración, el escurrimiento, la humedad del suelo y la recarga” (Herrera, 2016, p. 24).

En los Anexos 1.1 y 1.2, se presentan los mapas de áreas vulnerables a derrumbes y áreas vulnerables a inundaciones respectivamente, cabe destacar que dichas áreas tienden a ser similares, debido a los efectos de la erosión causada por el flujo de agua de los ríos cuando se tienen grandes cantidades de precipitación pluvial en la subcuenca, es por ellos, que dichas áreas se concentran en la parte baja de la misma. En el caso de las áreas vulnerables a derrumbes, se debe incluir también las áreas que tienen taludes muy pronunciados.

La subcuenca está conformada en su mayoría por macizos rocosos, los cuales no son muy susceptibles a deslizamientos, a excepción de las zonas en las que se presenta una mayor fracturación debido a movimientos de bloques grandes de suelos, erosión debido a los meteoros atmosféricos, efectos de la gravedad, entre otros. Las áreas de recarga de la subcuenca, en las zonas altas tienen una capacidad de recarga media, lo cual tiene incidencia sobre las áreas

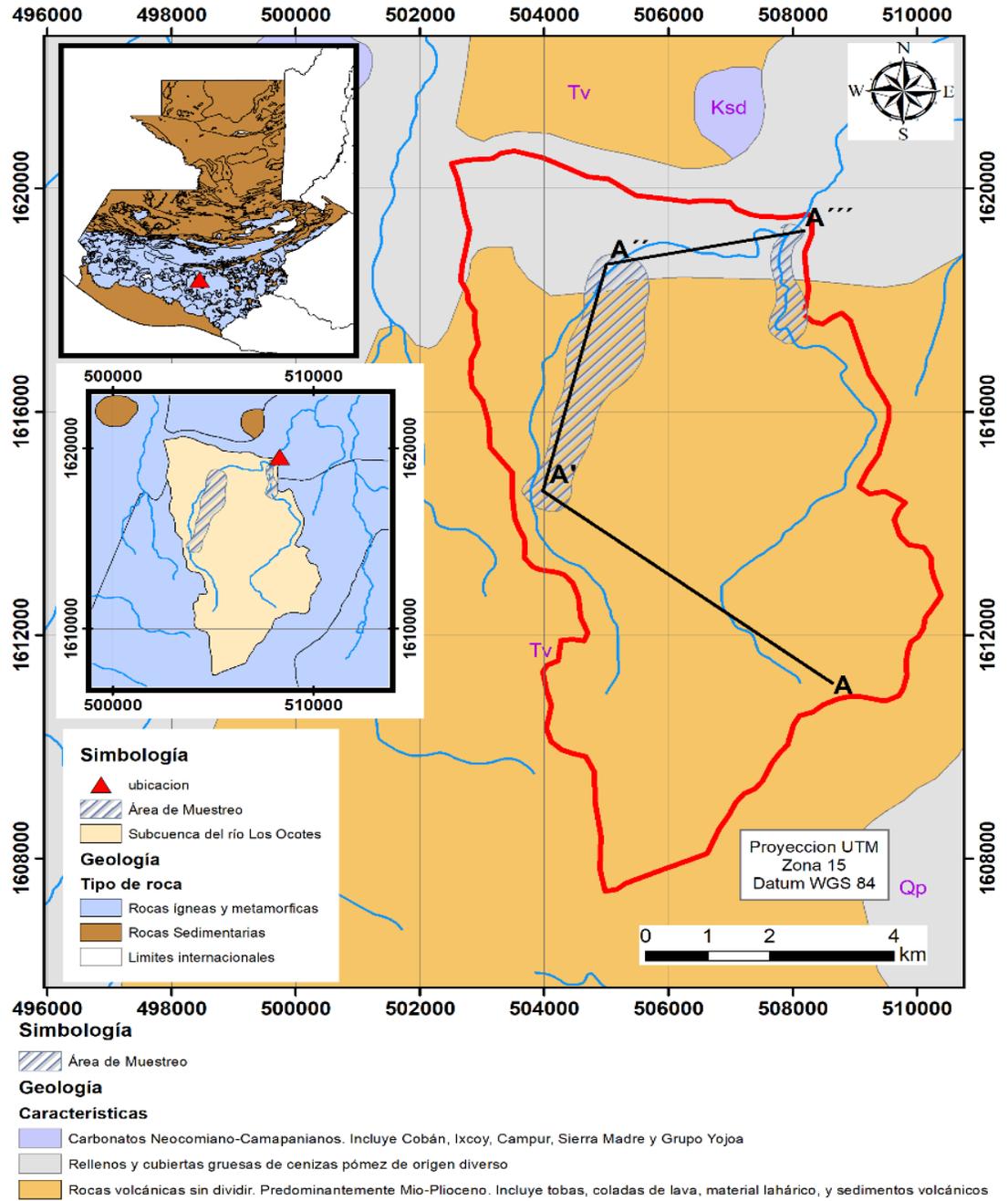
vulnerables a derrumbes e inundaciones, debido a la saturación de los suelos, lo que modifica sus características físicas y propiedades mecánicas.

Figura 5. Localización de la subcuenca del río Los Ocotes



Fuente: elaboración propia, realizado con mapa a escala 1:50,000 y ArcGis.

Figura 6. Mapa geológico de la subcuenca del río Los Ocotes, áreas de muestreo y perfil A – A'''



Fuente: elaboración propia, realizado con mapa a escala 1:50,000 y ArcGis.

Se debe considerar el riesgo latente de cada una de las zonas de la subcuenca, ya que existen las amenazas, las cuales serían al equivalente de los eventos naturales que pueden suscitarse en el área analizada, la vulnerabilidad de situarse en dichas zonas al momento de la ocurrencia de dichos eventos y todo ello estará condicionado por la capacidad de respuesta que se tenga para contrarrestar los efectos de la ocurrencia de las amenazas que se presenten en las zonas, todo ello permite determinar el índice de riesgo, el cual es inversamente proporcional a la capacidad de respuesta que se tenga.

2. HIDROGEOLOGÍA DE LA SUBCUENCA

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, así como su movimiento y características físicas, químicas y biológicas, es por ello que también se le conoce como hidrología subterránea. Cuando se utiliza el término de agua subterránea, se hace referencia al agua subsuperficial que se encuentra por debajo del nivel freático en suelos y formaciones geológicas saturadas. Se estudia y analiza el comportamiento del flujo del agua subsuperficial desde la parte superficial de la corteza hasta grandes profundidades.

Ambas situaciones son totalmente importantes en el ciclo del agua, ya que la parte superficial regularmente tiende a no estar saturada y las partes profundas tienden a estar saturadas y en cada caso se desarrollan distintas interacciones entre el agua y las rocas, teniendo gran influencia en los procesos geológicos cuando se tiene mayor profundidad, ya que todo ello está relacionado con la temporalidad del agua interactuando y evolucionando según las características y propiedades físicas de las rocas.

El ciclo del agua abarca una diversidad de variables según el entorno en el que se tenga la presencia del agua en cualquiera de sus estados físicos: sólido, líquido y gaseoso. Ya que si el agua es analizada desde el punto de vista superficial en el que se tiene contacto con la tierra (suelos y rocas), desde la precipitación provocada por el agua contenida en la atmósfera, se estaría hablando del campo de la hidrología, si se analiza de manera subsuperficial ya se estaría analizando respecto a la rama de especialización de la hidrología, denominada hidrogeología.

En el caso de realizar un análisis de las características del agua cuando tiene contacto con las rocas que se ubican por debajo de la superficie de la tierra en distintas profundidades y temporalidades, entonces se estaría abordando el campo de la hidrogeología.

El agua es considerada un solvente universal, porque en ella se disuelven más sustancias que en cualquier otro líquido a excepción de las sustancias que son químicamente apolares. Pero como tiene propiedades de polaridad (carga negativa y positiva), y la habilidad para formar lazos de hidrógeno, le permiten al agua, ser un excelente solvente. Es decir, que puede generar enlaces con distintas moléculas que tengan polaridad y que estén en contacto con el agua. Para algunas reacciones se necesitará más tiempo que otras, esto nos lleva hacia uno de los objetivos primordiales de la hidrogeología, que es el estudio del transporte y la transformación de los contaminantes.

Las fracturas tienen su origen debido a las tensiones que se producen en la superficie terrestre, es decir, mantienen una relación directa o indirecta con la topografía del lugar. También suele suceder que; la topografía del lugar sea una representación del tipo de movimientos telúricos ocurridos en un pasado histórico, desde los estratos más profundos. La variación de los niveles de agua subterránea está sujeta a una diversidad de variables relacionadas con la hidrología, actividades antropogénicas, ambiente y fenómenos naturales.

En casos especiales, suelen presentarse casos en los que solamente una de las variables tiene una incidencia directa en las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea, pero en la mayoría de los casos, siempre se tendrá una combinación de variables que están incidiendo en los niveles de agua subterránea del acuífero.

En el Anexo 2.1, se tiene un resumen de las distintas combinaciones de variables que inciden en la fluctuación de los niveles de agua subterránea para distintos casos. Están clasificados según su origen natural o inducido por la actividad humana, asimismo, se considera también la duración muy corta, diurna, estacional o de largo plazo. En algunos tiene incidencia el factor climático y en otros no. Freeze y Cherry (1979) explican que aquellos con la palabra Sí en la columna Confinado producen fluctuaciones a la carga hidráulica en lo profundo. Los que aparecen con la palabra Sí en la columna No confinado producen fluctuaciones en la elevación de la superficie freática cerca de la superficie.

2.1. Hidrología

La hidrología es la disciplina de la ciencia que estudia las aguas superficiales que se encuentran en el ambiente en cualquiera de sus estados físicos (sólido, líquido y gaseoso), tanto en su distribución, circulación y flujo superficial. La dinámica del agua superficial, está relacionada con distintas variables ambientales de manera directa e indirecta, lo cual permite una cantidad importante de aplicaciones tales como: las obras de ingeniería civil, labores de gestión ecológica, diseño de plantas hidroeléctricas, diseño de planes de contingencia ante la erosión hídrica, control de inundaciones y otros.

La unidad básica de medida de la hidrología es la cuenca, ya que en dicha unidad se analizan los distintos fenómenos meteorológicos que ocurren en el transcurrir el tiempo y permiten determinar la cantidad de agua disponible en dicha cuenca, es decir, se analiza la cantidad de agua que ingresa a dicha unidad de medida, la cual llegará a un punto común de salida de la cuenca. Con ello se puede determinar la disponibilidad del recurso hídrico en una temporalidad específica.

La subcuenca del río Los Ocotes, es de tipo alta a media, ya que constituye la zona de nacimiento del río, el cual se desplaza por una gran pendiente, además se puede tener un equilibrio o balance entre el material arrastrado por el agua del río y el que termina siendo depositado en el fondo del mismo. García (2014) explica que este río se encuentra ubicado en los municipios de Santa Catarina Pínula, Guatemala y Palencia. Se forma al norte de la aldea Cristo Rey, al éste del caserío Los López, de la unión del río Chicoj y la quebrada Cuesta Grande.

La subcuenca del río Los Ocotes: forma la parte alta de la cuenca del río Motagua, que drena hacia la vertiente del Caribe. El área aproximada de la subcuenta equivale a 63.60 kilómetros cuadrados, área calculada hasta la estación limnimétrica ubicada debajo del puente ubicado en la salida del área urbana de la aldea Los Ángeles. El valor de densidad de drenaje 0.85 km/km² indica que la respuesta de subcuenca del río Los Ocotes al flujo superficial por efecto de la precipitación es lenta, porque los suelos son resistentes a la erosión o muy permeables por sus texturas gruesas (francos arenosos). (Herrera, 2012, p. 74)

En el Anexo 1.5, se puede verificar que el río principal Los Ocotes es de orden 5, ya que tiene 5 ríos (corrientes superficiales) que son afluentes a dicho río, con una orientación de suroeste hacia el noreste de la subcuenca. Con una longitud de 16.75 kilómetros desde su surgimiento hasta llegar a la estación limnimétrica utilizada para realizar el estudio de FODECYT 035-2009. En dicho estudio, se indica también que la pendiente media de la cuenca es de 12.25 % lo que indica que se tiene una baja cantidad de escurrimiento superficial del agua que precipita en la cuenca, considerando el tipo de vegetación existente.

Existen distintos factores climáticos que tienen incidencia en el ciclo del agua, en el cual se presenta la transformación de los distintos estados físicos del

agua, por medio de procesos evaporación, condensación y precipitación. La combinación entre la evaporación del agua que se encuentra en los suelos y la transpiración de las plantas, se le conoce como evapotranspiración.

Siendo la evapotranspiración potencial (EP), la que se define como la cantidad de agua que pasaría desde la superficie terrestre hacia la atmósfera por medio de los procesos de evaporación del agua superficial y la transpiración de las plantas, siempre en cuanto se tenga disponibilidad de agua en el suelo y de las distintas plantas que puedan estar sobre dichos suelos, para obtener humedad en el ambiente. De toda esa evapotranspiración, existe una proporción que en verdad se evapotranspira y a esta se le conoce como evapotranspiración real (ER).

La evapotranspiración depende de las propiedades de almacenamiento de humedad no saturada del suelo. También se ve afectada por factores vegetativos como el tipo de planta y la etapa de crecimiento. Los métodos más comunes para calcular la evapotranspiración potencial son los de Blaney y Criddle (1950), Thornthwaite (1948), Penman (1948) y Van Bavel (1966). Los dos primeros dos se basan en correlaciones empíricas entre la evapotranspiración y los factores climáticos. Los dos últimos son enfoques de balance energético que tienen mejores fundamentos físicos, pero requieren más datos meteorológicos. (Freeze y Cherry, 1979, p. 207)

La evapotranspiración potencial se obtiene mediante cálculos teóricos basados en datos de meteorológicos. Para fines de este trabajo se utilizó el método de Hargreaves y Samani, para el cálculo teórico de la evapotranspiración potencial, ya que se necesitan los datos de temperaturas de la cuenca y los datos de radiación solar extraterrestre (es la radiación que llega a la parte exterior de la atmósfera, es decir, la radiación solar que llegaría a la superficie terrestre si la

atmósfera no existiera). Los datos deben corresponder al hemisferio, la latitud en la que se encuentre la cuenca de estudio y el mes del año para el análisis. La ecuación general para el cálculo de la evapotranspiración potencial es la siguiente:

$$ET_0 = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

- ET_0 = es la evapotranspiración potencial diaria, mm/día.
- t_{med} = es la temperatura media, °C.
- R_s = es la radiación solar incidente, convertida en mm/día.

Para obtener la radiación solar incidente, Samani (2000) propone la siguiente ecuación:

$$R_s = R_0 * KT * (t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n})^{0,5} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

- R_0 = es la radiación solar extraterrestre (ver Anexos 2.7 y 2.8).
- KT = coeficiente.
- $t_{m\acute{a}x}$ = es la temperatura diaria máxima, °C.
- $t_{m\acute{i}n}$ = es la temperatura diaria mínima, °C.

Para evaluar la R_0 existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y del mes. La tabla de R_0 está en MJulio/m²/día, (en el presente trabajo la encontramos en mm/día de agua evaporada, en los Anexos 2.7 y 2.8).

El coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves, recomienda $KT = 0,162$ para regiones del interior y $KT = 0,19$ para regiones costeras. Para efectuar la conversión: $1 \text{ mm/día} = \text{MJulio/m}^2/\text{día}$, se puede tener mayor exactitud al multiplicar por: $238,85 / (597,3 - 0,57T)$; donde $T =$ temperatura media del periodo elegido. (Sánchez, 2021, p. 1)

La expresión citada en la mayoría de referencias, es la fórmula simplificada del método de Hargreaves, para este caso se utilizó el coeficiente KT con el valor medio de 0,17 que también se aproxima al valor recomendado para regiones del interior, con ello se obtiene la siguiente ecuación simplificada (nota: todos los significados de las variables que ya se detallaron en ecuaciones previas, no se repetirán, para evitar extender demasiado la teoría):

$$ET_0 = 0,0023 (t_{med} + 17,78)R_0 * (t_{máx} - t_{mín})^{0,5} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- ET_0 = es la evapotranspiración potencial diaria, mm/día.
- R_0 = es la radiación solar extraterrestre, en mm/día (ver Anexos 2.7 y 2.8).

Con los datos de la precipitación y la evapotranspiración potencial, se realizó el proceso de cálculo para obtener el balance hídrico climático con el método de Thornthwaite y posteriormente el balance hídrico de suelos con el método de Schosinsky, para obtener una comparativa de los resultados del recurso hídrico disponible en la cuenca.

Con ello se utilizaron como referencia los datos obtenidos para la subcuenca del río Los Ocotes que se presentaron en el trabajo de FODECYT 035-2009. En el que se realizaron “Pruebas de infiltración y el muestreo de suelos a nivel de campo, con la posterior determinación en laboratorio de suelos, para la capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y densidad aparente (Da)” (Herrera, 2012, p. 24).

Para el balance hídrico climático, también conocido como balance hidrológico, se utilizó la expresión general del método de Thornthwaite, en el que se utilizan las variables que representan el ingreso de agua en una cuenca y las que representan las salidas de agua de dicha cuenca, para poder estimar la cantidad de agua disponible durante un periodo de tiempo determinado, para obtener el dato de la evapotranspiración real. Es decir, el agua almacenada en el suelo será la diferencia entre el agua ingresada y el agua descargada. La expresión general es la siguiente:

$$P - ETR \pm \Delta Alm - ESC = 0 \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

- P = es la precipitación, mm.
- ETR = es la evapotranspiración real, mm.
- ΔAlm = es la variación del contenido de agua en el suelo, mm.
- ESC = es la escorrentía, mm.

En el caso del balance hídrico de suelos se toma en cuenta una mayor cantidad de variables para la estimación de la evapotranspiración real, ya que adicional a los factores del clima, se considera el tipo de suelo, las pendientes del suelo (topografía), el tipo de cobertura vegetal.

Esto permite determinar el contenido de humedad que se tendrá en el suelo respecto a su valor máximo denominado como capacidad de campo (CC) y puede medirse mediante porcentajes, en donde se puede considerar que al obtenerse valores inferiores al cincuenta por ciento (50 %), indica una reducción en la disponibilidad de agua en el suelo, lo que produce estrés en la vegetación.

$$P = ETR + ESC + Rp + Ret \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- Rp = es la recarga potencial, mm.
- Ret = es la retención, mm.

La evapotranspiración en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La mayor capacidad de evapotranspiración de un cultivo es cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Sin embargo, cuando la humedad del suelo es menor que la capacidad de campo, las hojas de las plantas van cerrando las estomas, con el propósito de transpirar menos y así economizar el agua. Cuando la humedad del suelo llega al punto de marchitez permanente, la planta no transpira y muere. (Schosinsky, 2006, p. 18)

Para calcular la escorrentía superficial, se debe tener el valor de la precipitación y restarle el valor de la precipitación infiltrada, para calcular esta última, se debe contar con el coeficiente de infiltración del suelo, el cual es un porcentaje y luego multiplicarse por el valor de la precipitación ($P \cdot i\%$), con ello se puede obtener la escorrentía superficial:

$$ESC = P - Pi \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

- ESC = es la escorrentía, mm.
- Pi = es la precipitación infiltrada, mm.

Para calcular la evapotranspiración real, se debe considerar la humedad disponible del suelo, la evapotranspiración potencial (es el máximo estimado que se puede evapotranspirar), la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, para obtener el valor de la ETR, se tiene la siguiente ecuación:

$$ETR = \frac{(HD*ETP)}{(CC-PM+ETP)} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

- ETR = es la evapotranspiración real, mm.
- HD = es la humedad disponible, mm.
- ETP = es la evapotranspiración potencial, mm.
- CC = es la capacidad de campo, mm.
- PM = es el punto de marchitez, mm.

Para determinar el valor de la humedad disponible se debe contar la humedad del suelo inicial para poder restar el valor del punto de marchitez permanente y agregar la precipitación infiltrada. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$HD = Hsi + PM + Pi \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

- H_{si} = es la humedad del suelo inicial, mm.
- P_i = es la precipitación infiltrada, mm.

Para determinar el valor de la humedad del suelo final se debe contar la humedad disponible para poder restar el valor de la evapotranspiración real o bien se pueden sumar los valores de la evapotranspiración potencial y del punto de marchitez permanente, pero en ninguno de los casos, el valor de la humedad final del suelo, será mayor que la capacidad de campo. Como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$HSf = HD - ETR \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde:

- HSf = es la humedad del suelo final, mm.
- HD = es la humedad disponible, mm.
- ETR = es la evapotranspiración real, mm.

$$HSf = ETP + PM \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

- ETP = es la evapotranspiración potencial, mm.

Para determinar el valor del déficit de capacidad de campo se debe restar de la capacidad de campo, el valor de la humedad del suelo final. Con todos los valores que se obtengan al utilizar las ecuaciones anteriormente descritas, se

puede calcular la recarga potencial del acuífero, contando con la humedad disponible y restar el valor de la evapotranspiración real, también se puede realizar mediante la siguiente ecuación:

$$Rp = ETR + PM - CC \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde:

- Rp = es la recarga potencial, mm.

La necesidad de riego se puede obtener con los datos de la evapotranspiración potencial, ya que es el máximo valor que puede evapotranspirarse, la precipitación infiltrada, la capacidad de campo y la humedad del suelo inicial, mediante la siguiente ecuación:

$$NR = ETP - Pi + CC - Hsi \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Donde:

- NR = es la necesidad de riego, mm.
- Hsi = es la humedad del suelo inicial, mm.

Para realizar los distintos cálculos para el balance hídrico de suelos, se tienen distintas consideraciones según las condiciones del terreno, la vegetación y el clima, para fines de este trabajo no se colocará todo el proceso detallado, sino que se invita al lector para que consulte el trabajo explicado por Schosinsky (2006), denominado: cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos, publicado por Gunther Schosinsky en la Revista Geológica de América Central, número 34-35.

Con los datos que se obtienen de los balances hídricos, se puede estimar la recarga potencial del suelo y con ello se puede estimar la necesidad de riego del suelo. Cabe resaltar de que las variables iniciales que son determinantes para calcular el balance hídrico de suelos de cada área de estudio, según su tipo de suelo y cobertura vegetal, son: la capacidad de campo, el porcentaje y la capacidad de infiltración, la densidad del suelo, la profundidad de raíces, el factor estimado con base a la prueba de infiltración, el punto de marchitez de la planta y los factores de pendiente y vegetación.

2.1.1. Presentación de resultados

Para los cálculos de los balances hídricos climáticos y de suelos, se utilizó como referencia, los valores meteorológicos de la estación del INSIVUMEH para la ciudad de Guatemala, los valores de campo y de laboratorio que se presentaron en el trabajo de FODECYT 035-2009. En el que se realizaron pruebas de infiltración y el muestreo de suelos a nivel de campo, asimismo los resultados del laboratorio para la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM). Para poder realizar estimaciones en el periodo de años que abarca desde el año 2008 hasta el 2021 y así analizar la disponibilidad de agua estimada que se puede tener en la subcuenca.

Los valores obtenidos para la zona de estudio denominada como: unidad 5 en el trabajo de FODECYT 035-2009, que coincide con el sector de Canalitos, conformado por relleno piroclástico y poblados, se obtuvieron los siguientes resultados de campo y laboratorio: capacidad de campo de 34.30 %, punto de marchitez permanente de 21.04 %, densidad de suelo 1,05 g/cm³, profundidad de raíces de 1 500 mm, humedad del suelo inicial de 541 mm y una infiltración de 240 mm/d lo que también equivale a 1 cm/h. Para obtener el porcentaje de infiltración se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%infiltración = (-2,74 * 10^{-5} * i + 0,2284) * \ln(i) + 0,000159 * i - 0,586$$

(Ecuación 15)

Donde:

- $\%infiltración$ = es el porcentaje de infiltración en el suelo, %.
- i = es la infiltración básica en el suelo, mm/día.

Utilizando la ecuación 15, se tiene el siguiente resultado:

$$\%infiltración = (-2,74 * 10^{-5} * (240) + 0,2284) * \ln(240) + 0,000159 * (240) - 0,586$$

$$\%infiltración = 0,6679 = 66,79\%$$

Este resultado indica que el 66.79 % de la precipitación pluvial, se infiltra en el suelo y el restante 33.21 % escurre. Con los resultados de laboratorio se realizó la conversión de los porcentajes a láminas de agua (mm), para los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Se le denomina humedad en lámina o milímetros, relacionando el porcentaje de capacidad de campo obtenido en laboratorio, la densidad del suelo y la profundidad de raíces obtenidos en campo. Se utilizó la siguiente expresión:

$$H_{CC} = \frac{CC(\%)}{100} * DS * PR$$

(Ecuación 16)

Donde:

- H_{CC} = es la humedad en lámina de la capacidad de campo, mm.
- $CC(\%)$ = es la capacidad de campo en porcentaje, %.

- DS = es la densidad del suelo, g/cm³.
- PR = es la profundidad de raíces, mm.

Utilizando la ecuación 16, se tiene el siguiente resultado:

$$H_{CC} = \frac{(34,30)}{100} * (1,05) * (1500) = 540,23 \text{ mm}$$

Para obtener la humedad en lámina equivalente al porcentaje del punto de marchitez, se utiliza el mismo planteamiento de la ecuación anterior, cambiando el porcentaje correspondiente en el numerador de la ecuación.

$$H_{PM} = \frac{PM(\%)}{100} * DS * PR \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

- H_{PM} = es la humedad en lámina del punto de marchitez permanente, mm.
- $PM(\%)$ = es el punto de marchitez en porcentaje, %.
- DS = es la densidad del suelo, g/cm³.
- PR = es la profundidad de raíces, mm.

Utilizando la ecuación 17, se tiene el siguiente resultado:

$$H_{PM} = \frac{(21,04)}{100} * (1,05) * (1500) = 331,38 \text{ mm}$$

Con los dos valores de humedad anteriores, se puede determinar el tamaño del depósito del suelo, es decir, la diferencia entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente de la planta que se encuentra en dicho suelo.

Al restar los valores de H_{CC} y H_{PM} se tiene como resultado una lámina de 208,85 mm y su equivalente en porcentaje sería de 13,26. Con este porcentaje, también se puede verificar utilizando la misma ecuación para determinar el valor de dicha lámina en milímetros.

$$H_{CC} - H_{PM} = \frac{CC(\%) - PM(\%)}{100} * DS * PR \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

- $CC(\%)$ = es la capacidad de campo en porcentaje, %.
- $PM(\%)$ = es el punto de marchitez en porcentaje, %.

Utilizando la ecuación 18, se tiene el siguiente resultado:

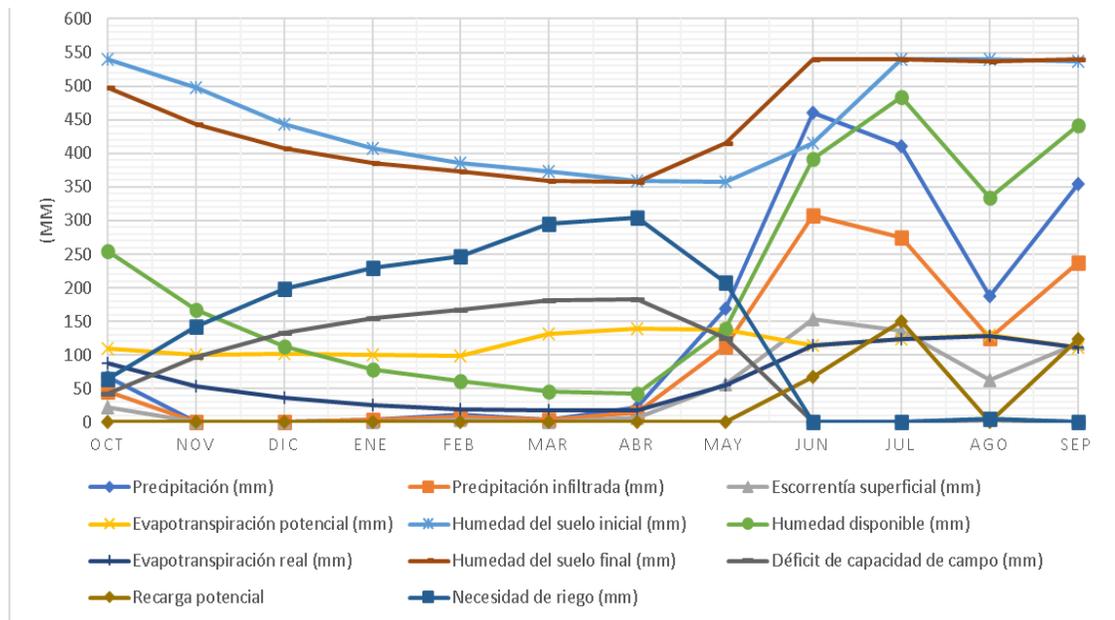
$$H_{CC} - H_{PM} = \frac{(34,03 - 21,04)}{100} * (1,05) * (1500) = 208,85 \text{ mm}$$

Se tienen los resultados para el año 2008 presentados en el Apéndice 2.1, utilizando la Ecuación 5, para fines del presente trabajo y para evitar saturar con demasiados resultados cada sección, se pueden visualizar los resultados para la evapotranspiración potencial de los años comprendidos entre el año 2009 hasta el año 2021, en los Apéndices desde el 2.13 hasta el 2.25.

Los resultados se muestran en los apéndices 2.2 y 2.3, para el año 2008, utilizando la Ecuación 6 y sus respectivos despejes de variables, según sea el caso. Cuando se realiza el balance hídrico climático se inicia con el mes en el que se tenga mayor precipitación respecto a la evapotranspiración potencial, ya que se necesita analizar desde el inicio de disponibilidad de agua, hasta llegar al mes en el cual ya se registra la mayoría de salidas de humedad de la subcuenca.

Para evitar saturar con demasiados resultados cada sección, se pueden visualizar los resultados para el balance hídrico climático de los años comprendidos entre el año 2009 hasta el año 2021, en los Apéndices desde el 3.1 hasta el 3.44.

Figura 7. **Gráfica del balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2008 - Método de Schosinsky**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados que se muestran en la Figura 7 y el Apéndice 2.4, son para el año 2008, utilizando las ecuaciones desde el número 7 hasta el número 14 y sus respectivos despejes de variables, según sea el caso. Para fines del presente trabajo y para evitar saturar con demasiados resultados cada sección, se pueden visualizar los resultados para el balance hídrico de suelos de los años comprendidos entre el año 2009 hasta el año 2021, en los Apéndices desde el 4.1 hasta el 4.50.

De acuerdo a los caudales de la microcuenca registrados en la estación limnimétrica del río Los Ocotes. Estos valores de caudal son bajos y no posibilitan el aprovechamiento del agua por sus bajas cantidades disponibles. El caudal máximo registrado es de 2.56 m³/s, el caudal mínimo registrado en la estación es de 0.13 m³/s, mientras que el caudal medio es de 0.5 m³/s. (Herrera, 2012, p. 110)

En los Anexos 2.3 y 2.4, se muestran las tablas que contienen los caudales diarios en m³/s de los periodos comprendidos entre los años 2009 y 2011 de la estación del puente río Los Ocotes del trabajo de FODECYT 035-2009, donde se determina un caudal máximo de 3.88 m³/s para el periodo 2010-2011 en los meses de mayo hasta agosto, para dicho periodo. Lo cual coincide con el año que se tuvo una mayor precipitación para el periodo de análisis desde el 2008 hasta el año 2021. En el Anexo 2.2, se muestra la curva de caudales característicos del río Los Ocotes.

Se estimaron los caudales del río Los Ocotes para cada uno de los años en el periodo considerado desde el año 2008 hasta el año 2021 (ver Apéndice 2.5), con la finalidad de observar la tendencia según la cantidad de precipitación registrada en cada año, lo cual nos permite generar los hidrogramas individuales para analizar la relación entre el caudal disponible y la cantidad de precipitación en la subcuenca.

2.1.2. Discusión de resultados

Con los resultados presentados en la sección anterior, se tiene que el máximo de agua que puede retener el suelo en el sector de Canalitos, es el equivalente a la lámina de humedad de la capacidad de campo con un valor de 540,23 mm, es decir, que toda la precipitación extra que se tenga en dicha zona,

pasará a formar parte de la recarga del acuífero, siempre en cuanto ingrese al suelo. Ahora bien, al considerar que el punto de marchitez de la planta, tiene un valor de humedad de 331,38 mm, se determinó que la capacidad total de almacenamiento del suelo es de 208,85 mm. Lo cual condiciona todos los resultados que se generen en los balances hídricos.

Por lo tanto, se tienen esos 208,85 mm de humedad de reserva en el suelo, antes de llegar al punto de marchitez permanente, es decir, el punto en el que la planta deja de transpirar y muere. Es por ello que la capacidad de campo de los suelos es determinante para determinar el tipo de cobertura vegetal que puede subsistir en los suelos según su punto de marchitez permanente. Es lo que sucede en las otras zonas de la subcuenca, en donde los balances irán variando de acuerdo a sus respectivos valores de capacidad de campo y punto de marchitez.

Cuando se da el caso de que la cantidad de precipitación que se infiltra a los suelos, es lo suficiente para llegar al valor de capacidad de campo, cuyo valor representa la mayor cantidad de agua que puede acumular un suelo no saturado y también se tienen los milímetros de agua que se van a evapotranspirar según el tipo de planta o cobertura vegetal, entonces se cumplen las condiciones necesarias para que se produzca la recarga del acuífero, ya que el excedente de agua empezará a percolar hacia los estratos más profundos.

Los resultados obtenidos a partir del balance hídrico climático mediante el método de Thornthwaite, se presentan separados por variable analizada agrupados en el periodo de tiempo desde el año 2008 hasta el año 2021, se pueden visualizar desde el Apéndice 3.1 hasta el 3.44, para la facilidad de interpretación. El dato de la precipitación útil (mm), que resulta de la resta entre la precipitación y la evapotranspiración potencial.

Los datos de la precipitación útil, tienden a ser similares a las precipitaciones mostradas en la Figura 3, ya que la evapotranspiración potencial (ver Apéndice 3.28), tiene un valor mínimo mensual de 95,19 mm, un máximo de 135,86, por lo tanto, la evapotranspiración potencial media para el periodo desde el año 2008 hasta el 2021 es de 115,50 mm. El año con mayor registro de ETP fue el año 2013 con 1 466,19 mm al año y el de menor ETP fue el año 2020 con 1 230,78 mm al año. Con una media anual de 1 386,03 de ETP en la subcuenca.

La media anual de precipitación útil para el grupo de años del 2008 al 2021, presenta valores negativos, lo cual indica que se tuvo mayores valores de ETP respecto a la precipitación registrada (ver Apéndices 3.29 y 3.30), se realizó el balance hídrico para determinar la evapotranspiración real (ETR), en la subcuenca, considerando los valores de la reserva de humedad del suelo y el excedente, para calcular el déficit hídrico del suelo (ver Apéndices del 3.31 hasta el 3.38). Los valores de ETR son menores que los valores de ETP, se cuenta con un valor promedio como mínimo mensual de 46,21 mm, una media de 97,57 mm y un máximo de 126,42 mm para el periodo desde el año 2008 hasta el 2021.

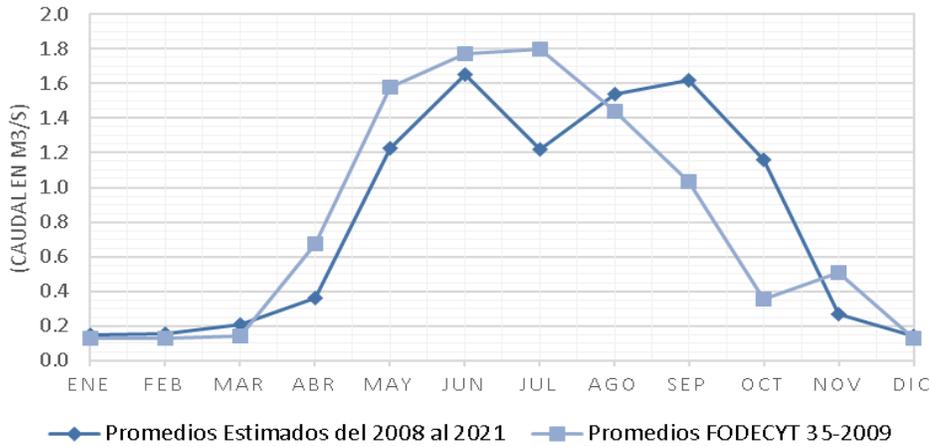
El año con mayor registro de ETR fue el año 2014 con 1 365,40 mm al año y el de menor ETR fue el año 2009 con 939,50 mm al año. Con una media anual de 1 170,79 de ETR en la subcuenca. Al comparar los porcentajes anuales de ETR respecto a los valores anuales de ETP, se tuvo que en los valores mínimos la ETR es el 76.33 % del valor de la ETP, en el caso del valor promedio se tiene que es de un 84.47 % y en los valores máximos es de un 93.13 %. Lo cual demuestra el concepto de que la ETR será una proporción de la ETP, ésta última representa el valor máximo teórico de la evapotranspiración que pueda ocurrir en la subcuenca.

La humedad disponible en la subcuenca está directamente relacionado con los valores de la ETR (ver Apéndice 3.40), ya que los mayores valores se concentran en los meses en los que la ETR se mantiene en valores constantes (mayo a noviembre), con esto se puede estimar también las pérdidas de humedad (ver Apéndices desde el 3.41 hasta el 3.44), en los que se estimó que los meses con mayor pérdida de humedad o que presentan mayor necesidad de riego se encuentra entre los meses de enero y mayo (parte final de la época seca en ciudad de Guatemala).

Los datos de los caudales promedio del río Los Ocotes que se estimaron para el periodo de años de 2008 hasta el 2021, se utilizaron para realizar un hidrograma y así poder relacionarlo con el hidrograma que se obtuvo en el trabajo de FODECYT 035-2009 (ver Figura 8 y Apéndices 2.12 y 2.26). Se obtuvo que para los caudales de la época seca se tienen valores mínimos de caudal muy similares entre ambos hidrogramas. Los valores obtenidos para la época lluviosa se nota una disminución entre los meses de abril y julio, caso contrario en los meses de agosto a octubre. Esto se debe a la cantidad de reserva humedad de la subcuenca, que permite que el caudal promedio aumente en la parte final de la época lluviosa, para ese rango de años analizados.

Para entender a mayor profundidad, lo que sucede en el suelo de la región en la que se ubica el sistema de pozos de agua potable del sistema Canalitos, se realizaron balances hídricos de suelo, que permite determinar valores de las variables relacionadas con la disponibilidad hídrica en los suelos, relacionando de manera directa con la capacidad de infiltración de los mismos. Para conocer los comportamientos de cada año del periodo del 2009 al 2021 (ver Apéndices desde el 4.1 hasta el 4.50). En los que se presenta el balance hídrico de suelos calculado por medio del método de Schosinsky.

Figura 8. **Hidrogramas promedio (m3/s) del río Los Ocotes desde el año 2008 hasta el 2021 y FODECYT 035-2009**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

A partir de los resultados obtenidos se realizó el análisis multianual de cada variable que conforma el balance hídrico de suelos. En el Anexo 2.8, se muestra la precipitación infiltrada en el suelo que conforma la zona de Canalitos (lugar en el que se encuentra el sistema de pozos de agua potable), cuyo suelo tiene un porcentaje de infiltración del 66.79 %, lo que permite determinar que aproximadamente las tres cuartas (3/4) partes de lo que precipita, puede infiltrarse en dichos suelos.

El restante 33.21 % de la precipitación pluvial se convierte en escorrentía superficial (ver Apéndices 4.29 y 4.30), complementando en cierta medida la precipitación total, sin tomar en cuenta todavía la acción de la evapotranspiración real (ver Apéndice 2.9), lo interesante al comparar los valores de evapotranspiración real entre el método de Thornthwaite y el método Schosinsky, es que los valores obtenidos por este último, son en promedio el equivalente al 64.45 % de los valores obtenidos por el método de Thornthwaite.

Se determinó que para el año 2020 la relación de los valores de ETR entre los métodos de Schosinsky y Thornthwaite, tienen su relación con valor mínimo con un 58.39 %. El valor más cercano entre los dos métodos se obtuvo para el año 2009 con un 76.03 % entre los dos métodos, lo cual coincide con el año que tuvo menor cantidad de precipitación pluvial para el periodo de años desde el año 2008 hasta el 2021, en la subcuenca, asimismo su relación con los valores de humedad relativa registrados.

La humedad del suelo final, quedará determinada por la precipitación infiltrada, el valor de capacidad de campo, la evapotranspiración, el punto de marchitez permanente de la planta o cobertura vegetal, es por ello que en los meses de mayor precipitación se tiene mayor humedad de suelo final (ver Apéndices 4.39 y 4.40), debido a la capacidad del suelo para retener la humedad, es decir, al restar los valores de H_{PM} de la H_{CC} .

Es por ello que se tiene mayor humedad acumulada o en reserva para los meses de noviembre y diciembre, disminuyendo para el mes de enero, ya que para ese mes se debe restar la evapotranspiración que se originó desde los meses de noviembre hasta enero en el grupo de años estudiado desde el 2008 hasta el 2021.

La necesidad de riego es un valor que se obtiene al relacionar la precipitación infiltrada, la evapotranspiración potencial y la real, la humedad del suelo inicial y el déficit de capacidad de campo, ya que indica la cantidad de milímetros de agua o láminas de agua necesarios para mantener un balance hídrico en el suelo, lo que indica la cantidad de agua que se puede regar o ingresar al suelo, para que no se llegue al límite del punto de marchitez permanente de la cobertura vegetal.

En el Apéndice 2.10, se evidencia que en los meses que se tiene mayor necesidad de riego, cuentan con valores cercanos a los 325 milímetros en los meses de marzo y abril. Este dato tendrá variaciones según la zona que se analice en la subcuenca, ya que depende de distintos factores climáticos, asimismo del tipo de suelo y cobertura vegetal. Siendo determinantes los datos de capacidad de campo y punto de marchitez, con estos valores se determina la reserva para contrarrestar la evapotranspiración que se origine en dicha zona.

Se tienen valores de déficit cercanos a los 200 milímetros en los meses de marzo y abril (ver Apéndices 4.41 y 4.42), coincidiendo con los últimos meses de la época seca, es decir, con los meses en los que se tiene mayor estrés hídrico en el suelo debido a que se acumula la evapotranspiración de los meses previos en los que no se han tenido valores de precipitación. En el Apéndice 2.11, se presenta la pérdida de humedad mensual, cuyo comportamiento coincide con la necesidad de riego, pero con distintos valores hídricos.

2.2. Geología

La geología es la ciencia que estudia todo lo relacionado con el origen, la formación y la manera en la que ha evolucionado la Tierra a través del tiempo, incluyendo los materiales que la componen, asimismo, también estudia su estructura, para dar respuestas a muchas interrogantes y planteamientos que surgen al momento de iniciar cualquier trabajo relacionado con el suelo, desde sus características físicas hasta sus propiedades mecánicas, para el caso de la ciudad de Guatemala se puede ver en el Anexo 3.1.

En el caso de la geología de la ciudad de Guatemala, se tiene que: bajo el valle de la ciudad de Guatemala ha sido formado como una estructura tipo pull apart basin, delimitado al norte por la falla del Motagua, al sur por la

falla de Jalpatagua y en el centro se ha generado una la zona de distensión que formó la depresión en la que se encuentra la ciudad. (Pérez, 2009, p. 74)

Según advierte Rosito (2010): “La ciudad de Guatemala está formada por rocas ígneas y metamórficas sin dividir. Filitas, esquistos cloríticos y granatíferos, mármol, y migmatitas; también incluye granitos y dioritas, coladas de lava, material lahárico, tobas, rellenos y cubiertas gruesas de cenizas y pumita” (p. 57). En el Anexo 3.2, se tiene el mapa geológico de la subcuenca del río Los Ocotes, en el cual se definen los distintos tipos de suelos y rocas, teniendo un gran porcentaje de rocas piroclásticas en las zonas norte y sur de la subcuenca, se tiene que los piroclastos están de manera superficial, llegando incluso hasta los 200 metros de profundidad aproximadamente, según los perfiles que se muestran en los Anexos 3.3 y 3.4.

En la zona central de la subcuenca se tiene presencia de Riolita, lo cual se puede apreciar también en el perfil litológico de la Figura 9, En la zona central hacia el Este, se tiene la presencia de tobas soldadas vítreas, que son “Flujos de tobas y lavas del Terciarios” (Herrera, 2012, p. 60). Las cuales conforman la mayor parte del acuífero saturado de la subcuenca.

En el Anexo 3.3, se tiene el perfil geológico A- A', el cual atraviesa la parte central hacia el Noreste de la subcuenca, en la cual se tiene mayor presencia de piroclastos en conjunto con andesitas basálticas, que también es una roca ígnea de grano fino, que se distingue del basalto y la andesita por un contenido de sílice de aproximadamente entre el 50 al 57 %. Cabe destacar que la andesita basáltica es común donde la corteza terrestre se está extendiendo, lo cual se puede correlacionarse con la falla que se encuentra previo a la zona con andesitas basálticas en dicho perfil.

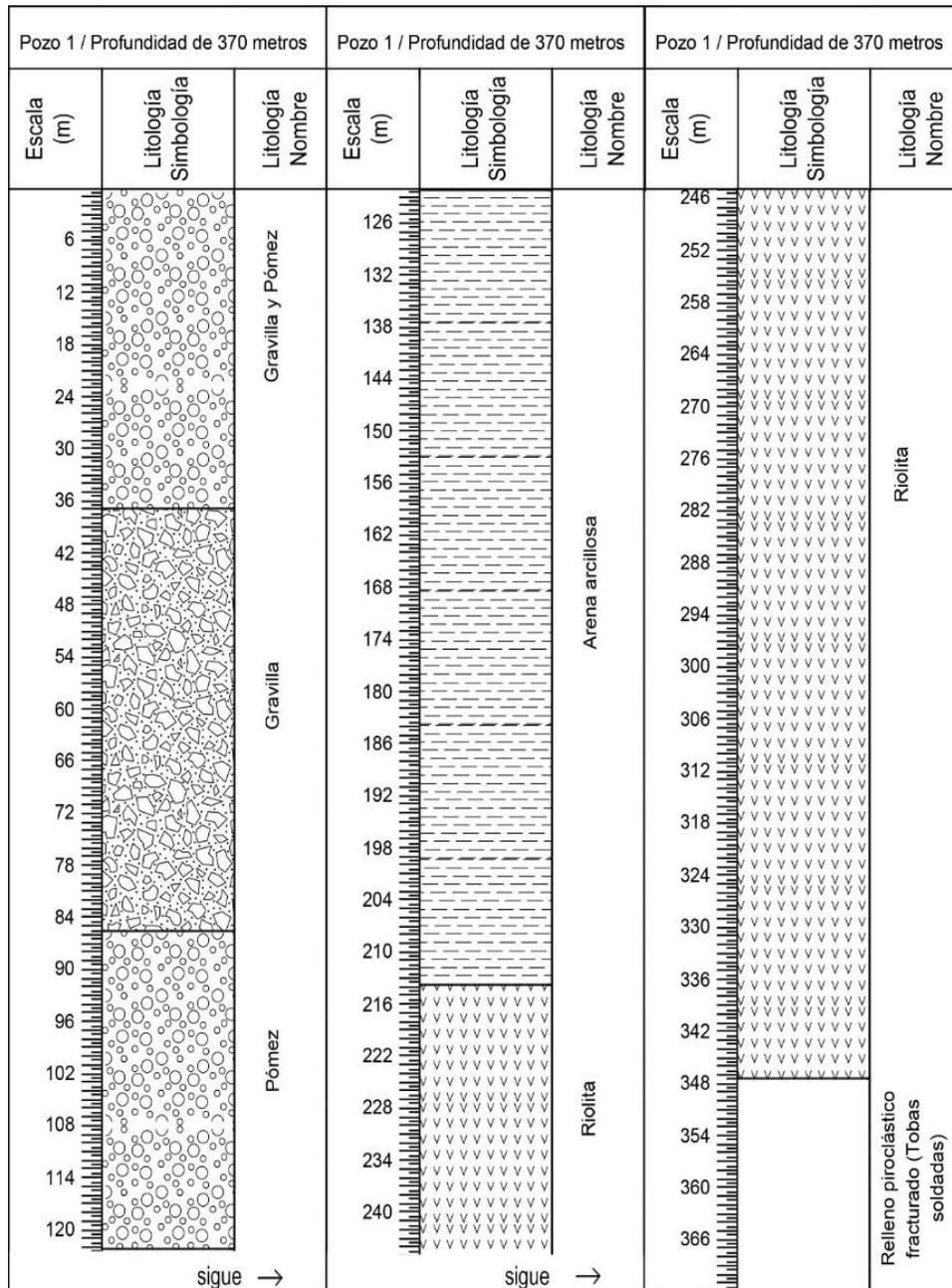
En el Anexo 3.4, se tiene el perfil geológico B-B'', el cual atraviesa desde la parte sureste de la subcuenca hacia el noroeste, en la parte central de la subcuenca se tiene mayor presencia de tobas soldadas (depósito piroclástico consolidado), desde la parte sur, y se tienen los rellenos piroclásticos en la parte norte, son producto de piroclastos de caída, mientras que las tobas son flujos piroclásticos, los cuales pueden extenderse hasta cientos de kilómetros, mientras que los que son de caída suelen desplazarse hasta miles de kilómetros (ver Anexo 3.5).

Los depósitos piroclásticos se forman en erupciones de moderada a alta explosividad, normalmente ligadas a magmas con contenidos intermedios a elevados en sílice. Dependiendo del mecanismo de transporte y emplazamiento, se clasifican en depósitos piroclásticos de caída y depósitos piroclásticos de flujo. (Pérez y Fernandez, 2015, p. 59)

2.2.1. Presentación de resultados

Se tienen los perfiles estratigráficos de los pozos de agua del sistema Canalitos con profundidades que alcanzan hasta los 458 metros de profundidad en uno de los pozos, permitiendo tener información importante para determinar la permeabilidad y conductividad hidráulica de los distintos estratos. En la Figura 9, se muestra el perfil litológico del pozo 1 del sistema de pozos de agua potable de Canalitos. Los otros cinco perfiles se encuentran en los Apéndices desde el 5.1 hasta el 5.5, para evitar saturar de imágenes el cuerpo del presente trabajo.

Figura 9. Perfil litológico del pozo 1 del sistema de pozos de agua potable de Canalitos



Fuente: elaboración propia, realizado con SedLog y con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

2.2.2. Discusión de resultados

Con los resultados que se obtuvieron de los reportes de perforación de los pozos de agua potable del sistema Canalitos, se tiene en profundidades cercanas a la superficie la existencia de gravilla, pómez, arena limosa y en algunos tramos, se tiene la presencia de arcillas, es decir, material muy fino en su granulometría, lo que la hace tener propiedades hidráulicas que no benefician mucho al movimiento del agua a través de dichos estratos, también se evidenció, que a mayor profundidad se encuentran rocas piroclásticas fracturadas, lo que permite una mejoría en el desplazamiento del agua a través de las rocas.

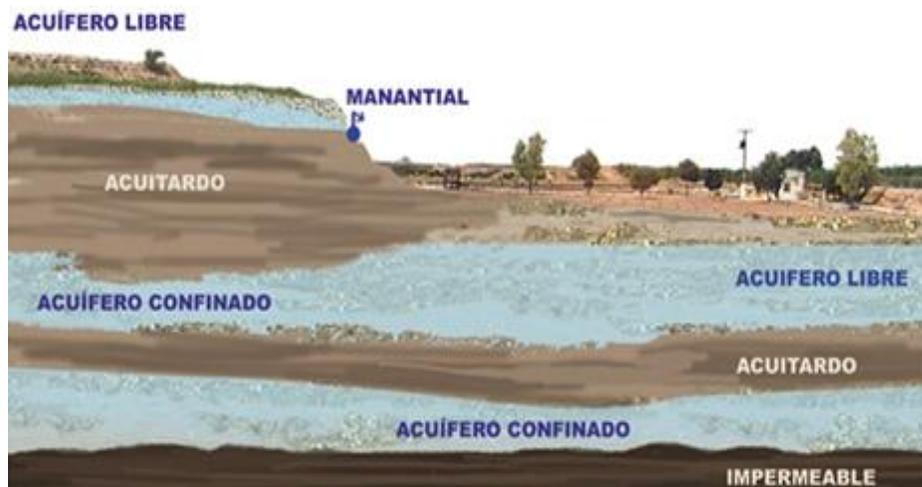
La contaminación del agua superficial que es aportada por ríos intermitentes y permanentes, suele retenerse mayormente en el lecho de dichos ríos, esto es debido al tipo de suelo que se tiene en el acuífero, ya que funcionan como filtros para el agua que es aportada tanto por los cuerpos de agua externos hacia el acuífero y viceversa. Las arenas limosas, limos y arcillas, funcionan como ese filtro necesario para retrasar los efectos de infiltración y dispersión de algunos tipos de contaminación, incluyendo la materia orgánica presente en las aguas superficiales de los ríos de la subcuenca.

En algunos sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario en sus reactores de flujo ascendente, suelen utilizarse rocas volcánicas o elementos de plásticos, en los cuales se adhieren los microorganismos que degradan los contaminantes del agua, logrando también un porcentaje de retención de las partículas en suspensión, presentes en el agua. La mayoría de rocas en el acuífero son de origen volcánico, lo que brinda una pequeña capa de protección ante los contaminantes de materia orgánica.

2.3. Acuíferos

Un acuífero en hidrogeología se define como un volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua, es decir, un reservorio de agua subterránea, desde el cual el ser humano ha extraído el agua para los distintos procesos y actividades antropogénicas, relacionadas con el uso domiciliario e industrial. Existen tres tipos básicos de acuíferos según sus características hidrodinámicas en relación a la accesibilidad que se tenga al agua contenida por los mismos, entre ellos se tienen los acuíferos libres, confinados y semiconfinados.

Figura 10. Tipos de acuíferos según su estructura y funcionamiento



Fuente: Hispagua (2021). *Hidrogeología*. Consultado el 12 de mayo de 2022. Recuperado de <https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>.

Los acuíferos libres son los que tienen el nivel del agua por debajo de la formación permeable superficial, cuando se da el caso de que la línea del nivel freático coincide con la atmósfera, se origina lo que se conoce como manantial o nacimientos, los acuíferos confinados son los que se encuentran cubiertos o

rodeados por capas impermeables, lo que genera valores de presión relativa debida al confinamiento del agua, los acuíferos semiconfinados son similares a los confinados, con la diferencia de que las capas que los rodean no son impermeables y permiten el flujo vertical del agua (ver Figura 10).

También existen formaciones que tienen valores muy bajos de permeabilidad como los acuitardos, usualmente conformados por limos, arenas arcillosas, arcillas, lo cual genera que la conductividad hidráulica sea muy baja, por lo tanto, la velocidad del flujo del agua subterránea también será baja, ya que son variables directamente proporcionales. La dinámica del movimiento de las aguas subterráneas, se puede evidenciar en la siguiente ecuación de la Ley de Darcy:

$$V = K * \frac{H_1 - H_2}{L} \quad \text{(Ecuación 19)}$$

Donde:

- V = es la velocidad del flujo del agua subterránea.
- K = es el coeficiente de permeabilidad.
- H_1 = es la altura mayor en una longitud horizontal determinada.
- H_2 = es la altura menor en una longitud horizontal determinada.
- L = es la longitud horizontal comprendida entre las dos medidas de altura.

La relación entre la diferencia de alturas y la longitud horizontal comprendida entre ambas, se le conoce como gradiente hidráulico, generalmente representado con una letra i , por lo que la ecuación anterior también se puede expresar como sigue:

$$V = K * i \quad \text{(Ecuación 20)}$$

Donde:

- i = es el gradiente hidráulico.

Dentro de las limitaciones de la Ley de Darcy se tiene que la constante de proporcionalidad K , no depende únicamente del medio poroso en el que se realiza el análisis, sino que también depende del fluido que lo atraviesa. Por lo tanto, la otra limitante se debe a que la relación entre el caudal y el gradiente hidráulico (cambio de alturas respecto a longitud horizontal), no es lineal en todo momento, ya que dependerá de los valores que se obtengan de K en los suelos que tienden a ser impermeables y también cuando se tenga la situación contraria y las velocidades de flujo sean muy altas.

La conductividad hidráulica, permite realizar análisis desde distintos puntos de vista, ya que se puede analizar como la capacidad de las rocas de permitir el flujo del agua a través de las mismas o también se puede analizar como la resistencia de las rocas para oponerse al flujo del agua a través de ellas. Todo dependerá del enfoque o paradigma con el que se esté afrontando alguna situación de análisis específica, para obtener los mejores resultados proyectados y resolver un problema o una situación en particular que esté relacionada con el análisis y la gestión de un acuífero.

Se debe tener presente el hecho de que la conductividad hidráulica depende tanto del medio por el cual va a circular un fluido, como también del fluido que estará circulando por dicho medio. Las características físicas y propiedades mecánicas del suelo que tienen incidencia en la conductividad hidráulica se pueden mencionar: el tamaño del grano del suelo (granulometría),

la gradación del suelo, el porcentaje de vacíos, la textura y rugosidad de las partículas del suelo (esto tiene relevancia debido al punto de rocío), la temperatura y asimismo se puede nombrar la temperatura y la viscosidad del fluido que atraviesa a dicho suelo o roca.

Para determinar el valor de la conductividad hidráulica dependiendo del tipo de suelo, se puede obtener mediante ensayos de campo, métodos empíricos y la manera más precisa mediante ensayos de laboratorio. En el Anexo 4.1, se presenta una recopilación de valores de conductividad hidráulica y permeabilidad para distintos tipos de suelos o rocas.

Las formaciones geológicas pueden ser isotrópicas o anisotrópicas, lo cual se puede analizar desde un enfoque tridimensional, así como se realiza el análisis y los estudios de los materiales en el campo de la ingeniería, ya que, dependiendo del material, la forma del material, el equipo utilizado para realizar el ensayo en los materiales, permite determinar la capacidad de los materiales para resistir los distintos esfuerzos o deformaciones a los que se les está sometiendo el material.

Por ejemplo, se asume que el concreto es un material isotrópico ya que sin importar el eje en el que se esté analizando, se tendrá el mismo resultado de resistencia ante los distintos esfuerzos solicitados, lo cual es distinto para el caso de la madera, ya que su resistencia ante el esfuerzo de corte, dependerá de la dirección de las fibras de la madera y la dirección de la aplicación de las cargas respecto a dichas fibras, es decir, si las cargas se aplican de manera paralela o perpendicular a las fibras de la madera, tendrá distintos resultados, manteniendo el mismo material y carga aplicada, cambiando únicamente la dirección de aplicación de la misma.

Con el mismo paradigma de análisis, se puede saber si una formación geológica es isotrópica, cuando sin importar la dirección de medición de la conductividad hidráulica, dicha medida se mantiene constante, caso distinto, si la formación geológica es anisotrópica, ya que tendrá variaciones en el valor de la conductividad hidráulica según la dirección de medición en dicho punto geológico.

Es decir, para formaciones geológicas isotrópicas se tienen valores de K idénticos en los tres ejes dimensionales x, y & z ($K_x = K_y = K_z$). Por lo tanto, en las formaciones geológicas anisotrópicas, se tienen valores de K, distintos entre cada uno de los tres ejes dimensionales ($K_x \neq K_y \neq K_z$).

En el Anexo 4.2, se presentan distintas combinaciones posibles según la homogeneidad o heterogeneidad de una formación geológica y que, a su vez, ambas pueden ser isotrópicas o anisotrópicas. La longitud de las flechas de los vectores de la figura, son proporcionales a los valores de K_x y K_z en los puntos mostrados en sus planos bidireccionales x-z. La variación que puede existir en las posibles combinaciones se debe a la orientación de los minerales contenidos en las arcillas de las rocas sedimentarias y los sedimentos no consolidados presentes en las formaciones geológicas.

Con ese mismo principio se puede analizar la conductividad hidráulica según su variación en las distintas formaciones geológicas anisotrópicas, en la subcuenca del río Los Ocotes, ya que los valores de conductividad hidráulica varían si se tienen datos de manera vertical o de manera horizontal, debido a las formaciones geológicas presentes en la subcuenca. En el caso de la conductividad hidráulica horizontal, suele aumentar la probabilidad de que el valor de K se mantenga en tramos más largos que en los casos de la conductividad vertical, todo dependerá del tipo de formación geológica.

Por lo tanto, en la mayoría de formaciones geológicas, se tendrá un valor de conductividad hidráulica horizontal mayor que la vertical. Ya que se tienen distintos tipos de suelos en cada estrato, según la profundidad que se analice, por lo tanto, se tendrán distintos valores de conductividad hidráulica según el tipo de suelo que conforme dicho estrato.

Al realizar un análisis en dos dimensiones, se puede definir la conductividad hidráulica vertical y la horizontal, para tener una idea de la velocidad del flujo a través de las rocas. Ya que el recorrido del agua de manera vertical, es decir, a favor de la gravedad, mantendrá su valor de K a través de un mismo estrato, pero al llegar a un estrato distinto, tendrá otro valor de K , distinto al anterior.

Se tienen casos en los que la conductividad hidráulica vertical es mayor que la horizontal, se pueden mencionar los suelos loésicos, que suelen presentar fisuras o micro fisuras visibles en los niveles superiores de limos arcillosos. Son de color amarillento y carecen de estratificación, por lo que la gravedad incide en la velocidad del agua de manera vertical, en el caso de que no exista una mayor presión en el sentido horizontal para el flujo del agua. Ya que no se tienen divisiones estratigráficas que limiten el flujo del agua de manera horizontal, es decir, la conductividad hidráulica vertical será mayor.

Para el caso en el que se considere el flujo de manera perpendicular a la estratificación (flujo vertical), se tiene que el caudal específico que entra al sistema debe ser el mismo que sale de este último, también se asume que debe ser constante en un estado natural sin la intervención de las actividades antrópicas. Al considerar las pérdidas de carga de cada capa estratigráfica, se tendría que la pérdida de carga total, sería la suma de cada una de ellas.

Al relacionar la idea anterior con la Ley de Darcy, se puede sustituir los valores de pérdidas referenciadas a su distancia recorrida, para luego obtener el factor común en el numerador y denominador para el caudal específico que entra al sistema y con ello se despeja el valor de la conductividad hidráulica vertical.

$$v = K * i = K_1 * \frac{\Delta h_1}{d_1} = K_2 * \frac{\Delta h_2}{d_2} \dots = K_n * \frac{\Delta h_n}{d_n} = K_v * \frac{\Delta h}{d} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

- v = es el caudal específico que entra al sistema.
- K_v = es el coeficiente de conductividad hidráulica vertical equivalente.
- Δh = es la pérdida de carga hidráulica.
- d = es la distancia vertical del estrato (espesor).

Despejando de la ecuación anterior se tiene:

$$\Delta h = \frac{v*d}{K_v} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Entonces para realizar el análisis para cada uno de los estratos del suelo, se debe tener la sumatoria de cada pérdida de carga y su distancia, por lo tanto, las ecuaciones 20 y 21 se pueden reordenar de la siguiente manera:

$$K_v = \frac{v*d}{\Delta h} = \frac{v*d}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n} = \frac{v*d}{\frac{v*d_1}{K_1} + \frac{v*d_2}{K_2} + \dots + \frac{v*d_n}{K_n}} = \frac{v*d}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{K_i}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Se obtiene el factor común en el numerador y el denominador para el caudal específico que entra al sistema para determinar la conductividad hidráulica vertical. Para la conductividad hidráulica horizontal (paralela a la estratificación horizontal), se debe analizar las pérdidas de carga hidráulica referenciada a una distancia horizontal, por lo que el caudal que pasará a través del sistema de estratos, será la suma de cada uno de los caudales que atraviesa el sistema en sus distintas capas, por lo que se tiene la siguiente ecuación:

$$v = \sum_{i=1}^n \frac{K_i * d_i}{d} * \frac{\Delta h}{l} = K_h * \frac{\Delta h}{l} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

- v = es el caudal específico que entra al sistema.
- K_h = es el coeficiente de conductividad hidráulica horizontal equivalente.
- l = es la distancia horizontal de la formación geológica.

Se obtiene la ecuación que permite calcular el coeficiente de conductividad hidráulica horizontal equivalente:

$$K_h = \sum_{i=1}^n \frac{K_i * d_i}{d} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Para el cálculo de los valores de conductividad hidráulica presentados en la sección de resultados, en la Figura 13, Tablas IX y X, se utilizó cada una de las ecuaciones descritas anteriormente, la información presentada en los resultados mostrados en la Figura 9, Apéndices desde el 5.1 hasta el 5.5 y Anexo 4.1.

Para determinar valores estimados de la conductividad hidráulica vertical y horizontal según los tipos de suelos en sus distintos estratos y así determinar aproximadamente las conductividades hidráulicas que se tienen en el acuífero del sector de Canalitos en la subcuenca del río Los Ocotes.

Para facilitar la visualización e interpretación de los resultados de la Figura 13, se creó un código de colores (ver Tabla VIII), para obtener una idea clara de los valores de conductividad hidráulica estimada que se tienen en el acuífero del sector de Canalitos, de una manera práctica y sencilla, considerando los distintos rangos de conductividad hidráulica asociados al tipo de suelo o roca.

Tabla VIII. **Código de colores para cada rango de valores de conductividad hidráulica (cm/s)**

Código de colores para cada rango de valores de conductividad hidráulica (cm/s)				
Color	Mínimo	Máximo	Permeabilidad	Suelos
	1.00E-01	1.00E+05	Grande	Gravas y gravillas
	1.00E-03	9.90E-02	Media	Arenas
	1.00E-05	9.90E-04	Pequeña	Limos, mezclas de arcillas y arenas
	1.00E-07	9.90E-06	Muy pequeña	Limos, mezclas de arcillas y arenas
	1.00E-11	9.90E-08	Casi impermeable	Arcillas

Fuente: elaboración propia.

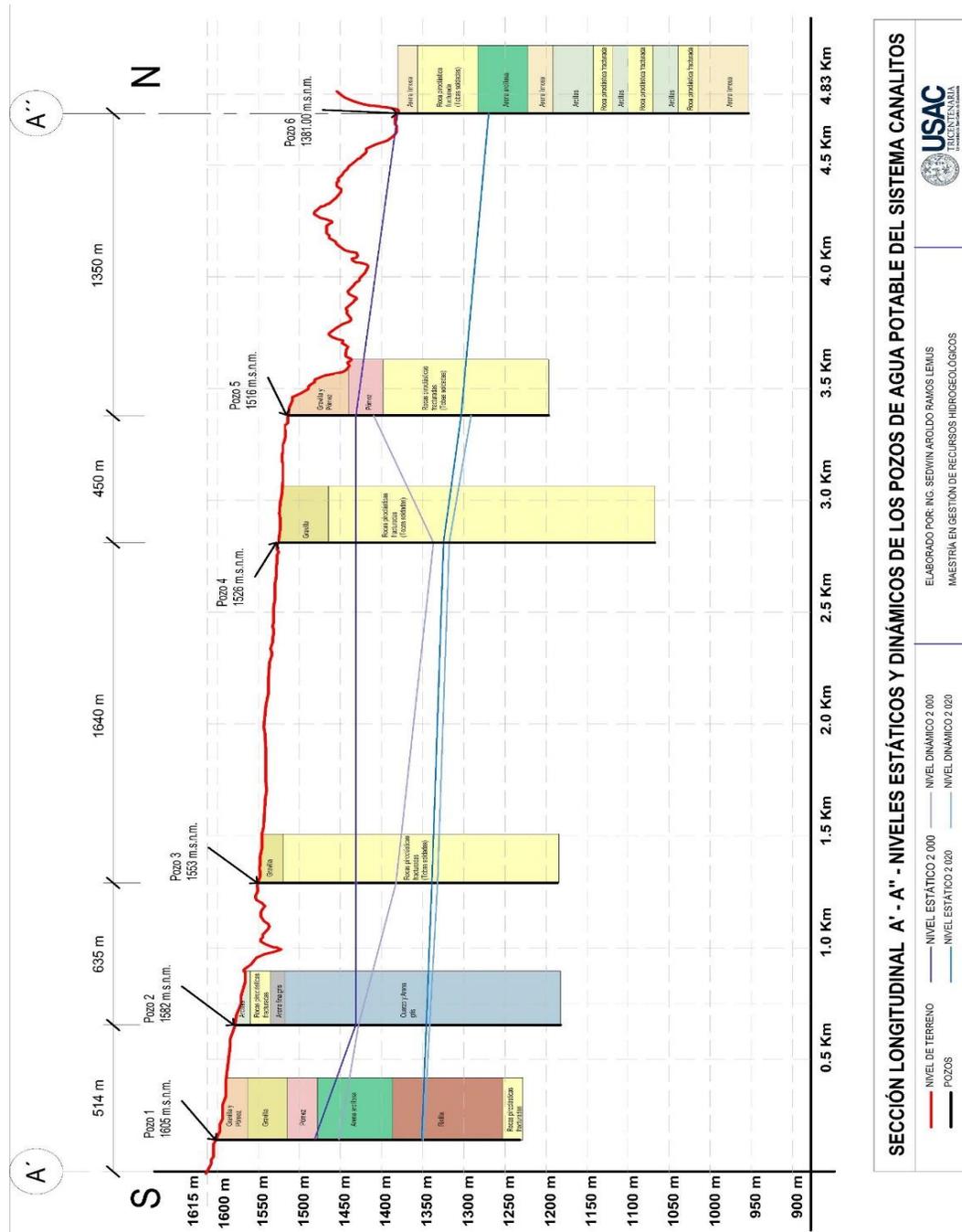
2.3.1. Presentación de resultados

En la Figura 11, se presenta un perfil del sistema de pozos de Canalitos, en el que se colocaron los distintos estratos que conforman a cada uno de los pozos y así obtener una visión general de las características del acuífero que se tiene en la zona. También se colocaron niveles estáticos y dinámicos aproximados, para tener una idea de la variación que éstos tienen a través del tiempo.

En la Figura 12, se presenta un perfil de los pozos, abarcando la ubicación del río Los Ocotes desde la parte alta de la cuenca hasta el punto más bajo, para visualizar la manera en que incide en el sistema de pozos de Canalitos. Delimitando el acuífero con su nivel estático de manera general, conectando con los puntos superficiales de cada río o cuerpo de agua superficial, ya que, para realizar un análisis profundo de las líneas de flujo en toda la subcuenca, se debe analizar el comportamiento de dichas líneas de flujo según la topografía del terreno y los suelos que lo conforman.

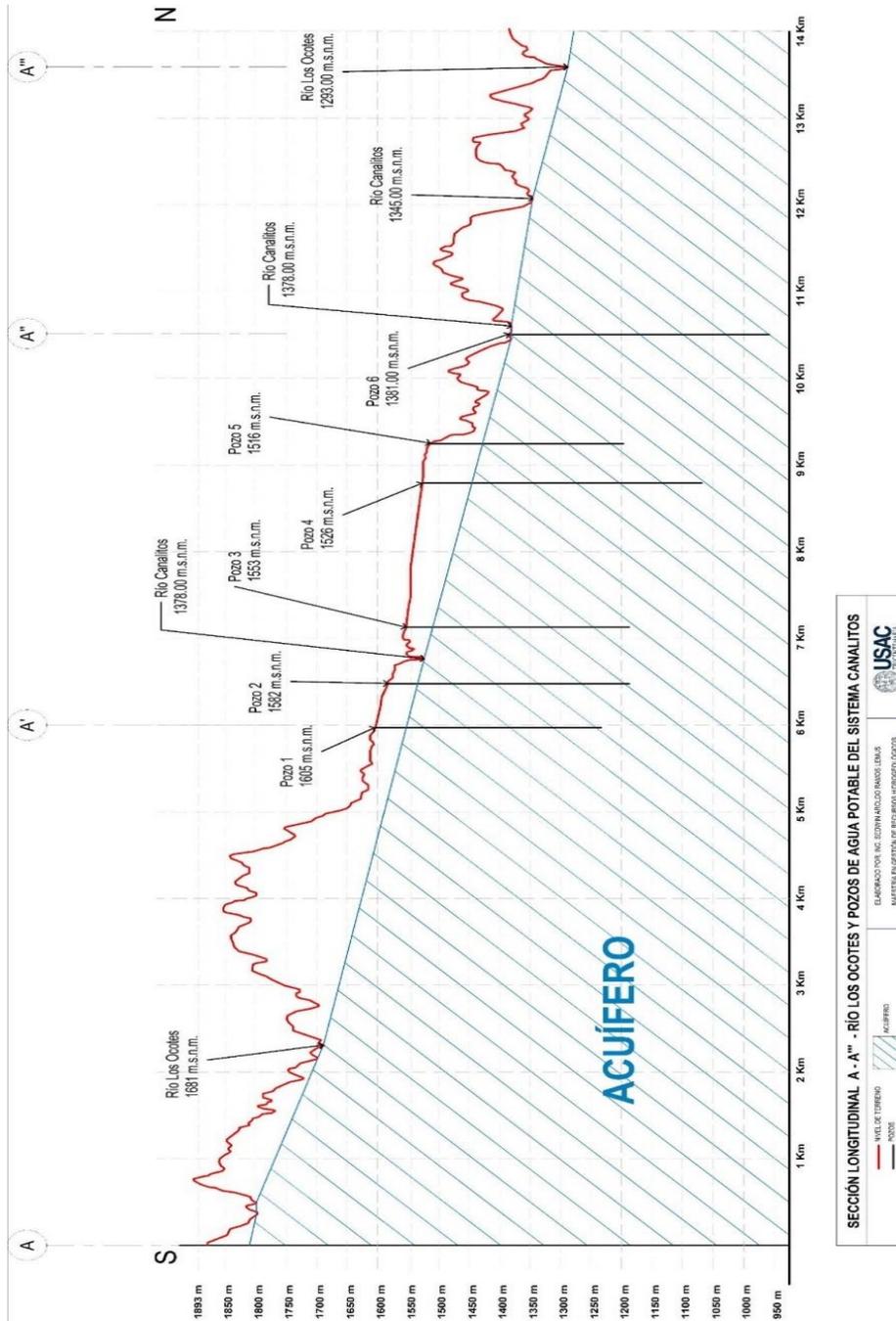
En la Figura 13, se tiene un perfil de conductividades que se realizó a partir de una hoja de Excel, para colocar los distintos rangos de conductividades hidráulicas ponderadas respecto a la profundidad de cada estrato, asimismo, relacionados con la profundidad de cada uno de los pozos que se ubican en el acuífero del sector de Canalitos. Los distintos colores se asocian al código de colores presentado en la Tabla VIII, para asociarlos con sus respectivos rangos. En las Tablas IX y X, se presenta los resultados obtenidos para los distintos valores de conductividad hidráulica, según sus estratos y luego se realiza el análisis de manera global para determinar un valor estimado de conductividad hidráulica de manera general para el acuífero del sector Canalitos.

Figura 11. Perfil A' - A'' del sistema de pozos de Canalitos



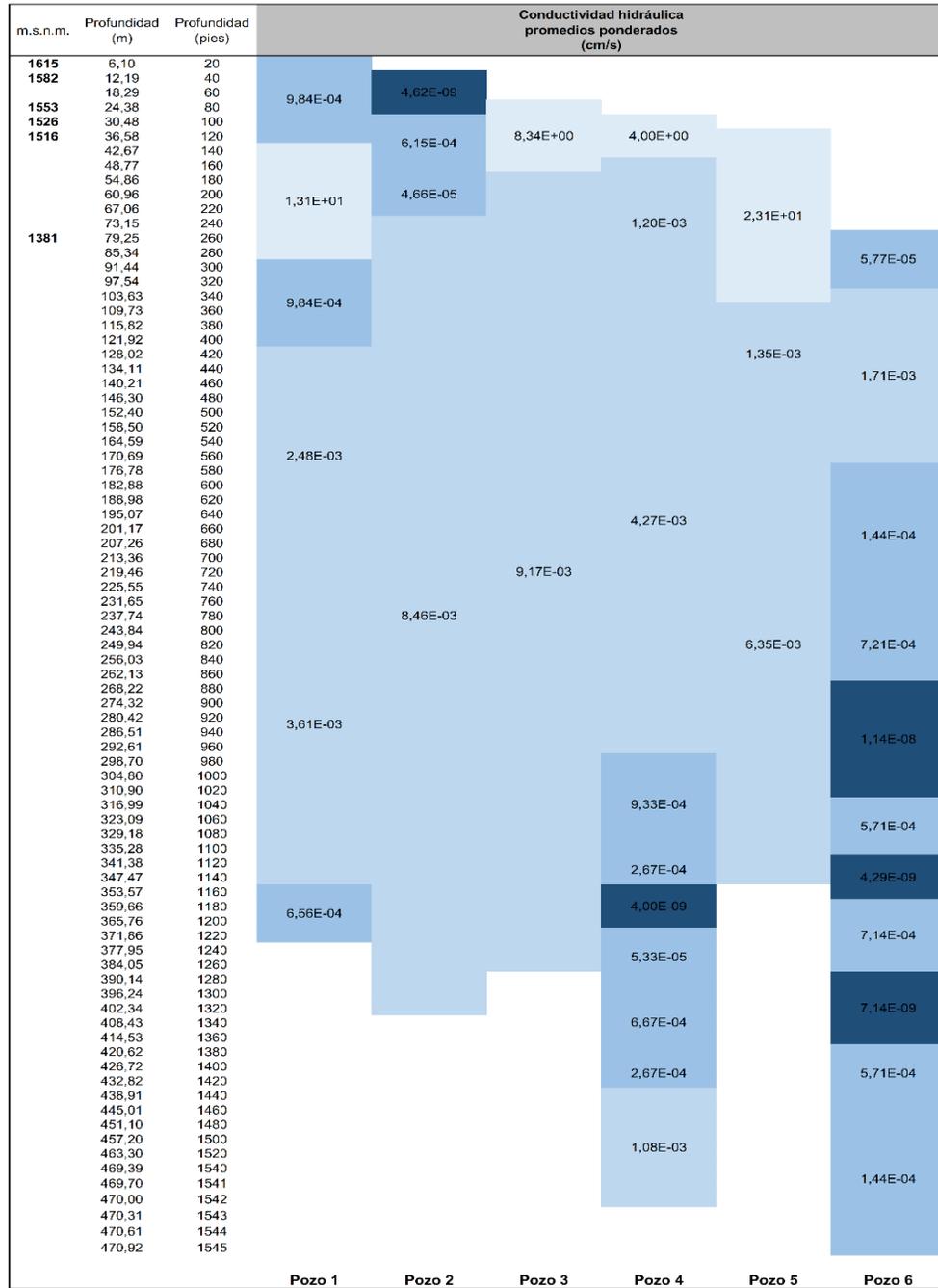
Fuente: elaboración propia, realizado con Revit y datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Figura 12. Perfil A - A''' del sistema de pozos de Canalitos



Fuente: elaboración propia, con Revit y datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Figura 13. **Perfiles de conductividades hidráulicas estimadas en los pozos de agua potable del sistema Canalitos, ciudad de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla IX. **Conductividades hidráulicas ponderadas del sistema de pozos de agua potable de Canalitos, ciudad de Guatemala**

Número de Pozo	Resumen profundidades (m)	Resumen profundidades (pies)	Tipo de roca equivalente	Conductividad hidráulica promedios ponderados (cm/s)	Conductividad hidráulica vertical (cm/s)	Conductividad hidráulica horizontal (cm/s)
1	36.58	120	Rocas piroclásticas fracturadas	9.84E-04	1.22E+05	1.18E-01
	48.77	160	Grava	1.31E+01	1.22E+01	2.10E+03
	36.58	120	Rocas piroclásticas fracturadas	9.84E-04	1.22E+05	1.18E-01
	91.44	300	Arena arcillosa	2.48E-03	1.21E+05	7.45E-01
	134.11	440	Rocas piroclásticas fracturadas	3.61E-03	1.22E+05	1.59E+00
	24.38	80	Rocas piroclásticas fracturadas	6.56E-04	1.22E+05	5.25E-02
Totales Pozo 1	371.86	1220		2.19E+00	2.00E-03	1.72E+00
2	18.29	60	Arcillas	4.62E-09	1.30E+10	2.77E-07
	24.38	80	Rocas piroclásticas fracturadas	6.15E-04	1.30E+05	4.92E-02
	18.29	60	Arena fina, arena limosa	4.66E-05	1.29E+06	2.80E-03
	335.28	1100	Rocas piroclásticas fracturadas	8.46E-03	1.30E+05	9.31E+00
Totales Pozo 2	396.24	1300		2.28E-03	1.00E-07	7.20E-03
3	30.48	100	Grava	8.34E+00	1.20E+01	8.34E+02
	335.28	1100	Rocas piroclásticas fracturadas	9.17E-03	1.20E+05	1.01E+01
Totales Pozo 3	365.76	1200		4.18E+00	1.00E-02	7.04E-01
4	18.29	60	Grava	4.00E+00	1.50E+01	2.40E+02
	54.86	180	Rocas piroclásticas fracturadas	1.20E-03	1.50E+05	2.16E-01
	195.07	640	Rocas piroclásticas fracturadas	4.27E-03	1.50E+05	2.73E+00
	42.67	140	Rocas piroclásticas fracturadas	9.33E-04	1.50E+05	1.31E-01
	12.19	40	Rocas piroclásticas fracturadas	2.67E-04	1.50E+05	1.07E-02
	18.29	60	Rocas piroclásticas fracturadas	4.00E-09	1.50E+10	2.40E-07
	24.38	80	Rocas piroclásticas fracturadas	5.33E-05	1.50E+06	4.27E-03
	30.48	100	Rocas piroclásticas fracturadas	6.67E-04	1.50E+05	6.67E-02
	12.19	40	Rocas piroclásticas fracturadas	2.67E-04	1.50E+05	1.07E-02
	48.77	160	Rocas piroclásticas fracturadas	1.08E-03	1.49E+05	1.72E-01
Totales Pozo 4	457.20	1500		4.01E-01	1.00E-07	1.62E-01
5	73.15	240	Grava	2.31E+01	1.04E+01	5.54E+03
	42.67	140	Rocas piroclásticas fracturadas	1.35E-03	1.04E+05	1.88E-01
	201.17	660	Rocas piroclásticas fracturadas	6.35E-03	1.04E+05	4.19E+00
Totales Pozo 5	316.99	1040		7.70E+00	5.00E-03	5.33E+00
6	24.38	80	Arena fina, arena limosa	5.77E-05	1.39E+06	4.62E-03
	73.15	240	Rocas piroclásticas fracturadas	1.71E-03	1.40E+05	4.11E-01
	60.96	200	Arena fina, arena limosa	1.44E-04	1.39E+06	2.89E-02
	30.48	100	Arena arcillosa	7.21E-04	1.39E+05	7.21E-02
	48.77	160	Arcillas	1.14E-08	1.40E+10	1.83E-06
	24.38	80	Rocas piroclásticas fracturadas	5.71E-04	1.40E+05	4.57E-02
	18.29	60	Arcillas	4.29E-09	1.40E+10	2.57E-07
	30.48	100	Rocas piroclásticas fracturadas	7.14E-04	1.40E+05	7.14E-02
	30.48	100	Arcillas	7.14E-09	1.40E+10	7.14E-07
	24.38	80	Rocas piroclásticas fracturadas	5.71E-04	1.40E+05	4.57E-02
60.96	200	Arena fina, arena limosa	1.44E-04	1.39E+06	2.89E-02	
Totales Pozo 6	426.72	1400		4.22E-04	3.33E-08	5.06E-04

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Conductividades hidráulicas verticales y horizontales ponderadas del sistema de pozos de agua potable de Canalitos, ciudad de Guatemala

Número de Pozo	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del pozo (pies)	Conductividad hidráulica vertical (cm/s)	Conductividad hidráulica horizontal (cm/s)	Conductividad hidráulica promedio ponderado estratos (cm/s)	Conductividad hidráulica promedio ponderado pozos (cm/s)
1	371.86	1220	2.00E-03	1.72E+00	1.72E+00	2.10E+03
2	396.24	1300	1.00E-07	7.20E-03	7.20E-03	9.36E+00
3	365.76	1200	1.00E-02	7.04E-01	7.04E-01	8.44E+02
4	457.20	1500	1.11E-03	1.62E-01	1.62E-01	2.44E+02
5	316.99	1040	5.00E-03	5.33E+00	5.33E+00	5.55E+03
6	426.72	1400	3.33E-08	5.06E-04	5.06E-04	7.09E-01
Totales	2334.77	7660	9.13E-05	3.75E-02	1.32E+00	3.75E-02
Conductividad hidráulica vertical ponderada (cm/s)					9.13E-05	
Conductividad hidráulica vertical ponderada (m/día)					0.08	
Conductividad hidráulica horizontal ponderada (cm/s)					3.75E-02	
Conductividad hidráulica horizontal ponderada (m/día)					32.38	

Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Discusión de resultados

La dirección del flujo del agua subterránea es de sur a norte, con orientación hacia el noreste tal y como se aprecia en el Anexo 4.5. Por lo que la incidencia que tiene el río Los Ocotes en el sistema de pozos de agua potable de Canalitos, se puede evidenciar en el Anexo 4.5 y en las Figuras 11 y 12, ya que se analiza la dirección del flujo desde puntos de mayor presión hacia puntos de menor presión hidráulica.

El acuífero de la subcuenca se encuentra conectado hidráulicamente con los cuerpos de aguas superficiales, debido al tipo de suelos y rocas existentes. Teniendo un valor aproximado en el sector de Canalitos de hasta treinta metros por día, para el flujo horizontal del agua subterránea (ver Tabla X).

Según resultados del trabajo de FODECYT 035-2009, se tiene que la subcuenca del río Los Ocotes, está conformada por un acuífero superior y uno inferior, tal y como se describe a continuación:

El acuífero superior, está constituido esencialmente por depósitos cuaternarios de piroclastos pomáceos compactos hasta suelos, mal clasificados y mal estratificados, en los cuales existen localmente intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres, paleosuelos y pómez. Los mayores espesores de los piroclastos se encuentran en la parte norte y sur de la subcuenca donde generalmente sobrepasan los 100 metros. (Herrera, 2012, p. 66)

Lo cual se puede constatar en los perfiles estratigráficos mostrados en la sección de resultados 2.2.1., en la Figura 9 y Apéndices desde el 5.1 hasta el 5.5, con la profundidad de los pozos y la estratigrafía que los conforma, el sector Canalitos se sitúa en la parte norte de la subcuenca, ya que los espesores de los piroclastos en la mayoría de los puntos superan fácilmente los cien metros.

También se describe que el acuífero superficial tiene “Conexión hidráulica con las corrientes superficiales (ríos y riachuelos), y se ve influenciado por los cambios estacionales, es decir, durante la época seca el nivel estático desciende y en algunos casos los pozos artesanales que lo captan se secan completamente” (Herrera, 2012, p. 66). Eso también sucede con los manantiales que se tienen en distintos puntos del sector de Canalitos.

En el caso del acuífero inferior, está constituido por tobas y lavas, las cuales subyacen al acuífero superior. Las características de permeabilidad alta (porosidad secundaria), fracturación, extensión y espesor, constituye el principal acuífero del área. Se encuentra subreyacido por depósitos

piroclásticos (tefras) que constituyen el acuífero superior y capas de ceniza volcánica y tobas, lo que le da características de semiconfinamiento. El flujo del agua subterránea descarga gran cantidad de agua subterránea a los ríos Las Vacas, Los Ocotes y Teocinte. (Herrera, 2012, p. 66)

En el trabajo de FODECYT 035-2009, se estimó una conductividad hidráulica (K) de 15 m/día, asumiendo un espesor saturado (b) de ochenta (80) metros, ya que la profundidad del estrato considerado era de ciento cincuenta metros de profundidad y el nivel estático de setenta metros de profundidad, de acuerdo al valor de transmisividad de $1,222 \text{ m}^2/\text{día}$, utilizando la relación entre la transmisividad y el espesor saturado. Coeficiente de almacenamiento de $2,6 \times 10^{-2}$. No se evaluaron pruebas de bombeo en el presente trabajo. En el caso de los perfiles estratigráficos, niveles estáticos y dinámicos, en los pozos del sistema Canalitos, se puede llegar a tener un valor máximo aproximado de conductividad hidráulica horizontal de 32 m/día (ver Tabla X).

Esto tiene mayor relevancia en el hecho de que la mayoría de pozos supera los trescientos (300) metros de profundidad, llegando incluso a los cuatrocientos cincuenta y ocho (458) metros de profundidad, lo que indica que los pozos ya se están adentrando en el acuífero inferior en el que se tienen altos índices de fracturación y permeabilidad secundaria, conformando el acuífero principal de la subcuenca. Debido a estos factores se puede establecer que el agua del acuífero en dichas zonas son aguas jóvenes, es decir, que no tienen demasiado tiempo dentro del acuífero para reaccionar a los distintos componentes de los suelos (esto se confirmará en la sección de calidad del agua del presente trabajo).

2.4. El recurso hídrico de la subcuenca

El crecimiento desmedido y desorganizado, ha dejado en manifiesto distintas problemáticas relacionadas con los servicios prestados a las personas que habitan en la ciudad de Guatemala. Las áreas de recarga se han ido obstruyendo a medida en que aumentan las construcciones de obra gris y otras.

En la ciudad de Guatemala muchas zonas boscosas se han reducido y gran parte de la superficie se ha impermeabilizado, reduciendo las áreas de recarga hídrica natural. Sin embargo, la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), menciona que la subcuenca del río Los Ocotes es un área potencial para el aprovechamiento del agua subterránea para la capital, con buena cobertura forestal que garantiza el proceso de infiltración de la lluvia, para que el almacenamiento del acuífero se mantenga en equilibrio y la explotación del agua sea sostenible. (Herrera, 2016, p. 18)

Morales (2012) explica que en dicha subcuenca se tienen 10 pozos para extraer agua, como parte del programa EMERGENCIA I de la Empresa Municipal de Agua de Guatemala (EMPAGUA). Pero por diversas situaciones y complicaciones, varios de los pozos dejaron de funcionar. Por lo tanto, quedaron funcionando muy pocos pozos de EMPAGUA en el sector. En dicho trabajo se presentó un perfil de los pozos de la subcuenca del río Los Ocotes (ver Anexo 4.3).

Estos pozos están ubicados en dicha subcuenca, la cual pertenece a la cuenca que contiene al río Motagua y éste a su vez conforma a la vertiente del Atlántico, “La Cuenca del río Motagua en la vertiente del Atlántico comprende tres subcuencas siendo la subcuenca del río Los Ocotes, Los Vados, y Las Vacas... su precipitación media anual (P) es de: 1 287 mm/año” (Morales, 2012, p. 25).

Entre los pozos del sistema Canalitos, se tiene que, de los 10 pozos existentes, están ubicados, tal y como sigue:

Ocho se ubican entre el pozo de investigación Hacienda Real y el Jagüey. Los dos restantes, se ubican aguas abajo del pozo de investigación El Jagüey. Es un sector considerado geológica e hidrogeológicamente, como el más favorable de la zona de canalitos ubicados en la cuenca del río Los Ocotes. El diámetro interno de la tubería de revestimiento y rejillas de los pozos de explotación es de 12 pulgadas de diámetro. (Morales, 2012, p. 35)

2.4.1. Presentación de resultados

En general, el acuífero de la subcuenca tiene buenas características hidrogeológicas, para poder aprovechar el uso del agua subterránea, siempre en cuanto, se tenga un plan de gestión integral, para lograr mantener la cantidad de agua que permita abastecer a la población. En el Anexo 4.4, se describe la conformación del acuífero, que está formado principalmente por rocas calizas del cretácico y rellenos piroclásticos. Los pozos del sistema Canalitos tienen profundidades variables, y en su mayoría tienen un diámetro interno en común de doce pulgadas.

El sector Canalitos presenta profundidades en los pozos que oscilan entre los 300 m a 530 m. El análisis de la variación de los niveles freáticos es de 11 metros promedio aproximadamente por año. Respecto al análisis de extracción, se realizó con base en la recopilación de datos registrados, que van desde 4 a 10 años, determinando que el caudal promedio extraído es de 485 galones por cada minuto. (Morales, 2012, p. 49)

En los últimos 20 años se ha tenido un descenso anual promedio de 5,5 metros del nivel estático y 4,0 metros del nivel dinámico en los pozos de agua potable del sistema Canalitos. “Los pozos que se muestran en el Anexo 4.5, tienen profundidades de hasta 427 metros, teniendo los pozos de EMPAGUA profundidades alrededor de los 400 metros, con niveles estáticos de más de 100 m en Canalitos” (Herrera, 2012, p. 69). En la Figura 11, se tiene el perfil de los pozos del sistema Canalitos con los niveles estáticos y dinámicos aproximados para un periodo de veinte años, en los que se tiene una diferencia de niveles estáticos máximo de ciento treinta (130) metros y un mínimo de noventa y ocho (98) metros.

Los pozos identificados (Anexo 4.5) presentan profundidades de 91 hasta 427 metros, teniendo los pozos de EMPAGUA profundidades alrededor de los 400 metros, con niveles estáticos de más de 100 m en Canalitos y más de 200 m en Hacienda Real (zona 17). La explotación del agua subterránea en la subcuenca por medio de pozos mecánicos oscila entre 5 a 43 litros por segundo por pozo, con un promedio de 20 L/s, de acuerdo al uso del pozo, siendo principalmente para agua potable. Los bombeos en los pozos de EMPAGUA son continuos, en la mayoría de casos trabajan 24 horas por día. (Herrera, 2012, p. 69)

En los últimos años, se ha tenido un promedio de caudal extraído por pozo de 25 L/s, en periodos de operación continuos, generando una producción diaria promedio de 2 057 metros cúbicos. “La velocidad de descenso en promedio para el nivel freático de los sectores es: Lavarreda Rodeo 8 metros al año; Vista Hermosa y Canalitos 11 m/año; para Norte 7 m/año; para los cuatro sectores es un promedio de 9 m/año” (Morales, 2012, p. 51).

En el Anexo 4.5, se tienen los pozos analizados en el trabajo de FODECYT 035-2009, la dirección del flujo de las aguas subterráneas del acuífero coincide con la dirección del flujo de los cuerpos de agua superficiales, teniendo una orientación desde el sur hacia el norte, con una tendencia hacia el este de la subcuenca, debido a la conexión hidráulica que existe en el medio fracturado del acuífero.

2.4.2. Discusión de resultados

El caudal de producción diario de los pozos del sistema Canalitos se ha mantenido en el orden de los veinte o más litros por segundo, pero sin excederse de los cuarenta y cinco litros por segundo. Lo que ha provocado el descenso de hasta ciento treinta metros en los niveles estáticos a lo largo de veinte años de registro, el pozo que ha presentado un menor abatimiento ha sido por una cantidad de noventa y ocho metros, lo que en promedio se registró un descenso de 5,5 metros anuales del nivel estático y 4,0 metros del nivel dinámico. Esto también se muestra de manera aproximada en la Figura 11, para los pozos del sistema Canalitos.

Debido al tipo de roca que se tiene a profundidades mayores de ciento cincuenta metros, que suelen ser rocas piroclásticas fracturadas (tefras), se tiene altos porcentajes de agrietamiento o permeabilidad secundaria, lo que se traduce en valores altos de conductividad hidráulica horizontal. Esto indica que el agua que ingresa al acuífero no se mantiene mucho tiempo en contacto con los distintos tipos de suelos, rocas y minerales presentes en el acuífero. Es por ello que las aguas subterráneas tendrán las características de ser aguas jóvenes.

En los Apéndices 6.1 y 6.2, se presenta el resultado de la humedad disponible en el sector de Canalitos, los cuales tienen los valores que rondan los 500 mm, debido a la capacidad de campo que tienen los suelos del sector, el cual es de 540,23 mm y su punto de marchitez de 331,38 mm, generando un almacenamiento como factor de seguridad equivalente a los 208,85 mm. La humedad disponible resulta de la sumatoria entre la humedad inicial y la precipitación infiltrada, para después restar el valor del punto de marchitez. Ya que es el agua que la cobertura vegetal necesita para no morir.

Los valores más altos de la humedad disponible en el suelo, se tiene entre los meses de mayo a diciembre en el conjunto de años analizados desde el 2008 hasta el 2021. Esta información es determinante para la humedad del suelo final, que se observa en los Apéndices 6.4 y 6.5, ya que ésta última será igual a la capacidad de campo, siempre en cuanto, se reste el valor de la evapotranspiración real (ver Apéndice 6.3) y al sumar el valor del punto de marchitez, genere un resultado mayor al de capacidad de campo. Ya que el suelo, por más cantidad de agua que ingrese, no podrá retener más de lo que tiene como capacidad de campo, ese excedente pasará como cantidad de agua de recarga para el acuífero.

Es por ello que en los Apéndices 4.39 y 4.40, se observa que los valores máximos de la humedad de suelo final, se concentran en los meses de junio hasta octubre, los cuales son los que presentan mayor cantidad de precipitación pluvial en el año hidrológico, ya que el suelo se encuentra en su máximo de capacidad de retención de agua. El excedente formará parte de la escorrentía superficial y lo demás formará parte de la recarga del acuífero. El año con mayor humedad de suelo final, fue el año 2021 con 5 512,884 mm y el promedio anual fue de 5 359,08 mm de humedad final en los balances hídricos de suelos.

Es importante considerar todo lo anterior ya que a pesar de que el suelo tenga buena capacidad de campo, no puede ayudar al proceso de recarga hídrica del acuífero, si al final la mayor parte de la superficie es impermeabilizada por las obras de construcción del ser humano, sin considerar la importancia y el impacto que tienen las zonas de recarga para tener mayor cantidad de recurso hídrico en la zona del sector de Canalitos, es por ello que las zonas boscosas de la subcuenca tienen gran importancia en el tema de la recarga hídrica de manera natural y artificial.

2.5. Zonas de recarga hídrica

Las zonas de recarga hídrica son aquellas que permiten que el agua pueda infiltrarse para luego realizar el proceso de percolación hacia capas de suelo más profundas y así permita el proceso de recarga hídrica del acuífero. Regularmente son zonas de la cuenca que tienen buenos valores de conductividad hidráulica debido al tipo de suelo, su granulometría, el porcentaje de vacíos, la textura y rugosidad de las partículas del suelo, que permitan tener una mayor velocidad de saturación de dichas partículas y un aumento en su porosidad intergranular, lo cual beneficia al flujo de agua que atraviesa a dicho suelo o roca, asimismo tiene gran importancia la topografía, las pendientes del suelo y su cobertura vegetal, para contribuir a la recarga del acuífero.

Ya que la velocidad de infiltración depende de las características endógenas del suelo, se debe considerar el tiempo de contacto que tendrá el agua superficial en el suelo, es decir, depende de las pendientes que el suelo tenga, para determinar la velocidad del flujo superficial y el tirante hidráulico que pueda desarrollar el agua de escorrentía.

Por lo tanto, al contar con pendientes más pronunciadas, el tirante del agua será menor y la velocidad del flujo superficial será muy alta, lo que se traduce a un menor tiempo de contacto con el suelo, lo cual no favorece mucho al proceso de infiltración.

Es entonces cuando cobra importancia el tipo de cobertura vegetal que tenga el suelo. Ya que la cobertura vegetal tiende a disminuir el impacto de las gotas de precipitación pluvial, el cual es proporcional a la energía potencial de la misma. Dicho impacto es uno de los principales factores que generan los efectos de erosión en suelos que no cuentan con suficiente cobertura vegetal. Asimismo, la cobertura vegetal puede retener por un tiempo la escorrentía superficial, permitiendo que se acumule en pequeñas cantidades y pueda llevarse a cabo el proceso de infiltración en las capas superficiales del suelo que posean características físicas y propiedades mecánicas que favorezcan a dicho proceso.

En el caso de la subcuenca se tiene una configuración de suelos y rocas que presentan características de permeabilidad secundaria. Esto permite que el agua pueda atravesar el subsuelo en intervalos de tiempos relativamente cortos, comparado con las formaciones geológicas que se encuentran más consolidados o compactas presentando bajos valores de conductividad hidráulica (ver Tabla XI). Herrera (2018) explica que el fallamiento en el área es muy importante, ya que las rocas volcánicas y carbonatadas están altamente fracturadas, formando un medio fisurado por donde circula el agua subterránea.

Los datos que se obtienen respecto a la vegetación de la subcuenca, tienden a ser favorable para la recarga del acuífero, entre tasas intermedias a bajas, debido al tipo de suelo y la topografía del mismo. Lo que afecta a la tasa de infiltración en los suelos, asimismo la cobertura vegetal. En la Tabla XII, se tienen distintos valores de láminas de recarga según la unidad geomorfológica.

Las láminas de recarga son menores en la unidad de relleno piroclástico, donde se obtuvieron valores de 44 mm/año para pasto y de 34 mm/año para cultivos. Las profundidades de las raíces de 0.40 m para áreas con maíz, 0.20 m para áreas con pastos, mientras que las áreas con bosque tienen una profundidad de raíces de aproximadamente 1.5 m. (Herrera, 2016, p. 24)

Tabla XI. Características físicas de suelos e infiltraciones de la subcuenca del río Los Ocotes

No	Lugar	Unidad Geomorfológica	Coordenadas			Uso del suelo	Prof. raíces cm	Infiltración		Textura	Densidad gr/cc	% Humedad		Arcilla %	Limo %	Arena %
			Latitud	Longitud	Latitud			cm/hr	mm/día			1/3 Atm	15 Atm			
1	Canalitos	Relleno Piroclástico	1,618.75	774.369	560	Bosque	1500	2.67	640.29	Franco Arcilloso	1.08	29.01	22.54	37.77	21.71	58.55

Fuente: elaboración propia, con datos del Proyecto FODECYT 035-2009.

Tabla XII. Datos de recarga hídrica de la subcuenca del río Los Ocotes

No.	Unidad geomorfológica	Cobertura	Lámina de recarga (m)	Área (km ²)	Volumen de recarga (x10 ⁶ m ³)	Recarga específica (m ³ /km ²)
1	Montañas Volcánicas	Bosque	0.124	24.0812	2.995	124,390
2	Montañas Volcánicas	Cultivos	0.069	9.6848	0.672	69,430
3	Montañas Volcánicas	Pastos	0.074	0.455	0.033	73,600
4	Montañas Volcánicas	Poblados	0.000	1.83654	0	0
5	Relleno Piroclástico	Poblados	0.000	6.3794	0	0
6	Relleno Piroclástico	Cultivos	0.034	1.54605	0.053	34,170
7	Relleno Piroclástico	Pastos	0.044	0.891	0.039	44,290
8	Relleno Piroclástico	Bosque	0.031	12.3345	0.386	31,320
9	Valle Tectónico	Poblados	0.000	3.995	0	0
10	Valle Tectónico	Bosque	0.000	2.3986	0	0
Total =				63.6021	4.18	

Fuente: Herrera (2016). *La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala.*

En la Tabla XII, se presentan las características físicas de suelos e infiltración de la subcuenca. Se identifica el relleno piroclástico para el sector de Canalitos, con una textura franco arcilloso, para el suelo superficial, siendo esta la primera en tener contacto con la precipitación pluvial. Esto indica que es una superficie con poca capacidad de infiltración y que las tasas de infiltración más altas se encuentran a mayor profundidad. “En las áreas de relleno piroclástico con bosque, las láminas de recarga son 31 mm/año. Una situación similar se presenta en la unidad de montañas volcánicas con pasto y cultivo, con láminas de recarga de 74 y 69 mm/año respectivamente” (Herrera, 2016, p. 24).

En las áreas de recarga hídrica de la subcuenca, se tiene una “Categorización de los resultados basándose en volumen de recarga hídrica específica anual, de las diez unidades, ninguna se clasifica como altas áreas de recarga hídrica, debido a que no presentan volúmenes de recarga hídrica entre 150,000 a 300,000 m³/km²” (Herrera, 2012, p. 109).

2.5.1. Presentación de resultados

Los resultados relacionados a la recarga hídrica se encuentran en la sección de Apéndices desde el 7.1 hasta el 7.8, para evitar saturar de gráficas y tablas, el cuerpo del presente trabajo.

2.5.2. Discusión de resultados

En los Apéndices 7.1 y 7.2, se presentan los valores de humedad del suelo inicial, los cuales tienen como máximo el valor de la capacidad de campo del suelo, la cantidad de agua excedente formará parte de la escorrentía y lo que logrará infiltrarse para formar parte de la recarga del acuífero.

El año que presentó mayores valores de humedad inicial fue el año 2021 con 5 537,28 mm y el promedio para todo el grupo de años fue de 5 375,72 mm de humedad inicial en los balances hídricos de suelos.

En los Apéndices 7.3 y 7.4, se tienen los valores de déficit de capacidad de campo, que consisten en la resta entre la capacidad de campo y la humedad del suelo final del siguiente mes, lo cual nos indica la cantidad de agua que se necesita para que el suelo tenga el máximo de agua que puede contener, con valores cercanos a los 200 mm de agua. Es por ello que sus valores descienden entre los meses de mayo a octubre, debido a la mayor presencia de precipitación pluvial. El año que presentó el mayor déficit de capacidad de campo anual, fue el 2016 con 1 397,15 mm, el año de menor déficit fue el 2021 con 969,86 mm.

La recarga potencial (ver Apéndice 7.5), es la cantidad de agua que le hace falta al suelo para estar a su máxima capacidad de almacenamiento, para que así el excedente de agua que logre infiltrarse, pase a formar parte de la recarga hídrica del acuífero. Lo que genera una necesidad de riego, para poder suplir esa cantidad de agua necesaria para estar con la totalidad de la capacidad de campo (ver Apéndice 7.6), en los meses de diciembre hasta abril, se presentan valores mínimos de recarga potencial, ya que hace falta la condición de saturación del suelo. Es decir, el agua que se infiltra, aportará primero la cantidad de agua necesaria para llegar al valor de la CC. Los valores de NR en esos meses pueden alcanzar hasta los 300 mm de agua.

En los Apéndices 7.7 y 7.8, se presenta la pérdida de humedad al mes, la cual será mayor en los meses de diciembre hasta abril, coincidiendo con los meses en los que se presentan los mayores valores de evapotranspiración real, lo cual es peligroso para la cobertura vegetal, en los casos en los que se llegue a tener menor cantidad de agua que el valor del punto de marchitez que

corresponde a cada tipo de planta. Con ello se genera aún más necesidad de riego, lo que se traduce a una mayor necesidad de implementar programas de gestión del recurso hídrico, para favorecer en mayor medida a la recarga hídrica del acuífero.

El año que presentó mayor necesidad de riego anual, fue el año 2016 con 2 173,21 mm y un promedio de 1 758,79 mm para el resto de años. Coincidiendo con el año 2016 en el que se tuvo la mayor pérdida de humedad anual de 1 397,15 mm, cuando los demás años promediaron 1 126,62 mm de pérdida de humedad anual.

Los valores mínimos se presentaron en el año 2021 con un equivalente a 969,86 mm de pérdida de humedad anual. Es de vital importancia gestionar correctamente el recurso hídrico de la subcuenca, conociendo las tendencias de la variación climática considerando todos y cada uno de sus factores, para poder generar modelos que permitan predecir el comportamiento del flujo del agua subterránea en la subcuenca.

3. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua subterránea es condicionada por el tipo de rocas con la que tenga contacto y la temporalidad de dicho contacto, ya que una de las características principales del agua es la de ser un excelente solvente, por lo tanto, tendrá las características del entorno en el que se encuentre para poder realizar lazos de hidrógeno con las moléculas que posean polaridad. Esto quiere decir que, si en el entorno en el que se encuentra el agua, existe algún tipo de contaminante, se tiene una probabilidad muy alta de que el agua también adquiera las propiedades de dicha contaminación.

A nivel mundial se tiene un aumento progresivo del uso de aguas subterráneas para abastecer a la población en general, asimismo, se abastece también todas aquellas actividades antropogénicas, en la que se genera una huella hídrica, con sus respectivos impactos al medio ambiente. Debido al origen subsuperficial de las aguas, se tendrán distintas calidades del agua según el uso que se le quiera dar luego de ser extraída. Ya que puede ser para consumo humano, riego, industrias, comercios, turismo y otros.

Todas las actividades antrópicas irán aumentando conforme aumente la población mundial, por lo tanto, al tenerse una problemática común a escala mundial, deben crearse e implementarse estrategias que abarquen a todos y cada uno de los actores involucrados en el uso del agua. Iniciando a una escala local, para tener impacto a una escala regional, posteriormente se tendrá una mejora en el manejo del recurso hídrico a nivel nacional y en conjunto lograr resultados a nivel mundial.

Todas las actividades antropogénicas se desarrollaron de una manera más rápida que la que el ambiente puede absorber fácilmente. Como se muestra en el esquema del Anexo 5.1. Freeze y Cherry (1979) explican que no existen métodos de eliminación de residuos sin efectos potenciales de contaminación grave de alguna parte del entorno natural.

Dos de las técnicas de eliminación de desechos que se están utilizando actualmente, y que se ven con mayor optimismo para el futuro, son la inyección profunda de residuos líquidos y el relleno sanitario de desechos sólidos. Ambas técnicas pueden producir contaminación subsuperficial. Además, la contaminación subsuperficial puede producirse por fugas de estanques y lagunas que son ampliamente utilizados como componentes de sistemas de eliminación de desechos, y por lixiviación de desechos de animales, fertilizantes y pesticidas desde suelos agrícolas. (Freeze y Cherry, 1979, p. 8)

3.1. Componentes mayoritarios

Las aguas naturales, al estar en contacto con diferentes ambientales, incorporan parte de los mismos por disolución o arrastre, o incluso, en el caso de ciertos gases, por intercambio. A esto es preciso unir la existencia de un gran número de seres vivos en el medio acuático que interrelacionan con el mismo mediante diferentes procesos biológicos en los que se consumen y desprenden distintas sustancias.

Esto hace que las aguas dulces pueden presentar un elevado número de sustancias en su composición química natural, dependiendo de diversos factores tales como las características de los suelos con los que el agua tiene contacto durante su recorrido, las concentraciones de gases disueltos y otros.

Entre los compuestos más comunes que se pueden encontrar en las aguas dulces están: como constituyentes mayoritarios los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos.

Asimismo, se tienen los parámetros de la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la dureza del agua, la alcalinidad, el oxígeno disuelto, nitratos y nitritos, el amoníaco y otros. Dichos componentes, suelen ser beneficiosos para la nutrición humana, siempre en cuanto se encuentren en las dosis bajas recomendadas para el consumo humano, lo cual puede ser contraproducente para la salud, cuando estos límites excedan lo permisible para el consumo humano.

Asimismo, estos componentes suelen ser el níquel, bario o sodio, zinc, molibdeno, arsénico, cromo, selenio y el cobre. Todos estos componentes suelen estar presentes en las aguas superficiales y subterráneas.

Se denomina alta presencia de la especie iónica mayor a la especie iónica que se encuentra en concentraciones mayores a 1,0 mg/L, por lo general se agrupan según su carga, ya sea positiva o negativa, en el caso de los iones con carga positiva se les denominan cationes y a los negativos se les denomina aniones. Se encuentran en mayores concentraciones en el agua debido a su alta movilidad química, que se debe a la alta solubilidad, gran tendencia a la adsorción, alta capacidad de intercambio iónico y su abundancia relativa en el ambiente, entre los principales se tiene:

Los cationes: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} / Los aniones: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-

3.2. Componentes minoritarios

Como constituyentes minoritarios los fosfatos y silicatos, metales como elementos traza y gases disueltos como oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. Por lo general los constituyentes minoritarios son aquellos que se encuentran en concentraciones comprendidas entre 0,1 mg/L y 1,0 mg/L. Usualmente corresponden a las especies iónicas del hierro, manganeso, flúor y Boro. La composición química natural de las aguas suele ser alterada o modificada por actividades antrópicas y antropogénicas.

Suele suceder por medio de vertidos de aguas residuales o debido al paso de las aguas por suelos que han sido tratados con productos agroquímicos o contaminados. Lo cual causa cambios que degradan la calidad del agua, lo que se traduce en problemas para toda la biota que conforma los distintos cuerpos de agua, alterando los ecosistemas acuáticos y a su vez genera mayores costes en el tratamiento de dichas aguas. En el caso del agua de lluvia generalmente se tienen los siguientes componentes:

- Los cationes: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}
- Los aniones: HCO_3^- , Cl^- , Br^- , I^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-}
- Y dióxido de carbono, oxígeno, ozono, nitrógeno, argón, entre otros.

Las aguas contaminadas presentan compuestos diversos en función de su procedencia: pesticidas, tenso activos, fenoles, aceites y grasas, metales pesados, entre otros. La composición específica de un agua determinada influye en propiedades físicas tales como densidad, tensión de vapor, viscosidad y conductividad eléctrica.

3.3. Análisis fisicoquímicos

El análisis fisicoquímico permite conocer los componentes que contiene el agua que se desea analizar. El análisis estará condicionado a partir del tipo de uso que se le dará al agua, es decir, puede ser para consumo humano, para riego, para recarga hídrica, para reúso y otras actividades. En el caso de Guatemala, se cuenta con la Norma Técnica Guatemalteca NTG 29001, que incluye las especificaciones que deberá cumplir el agua para que sea apta para el consumo humano.

El alcance que tiene la NTG 29001, esta se aplica a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, etc. El agua podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos. Se excluyen a las aguas purificadas envasadas y aguas carbonatadas, las cuales son cubiertas por normas específicas. (COGUANOR NTG 29001, 1999, p. 4)

En el caso de las características físicas y organolépticas (ver Anexo 5.2), se tienen las especificaciones para que el agua sea apta para el consumo humano. En el caso de las características químicas del agua y la relación de sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud, se tienen las especificaciones mostradas en el Anexo 5.3 y 5.4. También existen normas a consultar tales como la COGUANOR NGO 4010. Sistema Internacional de Unidades (SI) y la COGUANOR NGO 29 018 h21. Agua. Prueba de sustrato enzimático para determinación de coliformes totales y *Escherichia coli*.

En el caso de la calidad del agua de los ríos de Guatemala, el INSIVUMEH, mantiene a partir del año 2021, la valoración de calidad del agua a través de la aplicación de un Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQ, por sus siglas en inglés) basado en la metodología del Water Quality Index (WQI) establecida por Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), ya que estos consideran la exposición constante de los cuerpos de agua a distintas variaciones de calidad. (INSIVUMEH, 2021, p. 13)

En el Anexo 5.5, se presentan los distintos índices de calidad del agua (ISCA), referenciados a un código de colores que corresponde a su respectivo rango de índices, asignando también una categoría a la calidad del agua del río. En el Anexo 5.6, se muestra la red de puntos de monitoreo que corresponde a los ríos de la vertiente del Caribe, a la cual pertenece el río Los Ocotes, el cual es afluente en la región que tiene categoría de inadmisibles, lo que corresponde a un ISCA de entre 0 y 60. Según el boletín se tiene que el 59 % de los puntos en la vertiente del Caribe, corresponde a una calidad inadmisibles, el 35 % cuentan con una calidad admisible, y el 6 % restante una calidad intermedia.

En el Anexo 5.7, se presenta un mapa con los puntos de monitoreo del INSIVUMEH, para determinar la aptitud del agua de los ríos para consumo humano con previo tratamiento según ISQA. Se tiene que la vertiente del Caribe (vertiente a la que pertenece el río Los Ocotes), aparece en la clasificación de sin aptitud de uso recomendado para el consumo humano, sin tener un tratamiento previo, es decir, según la calidad del agua en el punto que se quiera captar dicho recurso hídrico, se debe plantear un tratamiento idóneo, para lograr que el agua cumpla con los parámetros de la norma COGUANOR NTG 29001 y así obtener agua sea apta para el consumo humano.

3.3.1. Presentación de resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro:

Tabla XIII. **Resultados promedios de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua de los pozos del sistema Canalitos en las épocas seca y lluviosa**

COGUANOR NTG 29001				Pozos de agua potable del sistema Canalitos en época seca			Pozos de agua potable del sistema Canalitos en época lluviosa		
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	---	---	23.0	---	---	23.4	---	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1	1	No cumple	Cumple	0.925	No cumple	Cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Clara	NR	NR	Clara	NR	NR
Olor	NR/R	NR	NR	Inodora	NR	NR	Inodora	NR	NR
Color	Pt/Co	5	35	1.25	Cumple	Cumple	1.25	Cumple	Cumple
Turbiedad	UNT	5	15	0.49	Cumple	Cumple	0.45	Cumple	Cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	157.55	Cumple	Cumple	163.14	Cumple	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7.0-7.5	6.5-8.5	6.65	No cumple	Cumple	6.67	No cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	83.50	Cumple	Cumple	92.00	Cumple	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	16.43	Cumple	Cumple	15.83	Cumple	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	73.00	Cumple	Cumple	74.25	Cumple	Cumple
Hierro total	mg/L	0.3	---	0.02	Cumple	Cumple	0.02	Cumple	Cumple
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.02	Cumple	Cumple	0.01	Cumple	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	0.01	Cumple	Cumple	0.01	Cumple	Cumple
Nitratos	mg/L	---	50	6.42	Cumple	Cumple	7.26	Cumple	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	9.63	Cumple	Cumple	10.56	Cumple	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	1.25	Cumple	Cumple	1.00	Cumple	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	7.78	Cumple	Cumple	8.45	Cumple	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0.00	---	---	0.00	---	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	88.50	---	---	86.00	---	---
Sodio	mg/L	---	---	8.55	---	---	0.77	---	---
Potasio	mg/L	---	---	4.30	---	---	0.23	---	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	< 1.1	Cumple	Cumple	< 1.1	Cumple	Cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	< 1.1	Cumple	Cumple	< 1.1	Cumple	Cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	< 1.1	Cumple	Cumple	< 1.1	Cumple	Cumple

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite máximo NR/R = No rechazable / Rechazable ND = No detectable UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Tabla XIV. Resultados promedios de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del río Los Ocotes en época seca

COGUANOR NTG 29001				Río Los Ocotes (a) en época seca			Río Los Ocotes (b) en época seca			Río Los Ocotes (c) en época seca		
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	---	---	21.1	---	---	19.6	---	---	22.7	---	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Turbia	R	R	Turbia	R	R	Turbia	R	R
Olor	NR/R	NR	NR	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R
Color	Pt/Co	5	35	75.25	No cumple	No cumple	37.56	No cumple	No cumple	85.97	No cumple	No cumple
Turbiedad	UNT	5	15	53.78	No cumple	No cumple	15.89	No cumple	No cumple	15.51	No cumple	No cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	355.00	Cumple	Cumple	342.33	Cumple	Cumple	465.33	Cumple	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7.0-7.5	6.5-8.5	7.48	Cumple	Cumple	7.74	No cumple	Cumple	7.39	Cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	157.25	Cumple	Cumple	168.78	Cumple	Cumple	239.83	Cumple	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	24.45	Cumple	Cumple	24.49	Cumple	Cumple	31.26	Cumple	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	100.00	Cumple	Cumple	91.56	Cumple	Cumple	137.70	No cumple	Cumple
Hierro total	mg/L	0.3	---	1.09	No cumple	No cumple	0.54	No cumple	No cumple	0.51	No cumple	No cumple
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.12	No cumple	Cumple	0.16	No cumple	Cumple	0.03	Cumple	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	1.41	Cumple	Cumple	0.09	Cumple	Cumple	327.87	No cumple	No cumple
Nitratos	mg/L	---	50	21.05	Cumple	Cumple	18.86	Cumple	Cumple	30.11	Cumple	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	32.38	Cumple	Cumple	33.89	Cumple	Cumple	56.70	Cumple	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	22.25	Cumple	Cumple	16.33	Cumple	Cumple	30.33	Cumple	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	9.48	Cumple	Cumple	5.30	Cumple	Cumple	16.59	Cumple	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0.00	---	---	0.00	---	---	0.00	---	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	141.50	---	---	140.43	---	---	147.82	---	---
Sodio	mg/L	---	---	17.13	---	---	24.24	---	---	0.00	---	---
Potasio	mg/L	---	---	3.53	---	---	5.31	---	---	0.00	---	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite probable
 NR/R = No rechazable / Rechazable
 ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Tabla XV. Resultados promedios de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del río Los Ocotes en época lluviosa

COGUANOR NTG 29001		Río Los Ocotes (a) en época lluviosa			Río Los Ocotes (b) en época lluviosa			Río Los Ocotes (c) en época lluviosa				
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	---	---	22.1	---	---	23.6	---	---	22.6	---	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Turbia	R	R	Turbia	R	R	Turbia	R	R
Olor	NR/R	NR	NR	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R
Color	P/Co	5	35	5957.20	No cumple	No cumple	433.00	No cumple	No cumple	159.00	No cumple	No cumple
Turbiedad	UNT	5	15	3240.46	No cumple	No cumple	326.13	No cumple	No cumple	85.67	No cumple	No cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	217.22	Cumple	Cumple	354.33	Cumple	Cumple	394.14	Cumple	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7.0-7.5	6.5-8.5	7.49	Cumple	Cumple	7.38	Cumple	Cumple	7.51	No cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	115.20	Cumple	Cumple	188.00	Cumple	Cumple	198.71	Cumple	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	16.19	Cumple	Cumple	20.58	Cumple	Cumple	24.73	Cumple	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	60.80	Cumple	Cumple	103.33	No cumple	Cumple	107.71	No cumple	Cumple
Hierro total	mg/L	0.3	---	2.74	No cumple	No cumple	1.28	No cumple	No cumple	0.58	No cumple	No cumple
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.06	Cumple	Cumple	0.17	No cumple	Cumple	0.12	No cumple	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	0.22	Cumple	Cumple	1.20	Cumple	Cumple	0.72	Cumple	Cumple
Nitratos	mg/L	---	50	20.46	Cumple	Cumple	21.32	Cumple	Cumple	19.54	Cumple	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	27.48	Cumple	Cumple	39.67	Cumple	Cumple	52.50	Cumple	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	20.90	Cumple	Cumple	27.67	Cumple	Cumple	37.29	Cumple	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	4.65	Cumple	Cumple	8.08	Cumple	Cumple	11.19	Cumple	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0.00	---	---	0.00	---	---	0.00	---	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	143.50	---	---	149.07	---	---	146.57	---	---
Sodio	mg/L	---	---	9.44	---	---	2.17	---	---	0.00	---	---
Potasio	mg/L	---	---	2.00	---	---	0.30	---	---	0.00	---	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X103	No cumple	No cumple

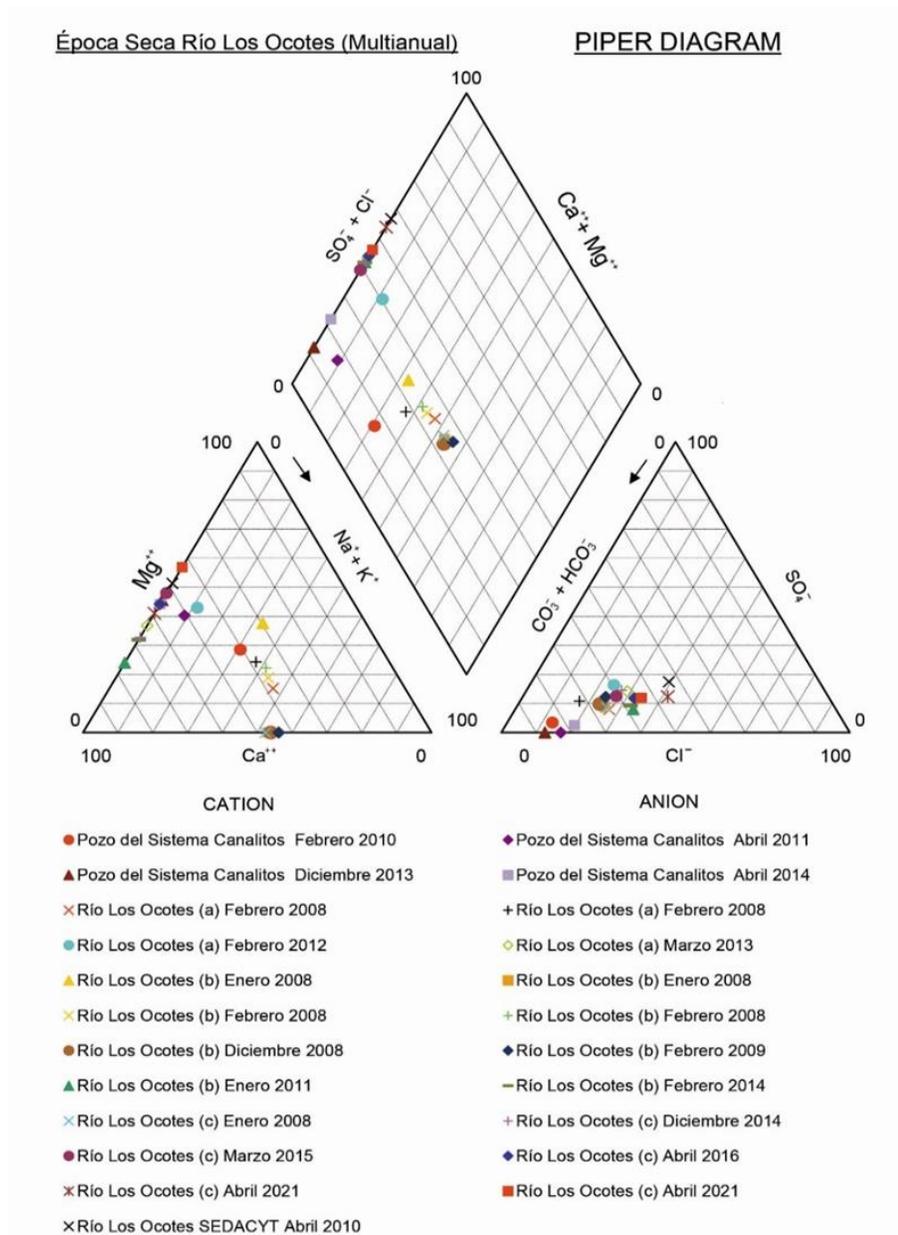
COGUANOR L.M.A. = límite máximo
NTG 29001 L.M.P. = límite máximo

NR/R = No rechazable / Rechazable
ND = No detectable

UNT = unidades nefelométricas de
NMP = número más probable

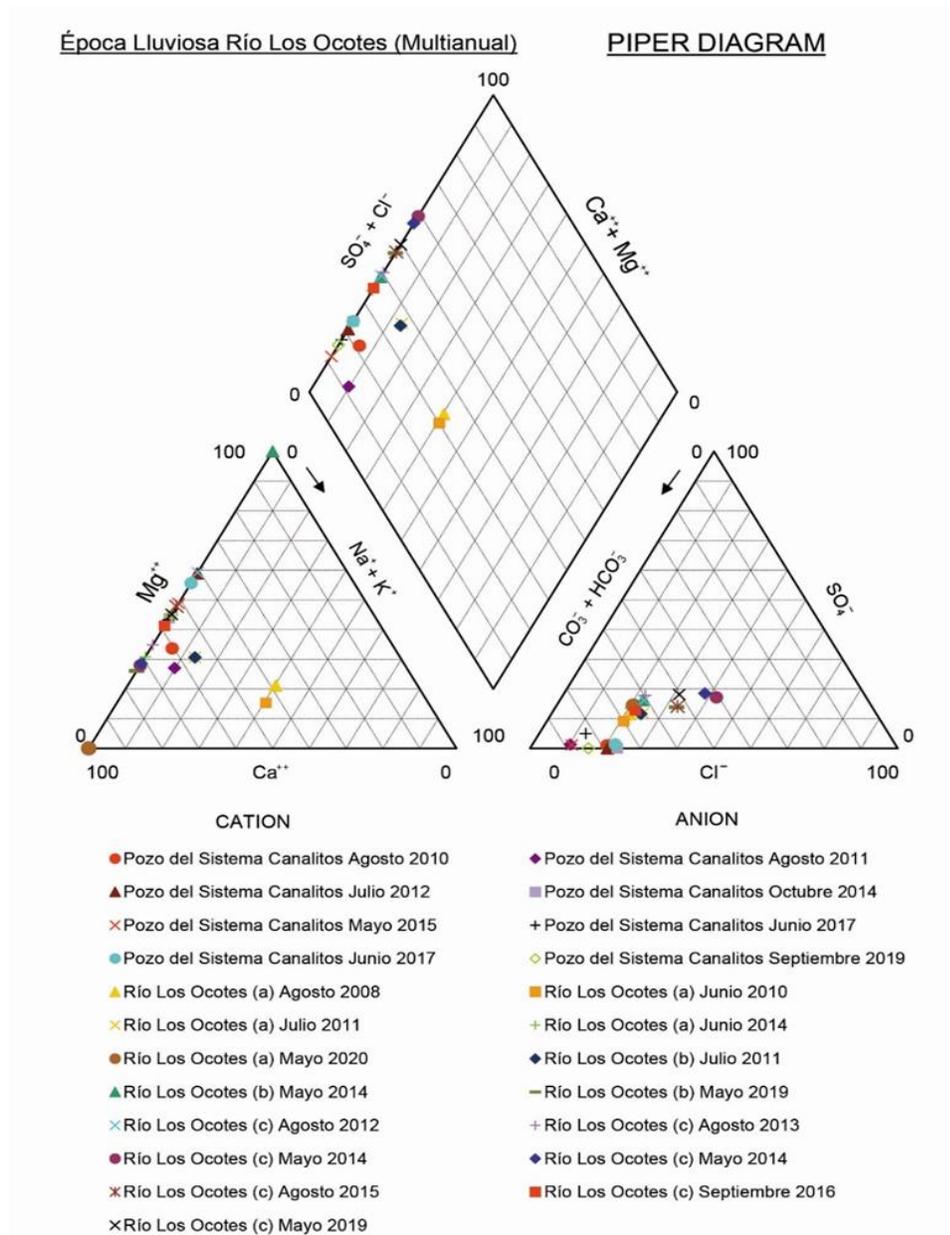
Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Figura 14. Diagrama de Piper multianual para las muestras de agua de los pozos del sistema Canalitos y el río Los Ocotes durante la época seca



Fuente: elaboración propia, realizado con Easyquim y con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Figura 15. Diagrama de Piper multianual para las muestras de agua de los pozos del sistema Canalitos y el río Los Ocotes durante la época lluviosa



Fuente: elaboración propia, realizado con Easyquim y con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

3.3.2. Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos realizados en los pozos de agua potable del sistema Canalitos y en el río Los Ocotes, tanto en la época seca y la época lluviosa, durante distintos años desde el año 2008. Se observa que, en la época lluviosa, tanto el agua del río como el agua de los pozos, presentan características muy similares en el tiempo. En cambio, durante la época seca, es decir, cuando no se tiene el aporte del agua proveniente de la precipitación pluvial, empieza a diferenciarse la composición del agua entre del río respecto al agua de los pozos.

Al verificar el valor numérico de los componentes del agua de los pozos, respecto a los parámetros fisicoquímicos que establece la norma COGUANOR NTG 29001, para determinar si la calidad del agua de los pozos del sistema Canalitos, cumple con los requisitos para el consumo humano, se tiene que, en promedio durante la época seca y lluviosa, la calidad del agua de los pozos, cumple con la normativa (ver Tabla XIII y los Apéndices 8.1, 8.7 y 8.8). En ambas épocas se tiene que la cantidad de cloro residual es superior al límite admisible, pero está dentro del rango del límite permisible para el consumo humano.

En el caso del potencial de hidrógeno (pH), para la época seca se tiene en promedio 6,65 unidades de pH y para la época lluviosa de 6,67 unidades de pH, lo cual queda fuera del rango de 7,0 – 7,5 que se establece en la norma para el límite máximo admisible, pero queda dentro del rango de 6,5 – 8,5 que se establece en la norma para el rango máximo permisible.

La mayoría de los ambientes naturales tienen un pH entre 4 y 9. El pH del agua de mar es generalmente entre 7,5 y 8,4. En agua dulce, un pH con un valor de 6,5 a 8,5 protegerá a la mayoría de los organismos. (Waterboards, 2021, p. 3)

La escala en la que se mide el pH es logarítmica, con sus valores extremos equivalentes a 0 y 14, siendo el 7 un valor neutral, para caracterizar si el pH es ácido o básico, según sus valores extremos de 0 y 14 respectivamente. Al ser una escala logarítmica, indica que, al incrementar una unidad en la escala logarítmica, es el equivalente a una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno que contiene el agua. En el caso de presentarse valores extremos o fuera de rango aceptable para el consumo humano, existe la posibilidad de que cause irritación en las mucosas, en los órganos internos y como caso muy grave se puede llegar a presentar procesos de ulceración.

El otro parámetro que en promedio se mantiene muy cercano a su límite máximo admisible (debajo del mismo), es el de la dureza total, ya que en promedio se tiene una concentración para la época seca de 73,00 mg/L y para la época lluviosa de 74,25 mg/L, siendo el límite máximo admisible de 100,00 mg/L. La dureza total se debe a la concentración de minerales, sales de magnesio y calcio. Lo cual varía según el tipo de suelo por el cual se encuentre fluyendo y el tiempo de contacto que tenga.

En el caso de los materiales piroclásticos tienen un proceso de enfriamiento rápido después de salir del cuerpo del volcán, lo cual genera fracturas internas debido a la retracción del material. Estas fracturas suelen ser atravesadas por distintos fluidos, incluidos los gases y el vapor de agua, lo que puede generar depósitos de minerales que suelen provocar una especie de

colmatación en las fisuras. Y el agua al ser un buen solvente, debido a su capacidad para formar lazos de hidrógeno, debido a sus propiedades de polaridad (carga negativa y positiva). Lo que permite que el agua adquiera los valores que le proveen los minerales presentes en la formación geológica volcánica.

Si los valores están entre el rango de 150 a 300 mg/L ya se considera como agua dura, usualmente dificulta la cocción de legumbres y también impide la formación de espuma del jabón, debido a que el calcio y el magnesio reaccionan con los elementos que componen al jabón. Los beneficios y consecuencias para la salud son todavía tema de discusión.

Los demás parámetros como la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, calcio, hierro total, manganeso, nitritos, nitratos, cloruros, sulfato y magnesio, se encuentran muy por debajo de los límites máximos admisibles y permisibles, establecidos en la norma, incluyendo las características físicas organolépticas y las químicas del agua, eso es un indicativo de que las aguas de los pozos no son muy evolucionadas en su composición química, es decir, son aguas que no han estado demasiado tiempo en contacto con los suelos o rocas del acuífero.

Esto explica el hecho de que las aguas subterráneas en dicho sector de Canalitos, son aguas jóvenes, son aguas que principalmente tienen un paso rápido a través del acuífero debido a los valores de conductividad hidráulica que poseen las rocas que conforman la parte inferior del acuífero superior y el acuífero inferior, con sus características de fracturación (permeabilidad secundaria). Lo que representa un reto para poder aprovechar de mejor manera el recurso hídrico disponible, mediante planes de gestión integral.

Bacteriológicamente, el agua de los pozos de agua potable del sistema Canalitos, se enmarca en la clasificación de tipo I, calidad bacteriológica que no exige más que un simple tratamiento de desinfección. Según normas internacionales de la OMS (2018), para las aguas de la categoría 1, se puede realizar el proceso de tratamiento de cloración simple y/o filtración sencilla (rápida o lenta, en arena).

La calidad del agua del río Los Ocotes, también se analiza a partir de sus características fisicoquímicas, comparando sus valores con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29001, se tiene que, en promedio durante la época seca y lluviosa, la calidad del agua no cumple con varios parámetros de la normativa (ver Tablas XIV y XV, Apéndices desde el 8.2 al 8.12).

En ambas épocas se tiene que las características físicas organolépticas, quedan fuera del rango de los límites admisibles y permisibles. Ya que regularmente, es agua turbia, con olor a materia orgánica, de igual manera sus valores de color y turbiedad están muy por encima del límite permisible, para el consumo humano. Según el INSIVUMEH, la calidad del agua de la mayoría de los ríos de Guatemala tiene altos valores en sus parámetros bacteriológicos, debido a la cantidad de aguas residuales que se vierten de manera directa en dichos ríos.

Esta contaminación directa de aguas residuales sin previo tratamiento hacia los ríos, es uno de los grandes desafíos en la actualidad, para lograr un desarrollo sostenible del recurso hídrico. Es por ello que las descargas de aguas residuales deben cumplir con los parámetros establecidos en el AG 236-2006. Para reducir el aumento de nutrientes en el agua, ya que dicho aumento beneficia el desarrollo de microorganismos, limitando la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, afectando a la fauna y flora del río.

Tanto en la época seca como en la lluviosa, se tienen valores que sobrepasan uno e incluso los dos límites máximos establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001, lo cual sucede con los valores de la dureza total, el hierro total, el manganeso y los nitritos, en el caso del potencial de hidrógeno suele estar por encima del límite máximo admisible, pero queda dentro del rango del límite máximo permisible de 6,5 – 8,5 unidades de pH.

Usualmente la concentración de minerales y sales, generan los valores de dureza total que son mayores al límite máximo admisible, pero dentro del rango del permisible. Para el hierro total, se tiene la particularidad de que excede incluso el límite máximo permisible. Esto se debe a la acción de disolución del agua en las rocas y minerales donde se encuentra contenido el hierro, también se puede tener presencia de hierro debido a posibles vertidos ferrosos en el agua, que son producto de las actividades antropogénicas.

Bacteriológicamente, el agua del río Los Ocotes, se enmarca en la clasificación IV, contaminación muy intensa que obliga a tratamientos más activos. Según normas de calidad para fuentes de agua de las normas internacionales para el agua potable de la Organización Mundial de la Salud. Entre los ejemplos mínimos para los procesos de tratamiento sugeridos por la OMS (2018), se encuentra el tratamiento con carbón activado granular o intercambio de iones. En el caso de las clasificaciones 2 y 3, se tienen procesos de tratamiento de precloración más filtración, aeración, coagulación química y optimización de procesos para el control de los SPD.

En las Figuras 14 y 15, se presentaron dos diagramas multianuales de Piper, uno para la época seca y el otro para la época lluviosa respectivamente, elaborado a partir de muestras de agua de los pozos de agua potable del sistema Canalitos y del río Los Ocotes, la información en la que se basan los diagramas,

fue proporcionada por la Municipalidad de Guatemala. En el caso de la época seca, se tiene una concentración en los cationes que permite clasificar el agua como de tipo cálcico e intermedio, con tendencia hacia el tipo sódico.

Según los grupos de aniones, la mayoría de las muestras son de tipo bicarbonatadas y unas pocas son del tipo intermedio. Lo que da como resultado una clasificación de las muestras de agua del tipo bicarbonatadas cálcicas o bicarbonatadas magnésicas, pero también se presenta un grupo de muestras que entran en la clasificación de aguas del tipo bicarbonatadas sódicas, estas últimas nos indican una evolución natural ligera del agua, es decir, es agua que ha tenido mayor tiempo de contacto con el suelo y las rocas del acuífero. Lo que es característico también de las aguas subterráneas poco profundas y recientes.

La mayoría de las muestras que tienen evolución natural ligera, corresponden a las muestras tomadas en la parte baja de la subcuenca del río Los Ocotes, lo cual es un indicativo de que el agua que se tiene en esa parte durante la época seca, también proviene del agua subterránea del acuífero, ya que corresponden a la evolución natural del tipo de aguas desde bicarbonatadas cálcicas o bicarbonatadas magnésicas a bicarbonatadas sódicas.

En acuíferos similares que también están compuestos por tefras y lavas del terciario, tienen aguas similares en su composición fisicoquímica, un ejemplo claro es el análisis hidroquímico del agua superficial de la subcuenca del río Quiscab, en Guatemala, en el que se tuvo la siguiente información:

Las aguas del tipo bicarbonatadas-cálcicas se consideran como aguas de recarga, las cuales han tenido un mayor tiempo de recorrido; mientras que las aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas obedecen a recarga reciente e incorporación de sustancias a través del material geológico con

el cual están en contacto. Las aguas bicarbonatadas-cálcicas-sódicas, sin embargo, son de muy reciente infiltración que aún conservan los núcleos de sal del agua de lluvia. (Padilla y García, 2012, p. 19)

En dicho trabajo también se tiene que, el agua contiene menos iones disueltos, lo que aumenta la posibilidad de que estas sean aguas jóvenes y que la circulación dentro de los suelos y rocas que conforman el acuífero, es lo suficientemente rápida, como para que el agua no tenga el tiempo para realizar intercambios iónicos con los suelos, para que pueda disolver los solutos.

En el caso de esa subcuenca, se tienen el bicarbonato y el calcio, como iones predominantes, es por ello, que el agua “Catiómicamente evolucione desde el tipo cálcico, pasando al magnésico, para posteriormente finalizar en sódico, aunque existe un intermedio donde se encuentran combinaciones de cálcico-magnésico o viceversa” (Padilla y García, 2012, p. 19).

En el caso de la época lluviosa (ver Figura 15), se tiene una concentración en los cationes que permite clasificar el agua como de tipo cálcico en su mayoría y pocas son del tipo intermedio, con tendencia hacia el tipo sódico. Según los grupos de aniones, la mayoría de las muestras son de tipo bicarbonatadas y unas pocas son del tipo intermedio.

Lo que da como resultado una clasificación de las muestras de agua del tipo bicarbonatadas cálcicas o bicarbonatadas magnésicas, pero en este caso no se presenta un grupo de muestras que entren en la clasificación de aguas del tipo bicarbonatadas sódicas, lo que indica que no se tiene la evolución natural ligera del agua, es decir, es agua muy reciente en el acuífero y el río.

Por lo tanto, se refuerza el hecho de que en el acuífero se tienen aguas jóvenes, proveniente de la precipitación pluvial, algunas evolucionando hacia aguas cloruradas cálcicas, conteniendo también núcleos de sal del agua de lluvia o probablemente por la incorporación de las aguas residuales provenientes del consumo humano.

En el Anexo 5.8, se muestran los resultados de un trabajo de caracterización hidrogeoquímica de acuíferos volcánicos en el Valle central de Costa Rica, en donde “La mayor parte del agua muestreada del acuífero Barva se clasificó como bicarbonatada mixta. Asimismo, la mayoría de los sitios muestreados del acuífero Colima también captan aguas bicarbonatadas mixtas” (Madrigal, Fonseca y Reynolds, 2017, p. 121).

En el trabajo anteriormente citado, se menciona la posibilidad de que “La recarga del acuífero Barva hacia el acuífero Colima Superior, sea a través de fracturas en las tobas e ignimbritas, o por la comunicación establecida entre ambos acuíferos por los pozos perforados existentes en la zona” (Madrigal *et al.*, 2017, p. 129). En el Anexo 5.9, se muestran los acuíferos que conforman el área de estudio, compuestos por formaciones geológicas que incluyen colados de lavas, piroclastos en la parte superior y distintas formaciones de lavas a mayores profundidades, lo cual es similar al acuífero de la subcuenca del río Los Ocotes en Guatemala.

Cabe resaltar que el tipo de agua también se asemeja en el sentido de que resultan ser aguas jóvenes, se clasificaron como aguas bicarbonatadas mixtas, que según el diagrama de Piper del Anexo 5.8, entran en la clasificación de bicarbonatadas cálcicas o bicarbonatadas magnésicas, a excepción de una muestra que es clorurada o sulfatada sódica. A pesar de encontrarse en puntos geográficos muy distantes entre sí, las formaciones geológicas de origen

volcánico son similares al acuífero estudiado en la presente investigación. En el estudio hidrogeológico de FODECYT 035-2009, se establece que “Las aguas subterráneas de la subcuenca del río Los Ocotes, son aguas jóvenes, con muy poca variación y sin mezcla de otras aguas subterráneas” (Herrera, 2012, p. 82).

3.4. Calidad del agua para su uso en recarga hídrica artificial

La calidad del agua depende de muchos factores, tanto físicos como químicos, ya que la misma está compuesta por diversas partículas, minerales e incluso hasta por metales. El agua tendrá una calidad buena o mala, dependiendo del uso que se le dará a la misma. Ello permite identificar los parámetros de los reglamentos y normativas correspondientes. En uno de los estudios realizados en el río Los Ocotes, se tiene lo siguiente:

Los valores del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA), en la parte baja y alta del Río Ocotes durante la estación lluviosa indican que el río se encuentra en un nivel de calidad mala, quiere decir que, a pesar de que su aspecto natural mejoró, cuenta con fuerte actividad microbiana, mal olor y desechos orgánicos. (Martínez, 2018, p. 45)

La calidad del agua se ve afectada por las actividades antropogénicas, cuando se vierten las aguas residuales en los cuerpos receptores sin previo tratamiento o con tratamiento deficiente, las descargas de aguas residuales deben cumplir con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, que es el Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

De igual manera, la calidad del agua también se ve afectada por el medio en el cual se transportan, ya sea de manera superficial o subterránea, ya que el agua tiene la propiedad de ser un gran solvente y se le facilita realizar enlaces iónicos con las superficies naturales con las que tiene contacto. Por lo tanto, la recarga hídrica estará condicionada por el tipo de uso que se le dará al agua, la calidad del agua que se usará para la recarga hídrica, las características hidrogeológicas de los suelos y rocas del acuífero, la cantidad de recurso hídrico disponible y la cobertura vegetal.

3.4.1. Presentación de resultados

Los resultados relacionados a la calidad de agua para la recarga hídrica artificial, se encuentran en la sección de Apéndices desde el 8.1 hasta el 8.14 y la sección de Anexos desde el 5.1 hasta el 5.9, para evitar saturar de gráficas y tablas, el cuerpo del presente trabajo.

3.4.2. Discusión de resultados

En las Tablas XIV y XV, se presentan los resultados promedios de las muestras de agua del río Los Ocotes, para la época seca y lluviosa, en los cuales se evidenció que las características físicas y organolépticas están fuera del rango de los límites máximos admisibles y permisibles.

En el caso de las propiedades químicas se tienen valores de hierro total, por encima del límite máximo permisible, mientras que la dureza total, el manganeso, el potencial de hidrógeno y los nitritos, usualmente quedan fuera del rango del límite máximo admisible, pero dentro del rango del límite máximo permisible para cada parámetro.

La calidad del agua subterránea del acuífero cumple con la norma para que se apta para el consumo humano, por lo tanto, puede utilizarse para recarga hídrica. Caso contrario sucede con el agua de los ríos, ya que su carga bacteriológica es demasiado alta para que sea apta para consumo humano. Por lo tanto, se debe realizar un proceso de tratamiento del agua del río antes de utilizarse para recargar el acuífero, ya que el agua que se ingresará de manera directa al acuífero debe tener muy buena calidad, ya que se estará obviando el proceso natural de filtración que debería tener el agua subterránea.

Existe una manera de ayuda visual para clasificar las muestras de agua en el diagrama de Piper y así tener idea rápida de su calidad, procesos geoquímicos evolutivos y mezclas con agua salada, mediante el uso de una zonificación con colores (ver Apéndices 8.13 y 8.14 para observar los resultados del presente trabajo con la zonificación en colores), la zonificación es tomada del trabajo sobre intrusión de agua de mar en el que Kelly (2005) explica que el color de cada punto de datos en el diamante superior refleja lo que se muestra en la leyenda de la parte superior, del diagrama y así visualizar de manera práctica las mezclas y la evolución del agua.

4. PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA

En el sector de Canalitos, el agua dulce es un recurso limitado, se debe realizar una gestión integrada del recurso hídrico, la cual tiene un alcance muy amplio. La cantidad de agua dulce en el planeta es un recurso limitado. CONAGUA (2019), explica que el 2,5% del agua del mundo, es agua dulce y el 70% de esa cantidad de agua se encuentra almacenada en los glaciares, nieve, y hielo. El 30% restante está conformada por el agua subterránea y el agua superficial.

Para la gestión del recurso hídrico en la subcuenca del río Los Ocotes, no es suficiente con el hecho de contar con un buen trabajo técnico (ingeniería), en el que se tengan memorias técnicas y de cálculo, diseño de redes de agua potable y descarga de aguas residuales, plantas de tratamiento, planos de diseño, trabajo de campo, trabajo de gabinete y otros. Sin antes trabajar la parte social y ambiental. Ya que la gestión engloba la interrelación que existe entre las personas que habitan en Canalitos y la subcuenca, es por ello que el factor psicosocial toma gran relevancia para iniciar y desarrollar la gestión integrada.

El recurso hídrico en la subcuenca, se debe gestionar de manera consciente, para aumentar la probabilidad de asegurar el uso sostenible del recurso hídrico (a largo plazo), para las generaciones actuales y futuras, que se verán beneficiadas desde diferentes sectores mediante cada uno de los actores involucrados. “La GIRH es un proceso que promueve la gestión del agua, el suelo y 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” (GWP, 2022, párr. 1).

Un factor importante es el adecuado uso de las corrientes superficiales de agua, ya que la calidad de dicha agua determinará su tipo de uso. “Millones de personas en la Región de las Américas, aún carecen de una fuente adecuada de agua potable e instalaciones seguras para la disposición y eliminación de las heces” (OPS/OMS, 2022, párr. 1). En el Anexo 6.1, se presenta un mapa mundial que consta de una zonificación mediante el uso de una escala de colores, los cuales corresponden a un rango porcentual que hace referencia al estrés hídrico estimado para el año 2040.

El estrés hídrico se produce cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad de agua disponible en un tiempo determinado, es decir, cuando el caudal que se extrae es mayor al que ingresa, también se puede generar estrés hídrico cuando se tiene acceso al agua, pero ésta no cumple con la calidad necesaria. “Se espera que el cambio climático haga que algunas áreas sean más secas y otras más húmedas. A medida que aumentan las precipitaciones extremas en algunas regiones, las comunidades afectadas enfrentan mayores amenazas de sequías e inundaciones” (Maddocks, Young y Reig, 2015, párr. 2).

Según advierte Basterrechea (2019), respecto al estrés hídrico en Guatemala para la población que se tenía en el año 2014: “Los valores estaban por arriba del umbral de estrés hídrico (1700 m³/habitante/año) y de escasez hídrica (1 000 m³/habitante/año)” (p. 90).

4.1. Los recursos hídricos y el desarrollo sostenible

La ONU (1987), explica que el desarrollo sostenible satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades.

Para la gestión del recurso hídrico en la subcuenca del río Los Ocotes, se debe tener un paradigma basado en el futuro y no simplemente para atender emergencias del presente. Que permita corregir los errores o la mala gestión de los actores del pasado. Es un tema de voluntad política, para que las partes técnica, social y administrativa, puedan llevar a cabo las acciones necesarias para generar un impacto positivo de manera local, regional y nacional.

La gestión o manejo integrado de los recursos hídricos se entiende entonces como un proceso que promueve el desarrollo y la administración coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados para llevar al máximo el resultante económico y la asistencia social de una manera equitativa sin afectar la sostenibilidad de ecosistemas esenciales. (Martínez y Villalejo, 2018, p. 60)

En el trabajo que realizó el Instituto Nacional de Estadística, INE (2018), explica que para el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda, se tiene que el promedio de la cantidad de personas por hogar en el país de Guatemala, se encuentra entre el rango de 4 a 5 personas, incluyendo el sector de Canalitos de la ciudad de Guatemala. En los Apéndices desde el 9.1 hasta el 9.9, se presentan los resultados para distintas fuentes de abastecimiento. En el caso del departamento de Guatemala, se tiene que es el departamento con mayor cantidad de hogares que se abastecen por medio de: tubería dentro de la vivienda, camión o tonel y otras fuentes de abastecimiento.

La calidad del agua de las fuentes de abastecimiento es un factor primordial para determinar el tipo de uso que se le puede dar a dicho recurso hídrico en la subcuenca del río Los Ocotes. El agua del río, es la que presenta mayores valores de contaminación debido a que es un recurso que se encuentra expuesto a cualquier foco de contaminación de manera directa.

En el caso del agua subterránea en el sector de Canalitos, cuenta con el proceso de filtrado de las capas suelos o rocas, según sus características hidrogeológicas, el recurso hídrico subterráneo sigue siendo vulnerable a distintos focos de contaminación. “La contaminación del agua subterránea se presenta cuando hay una gran diversidad de usos y no hay un control en las fuentes contaminantes, como lo son la agricultura, la urbanización y la minería” (Ibarra, 2009, p. 3).

Ninguna entidad es responsable del control y seguimiento de la calidad de las aguas nacionales por lo que no se dispone de datos precisos sobre niveles y tipos de contaminación, tampoco se realiza un seguimiento del impacto ambiental ni se controla la contaminación originada por los agroquímicos utilizados en agricultura. Las aguas residuales de las zonas urbanas en su mayoría no son tratadas. De las 333 municipalidades del interior, menos del 10% aplican tratamiento, mientras que los restantes descargan sus efluentes sin ningún tratamiento. (Herrera, 2012, p. 36)

4.2. Aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos

Para lograr un aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en el sector de Canalitos, se tiene que priorizar los planes, estrategias y la implementación de cada una de ellas, es decir, planificar y tomar acciones en el presente, para que las generaciones futuras puedan seguir implementando una gestión integrada del recurso hídrica e innovar en cada una de las áreas que conlleva una buena gestión del recurso hídrico. Esto conlleva un costo económico en todas las áreas involucradas en la gestión integrada, por lo tanto, deberá gestionarse de manera eficiente para garantizar el desarrollo sostenible.

Se puede reutilizar el recurso hídrico, realizando el tipo de tratamiento adecuado para el agua, según el uso que se le quiera dar dentro del sector de Canalitos y la subcuenca en general. Este tipo de proyecto conlleva una inversión por parte de las familias, la municipalidad y las empresas en sus respectivos alcances, ya que todos son actores involucrados en la gestión integrada del recurso hídrico. En el Anexo 6.12, se presenta el consumo máximo de agua en artefactos, según lo estipulado en el Acuerdo No. COM-24-2020. Para ahorrar recurso hídrico estableciendo buenas prácticas de consumo y limitar la cantidad de agua residual generada que tendrá que recibir tratamiento para cumplir con el AG 236-2006.

El uso insostenible del agua conlleva tres tipos de riesgo: riesgos operativos, por tener cantidades o calidades inadecuadas de agua; riesgos de reputación, dada la reacción de los actores a los impactos del uso insostenible del agua; y riesgos reglamentarios, por el incumplimiento de políticas y regulaciones del agua. (Atkinson, 2016, párr. 3)

En el Anexo 6.2, se presenta el atlas hidrológico realizado por el INSIVUMEH (2022), en el que se tienen las isoyetas medias anuales a nivel nacional, en el que el área de la subcuenca del río Los Ocotes, se encuentra entre las isoyetas de 1 000 y 1 500 mm de precipitación pluvial. Lo que se confirma con lo mostrado en la Figura 3 y en el Apéndice 1.5, los resultados presentados tienen como un valor promedio de la media anual equivalente a 1 298,49 mm de precipitación pluvial para el área de la subcuenca del río Los Ocotes. Registrando el mínimo de precipitación anual en el año 2009 con 939,50 mm y el máximo en el año 2010 con 2 080,80 mm de precipitación pluvial.

Se estima que Guatemala tiene una disponibilidad de más de 97 mil millones de metros cúbicos anuales de agua, cantidad 7 veces mayor al límite de riesgo hídrico establecido por estándares internacionales al relacionarla con su población. Dicha disponibilidad es función del régimen ordinario del ciclo hidrológico y se ve afectada por la variabilidad climática extrema expresada por la sequía (como la del año hidrológico 2009 - 2010) o por las inundaciones, como las acaecidas con la tormenta Agatha 2010. (Gabinete específico del agua, 2011, párr. 2)

La cantidad de agua que se puede aprovechar de la precipitación pluvial en “Áreas urbanas se observa que la escorrentía es aproximadamente del 70%, y la recarga está casi ausente (menos del 1%)” (IARNA, 2013, p. 34). También se ve limitada debido a los parámetros de contaminación que existen en el río Los Ocotes, ya que su carga bacteriológica es bastante alta, por lo que se debe realizar un tratamiento previo a ser utilizada para la agricultura, uso industrial y otros usos. El principal problema son las descargas de aguas residuales sin previo tratamiento hacia los cuerpos receptores.

Estimaciones realizadas en el año 2006 (SEGEPLAN, 2006 y 2006a) de la demanda total anual de agua indican que 5,143 millones de m³ de agua al año se destinan a usos consuntivos como el agropecuario, el doméstico y el industrial, y que los usos no consuntivos de agua demandan 4,453 millones de m³, en donde la hidroelectricidad representa casi la totalidad. (Gabinete Específico del Agua, 2011, p. 3)

Para aprovechar el recurso hídrico del río Los Ocotes, se debe considerar que el caudal es bastante bajo, durante todo el año. El agua debe tener una calidad aceptable para usos distintos al del consumo humano. Esto se convierte en un problema social, ya que en Guatemala se debe cumplir con el Acuerdo

Gubernativo 236-2006 (AG 236-2006), que es el Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, pero no se cumple.

Al cumplir con el AG 236-2006, se ayudaría a disminuir la carga bacteriológica del río Los Ocotes. Son pocos los ríos que no tienen carga bacteriológica alta (ver Anexo 5.7). “El agua superficial se debe gestionar con el agua subterránea, y que el agua residual municipal o industrial puede representar una amenaza a la calidad del agua subterránea, los grupos interesados también deben contar con representantes municipales e industriales” (Garduño *et al.*, 2006, p. 1).

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 (2006), tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país. En dicho acuerdo se establece la siguiente competencia de cumplimiento:

Compete la aplicación del presente Reglamento al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Las Municipalidades y demás instituciones de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, deberán hacer del conocimiento de dicho Ministerio los hechos contrarios a estas disposiciones, para los efectos de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del medio Ambiente (p. 2).

En el caso del agua subterránea de la subcuenca del río Los Ocotes, se evidencia un descenso de los niveles estáticos y dinámicos en los pozos del sistema Canalitos (los pozos privados no fueron considerados en el presente trabajo), con un promedio anual de 5,5 metros (ver Figura 11), lo que indica que el acuífero está siendo sobreexplotado.

La subcuenca del río Los Ocotes existe buen potencial del recurso hídrico subterráneo, ya que se produce en la subcuenca de $4,18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ y comparándola con la explotación actual de aproximadamente $5,14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, se tiene un balance negativo de $0,96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Esto indica que existe una sobreexplotación del recurso hídrico en la subcuenca. (Herrera, 2012, p. i).

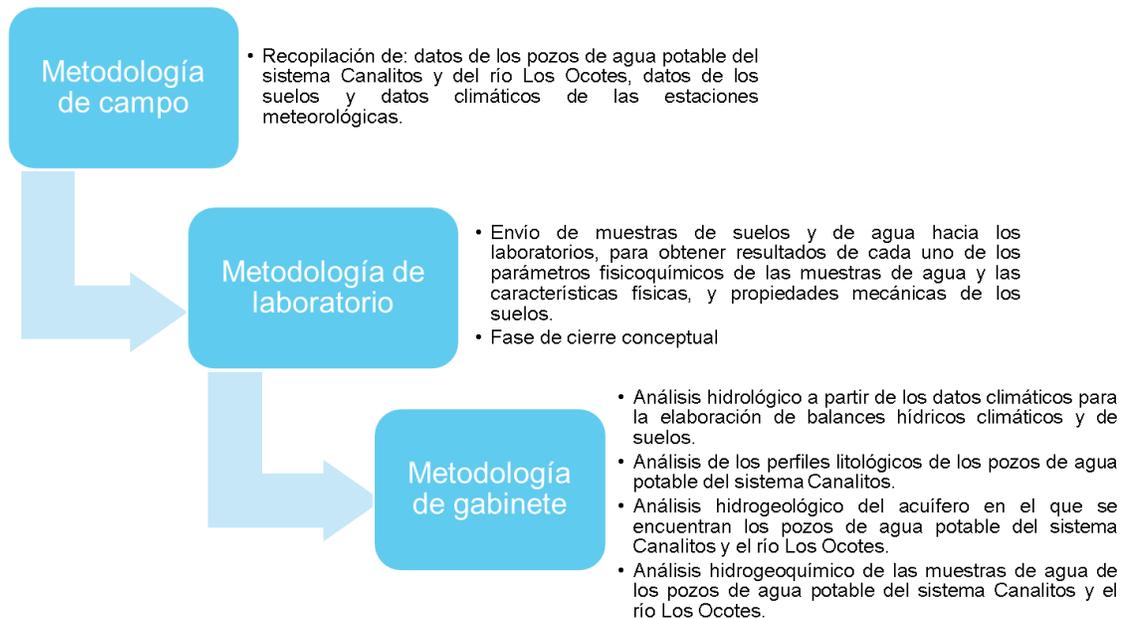
4.3. Metodología del plan de gestión integrado

En la subcuenca del río Los Ocotes, se debe implementar una metodología para la construcción de modelos hidrogeológicos en medios fracturados. En el Anexo 6.3, ya que abarca todas las áreas principales que debe contener un modelo hidrogeológico, para lograr simular el flujo del agua subterránea y con ello poder elaborar los planes y estrategias que tendrán que implementarse para cada situación en particular.

Para realizar la gestión integrada del recurso hídrico se debe involucrar a todos los actores posibles que estén involucrados en la parte social, civil, administrativa, técnica y legal. Con ello complementar la metodología técnica (ver Figura 16), para dar solución a la escasez del recurso hídrico.

En el Anexo 6.4, se tiene una metodología para la construcción de modelos hidrogeológicos conceptuales en medios fracturados según advierte Osorio (2015), en donde explica que independientemente de la información disponible, se detallan todos los componentes necesarios para realizar la construcción del modelo y así obtener simulaciones de los distintos escenarios que se pueden suscitar para el impacto, monitoreo y las medidas de remediación y mitigación.

Figura 16. **Metodología técnica para el sector de Canalitos, ciudad de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, realizado con Power Point.

En el Anexo 6.5, se muestra un esquema metodológico que engloba la parte social, ya que es un plan de ordenamiento del recurso hídrico, “Partiendo de la definición de un área de estudio sobre la cual se pretende emprender la ordenación del agua” (Vargas, Campillo y García, 2011, p. 72).

Por lo tanto, los actores involucrados en la gestión del recurso hídrico tendrán que contar con información regional y nacional, que generalmente se tiene entre personas vinculadas al recurso hídrico, investigadores, instituciones públicas, organismos de gobierno y empresas privadas. Es allí donde entra en juego la gestión integrada del recurso hídrico, abarcando las partes sociales, técnicas y administrativas.

4.4. Estrategias de manejo de recursos hídricos

En Guatemala se han realizado diversos intentos para lograr obtener una Ley de Aguas, que permita regular los parámetros y actores relacionados con los usos del agua, tomando en cuenta la huella hídrica de cada uno de los usos que se le den al agua.

Para ello es necesario plantear políticas y planes de los usos del agua, para guardar coherencia entre los objetivos sectoriales e identificar acciones comunes propias de la gestión integrada del agua, potenciar resultados y asegurar se hayan contemplado las medidas de conservación, protección y mejoramiento necesarias para la sostenibilidad del abasto y el aprovechamiento conjunto de aguas superficiales y subterráneas por parte de los diversos usuarios. (Gabinete Específico del Agua, 2011, p. 31)

En el Anexo 6.6, se presenta las recomendaciones que nos proporciona la GWP, para la realización de los planes de gestión integrada del recurso hídrico, en el cual se deben plasmar todas las estrategias que conlleven al buen manejo del recurso hídrico para lograr un desarrollo sostenible. “Establecer directrices unificadas para el manejo del agua en el país, que buscan promover el uso eficiente del recurso, para la consecución de objetivos definidos en materia de oferta, demanda, calidad, riesgos, fortalecimiento institucional y gobernabilidad” (Sostenible, 2014, p. 7).

Según se advierte FUNCAGUA (2018) en el trabajo del Plan de conservación del agua, se tiene que: “En Guatemala existen diferentes organismos, instituciones y entidades administrativas con competencia a nivel nacional encargadas específicamente de la gestión ambiental, en sus diferentes

temáticas. Las principales instituciones para el manejo, gestión, monitoreo, control e investigación del recurso hídrico” (p. 72), las cuales se muestran en los Anexos desde el 6.7 hasta el 6.9. En el año 2015 el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, realizó una propuesta en la que se indican los actores estratégicos que aparecen en los Anexos 6.10 y 6.11.

El MARN propone un Acuerdo Gubernativo para que el presidente de la República de Guatemala en Consejo de ministros se apruebe la POLÍTICA MARCO PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO EN GUATEMALA. La cual tiene como propósito disponer de un instrumento participativo, incluyente y de gestión, para el manejo del recurso hídrico en lo que corresponde a contaminación, calidad y para renovación de recurso, que permita definir las acciones preventivas necesarias. (MARN, 2015, p. 9)

Todo lo anterior va orientado hacia la parte política, legal y administrativa, para poder guiar los esfuerzos técnicos y civiles por parte de la población, asimismo puede aplicarse al sector de Canalitos, las siguientes estrategias:

- Crear un equipo de trabajo para crear el plan de gestión integrada del recurso hídrico en la subcuenca del río Los Ocotes, como etapa inicial se enmarca el compromiso gubernamental.
- Fortalecer la institucionalidad y las distintas entidades que velan por el cumplimiento de los distintos reglamentos y acuerdos vigentes en el país, para ello se deben tener directrices para el manejo del agua, de tal forma que todas las instituciones tengan claros los objetivos con los que deberán trabajar y gestionar sus funciones.

- Establecer un plan de trabajo que incluya la generación de conciencia, la participación de los actores interesados y el compromiso político, para lograr establecer las soluciones a gran escala para la gestión integrada del recurso hídrico, con la cooperación de todos los actores involucrados en la subcuenca del río Los Ocotes.
- Incluir en el plan de trabajo a las municipalidades, autoridades de cuencas, gobierno central, ministerios, secretarías, centros académicos que puedan aportar conocimiento respecto al recurso hídrico, asociaciones civiles, campesinas e indígenas, empresas comunales, operadores especializados en el recurso hídrico, asociaciones de vecinos, fundaciones y otros. Ya que una gestión integrada abarca todas las áreas posibles para ir generando un impacto positivo hacia el desarrollo sostenible del recurso hídrico.
- Incluir la parte técnica en el plan de gestión integrada que involucre a los profesionales orientados en el recurso hídrico superficial y subterráneo, para trabajar en conjunto con los actores ciudadanos, se pueda dirigir, gestionar y ejecutar proyectos enfocados en mejorar todas las falencias actuales en la administración del agua en la subcuenca. Lo cual permite reducir el porcentaje del riesgo, ya que se conocen las amenazas del lugar, por lo tanto, la vulnerabilidad deberá reducirse, a medida que se implementen las estrategias o la capacidad de respuesta ante las amenazas.
- Analizar y considerar el poco caudal que aporta el río Los Ocotes durante el año, para realizar estudios de factibilidad para la creación de pequeñas presas, ubicadas en puntos estratégicos, para aumentar el caudal

superficial disponible, darle el tratamiento adecuado al agua y así implementar sistemas de recarga hídrica profunda.

- Proteger las zonas boscosas que se tienen en la subcuenca, ya que son el principal aporte de recarga hídrica. Lo cual, favorecerá a los niveles freáticos que se tienen en el sector de Canalitos y otros que se encuentren dentro de la subcuenca. Ya que se cuenta con buena disponibilidad del recurso hídrico proveniente de la precipitación, según lo demostrado en los balances hídricos climáticos y de suelos, previamente presentados en el presente trabajo.
- Considerar siempre los factores ambientales que se ven influenciados por el cambio climático, respecto a la variación del tiempo de duración de los periodos de sequías y los periodos cortos en los que se tiene mucha intensidad pluvial.
- Lograr la aprobación del plan de gestión integrada del recurso hídrico para la subcuenca del río Los Ocotes, por parte de los políticos y los actores interesados que estén relacionados con el recurso hídrico. Luego implementar las acciones legales, institucionales y de gestión para el desarrollo de las capacidades de todos los actores.
- Evaluar y revisar de manera constante el progreso del plan de gestión integrada, para actualizarlo, según la disponibilidad del recurso hídrico, para los distintos usos que pueda tener según su calidad.

CONCLUSIONES

1. El río Los Ocotes tiene incidencia hidráulica en los pozos de agua potable del sistema Canalitos de la ciudad de Guatemala, debido a la permeabilidad secundaria que presenta la formación geológica de los acuíferos superior e inferior de dicha área de la subcuenca. Y las características fisicoquímicas del agua superficial y subterránea, tienden a ser similares tanto en época seca como en época lluviosa, siendo del tipo bicarbonatadas cálcicas o bicarbonatadas magnésicas, las cuales corresponden al tipo de agua dulce de recarga reciente, con evolución natural ligera.
2. Los niveles freáticos de los pozos de agua potable del sistema Canalitos, presentes en la subcuenca del río Los Ocotes, presentan un descenso medio anual estimado de 5,50 metros en los niveles estáticos y 4,00 metros en los niveles dinámicos. El potencial de recarga en el sector de Canalitos es casi nulo actualmente, debido a la impermeabilización de las posibles áreas de recarga. El potencial de recarga se centra en las zonas boscosas de la subcuenca.
3. La calidad del agua de los pozos del sistema Canalitos, cumple con la mayoría de los límites máximos admisibles y con todos los límites máximos permisibles establecidos en la norma técnica COGUANOR NTG 29001, para que sea apta para el consumo humano. Según su calidad bacteriológica, se enmarca en la clasificación de tipo I (OMS), por lo tanto, es suficiente un tratamiento simple de desinfección.

4. Las actividades antropogénicas tienen gran impacto en la calidad del agua del río Los Ocotes, ya que la carga bacteriológica es muy alta debido a las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo, que se vierten hacia el río.
5. Para realizar una buena gestión del recurso hídrico en el sector Canalitos, se deben involucrar todos los actores posibles que tengan competencia e interés en preservar el recurso hídrico en la subcuenca.
6. Para garantizar el abastecimiento de agua potable a la población del sector Canalitos, es de vital importancia la voluntad política a nivel local, regional y nacional, para establecer medidas y acciones que conlleven al desarrollo sostenible del recurso hídrico, involucrando a todos los actores disponibles en la subcuenca del río Los Ocotes.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar acciones que estén orientadas hacia un plan de desarrollo sostenible del recurso hídrico, ya que se conoce la incidencia hidráulica que tiene el río en los pozos de agua potable, la cual es en ambas direcciones, ya que en la parte baja de la subcuenca, es el agua subterránea la que aporta agua al río en la época seca. Por lo tanto, se deben disminuir los focos de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, mediante el cumplimiento y la aplicación de lo estipulado en las normativas y leyes vigentes, con el apoyo de las entidades en las que recae la responsabilidad de proteger el medio ambiente.
2. Para propiciar la recarga hídrica en el acuífero del sector Canalitos, de la subcuenca del río Los Ocotes, se puede realizar métodos de recarga profunda en el acuífero y que el agua tenga la calidad aceptable para poder infiltrarse en el acuífero, considerando la dirección del flujo del agua subterránea. En la época lluviosa se tendrá mayor cantidad de recarga ya que la permeabilidad de los suelos y rocas aumenta rápidamente en condiciones de saturación.
3. Se recomienda establecer programas de control y monitoreo constantes para tener en tiempo real las concentraciones de cloro residual y el potencial de hidrógeno, ya que ambos valores se encuentran fuera del rango del límite máximo admisible, pero están dentro del límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR NTG 29001.

4. El agua del río Los Ocotes, no se recomienda para el consumo humano. Ya que aparte de la carga bacteriológica alta, también se tiene la presencia de otros tipos de contaminación provocados por residuos de productos generados por las actividades antropogénicas.
5. Se recomienda realizar la coordinación con vecinos, asociaciones comunales y municipalidades, para realizar campañas de concientización y capacitación sobre el desarrollo sostenible del recurso hídrico e implementar las acciones pertinentes para llevar a cabo el plan y las estrategias establecidas en conjunto, ya que cada persona individual se convierte en un gestor del recurso hídrico, que puede generar un cambio positivo en el ambiente.
6. Se recomienda implementar un plan de gestión integrada del recurso hídrico y tomar acciones de acuerdo a dicho plan de gestión. Actualmente dependen de la recarga natural que se da en las partes altas y medias de la subcuenca. Ya que el recurso hídrico disponible en el sector tiende a ser cada vez más limitado, debido al descenso constante de los niveles freáticos en los pozos de agua potable del sistema Canalitos.

REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Diario de Centroamérica. 12 de mayo de 2006.
2. Acuerdo Número COM-24-2020. Instalación obligatoria de artefactos ahorradores de recurso hídrico dentro de la ciudad de Guatemala. Ciudad de Guatemala. 10 de julio de 2020.
3. Atkinson, R. (2016). *Una herramienta para el uso sostenible del agua*. Hablemos de sostenibilidad y cambio climático. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Recuperado de <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/agua/>.
4. Basterrechea, M., y Guerra, A. (2019). *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria UVG. Recuperado de <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap5.pdf>.
5. COGUANOR NTG 29001. (1999). *Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones*. Comisión Guatemalteca de Normas. Ministerio de Economía. Recuperado de http://ide.segeplan.gob.gt/ranking/ranking_portal/documentos/MunicipioSaludable/COGUANOR-NTG-29-001.pdf.

6. Coló, G. (2014). *Estudio de los niveles freáticos del área norte y este de la ciudad capital*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
7. CONAGUA. (2019). *Agua en el mundo. Especificaciones*. Comisión Nacional del Agua. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Gobierno de México. Recuperado de [https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo#:~:text=Componentes%20del%20ciclo%20hidrol%C3%B3gico%20en,son%20agua%20dulce%20\(2.5%25\)](https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo#:~:text=Componentes%20del%20ciclo%20hidrol%C3%B3gico%20en,son%20agua%20dulce%20(2.5%25).).
8. Freeze, A., y Cherry, J. (1979). *Groundwater*. United States of America. Prentice-Hall. ISBN: 0-13-365312-9. p. 604.
9. FUNCAGUA (2018). *Plan de conservación del agua*. Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/2020/04/27/2018-plan-de-conservacion-del-agua-para-la-region-metropolitana-de-guatemala-funcagua/>.
10. FUNCAGUA (17 de febrero 2020). *Situación actual del agua*. Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/situacion-actual-del-agua/>.
11. Gabinete Específico del Agua. (2011). *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*. Guatemala. p. 41. Recuperado de http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_pu

blicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf.

12. García, A. (2014). *Río Los Ocotes Guatemala*. Recuperado de <https://www.deguate.com/artman/publish/geo-rios/rio-los-ocotes-guatemala.shtml/>.
13. Garduño, H., Nanni, M., Foster, S., Tuinhof, K., Kemper, K. y Dumars, C. (2006). *La participación de los grupos interesados en la gestión del agua subterránea: movilizar y apoyar organizaciones de gestión de acuíferos*. Recuperado de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/615741468164042296/pdf/30094-SPANISH-REPLACEMENT-Box394855B-PUBLIC.pdf>.
14. GWP (2005). *Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)*. Manual de capacitación y guía operacional. Global Water Partnership. Red Internacional para el Desarrollo de Capacidades en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/manual-planes-girh.pdf.
15. GWP (2022). *Qué es la GIRH*. Principios de la GIRH. Recuperado de <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/como/Que-es-la-GIRH/>.
16. Herrera, I. (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009*. Estudio hidrogeológico de la subcuenca del Río Los Ocotes para determinar las áreas principales de recarga hídrica e identificación de las áreas

vulnerables a deslizamientos e inundaciones para proponer alternativas de prevención de la parte noreste de la ciudad de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

17. Herrera, I. (2016). *La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala*. Ciencia, Tecnología y Salud. 3 (1) 2016. pp. 17-26.
18. Herrera, I. (Abril, 2018). Sobreextracción de las aguas subterráneas en la cuenca norte de ciudad de Guatemala. *Revista científica de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala*, (19), 7-29. Recuperado de <http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2018/10/TIKALIA-2-2018.pdf>.
19. Hispagua. (2021). *Hidrogeología*. Recuperado de <https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>.
20. IARNA. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40197>.
21. Ibarra, A. (2009). *Gestión de la calidad del agua subterránea con la participación de usuarios*. México: UNAM.
22. INE. (2019). *Presentación de los resultados del censo 2018*. Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de <https://www.censopoblacion.gt/documentacion>.

23. INSIVUMEH. (2021). *Boletín anual No. 24 de calidad del agua Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala*. Recuperado de <https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2019/10/Boletin-anual-de-calidad-de-agua-2021.pdf>.
24. INSIVUMEH. (2022). *Atlas hidrológico de Guatemala, isoyetas medias anuales. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala*. Recuperado de https://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Hidrologico/isoyetas.jpg.
25. Kelly, D. (2005). *Seawater intrusion topic paper (final)*. Documento temático sobre intrusión de agua de mar. Recuperado de <https://apps.ecology.wa.gov/publications/documents/1203271.pdf>.
26. Maddocks, A., Young, R., y Reig, P. (2015). *Clasificación de los países con mayor estrés hídrico del mundo en 2040*. World Resources Institute (WRI). Recuperado de <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>.
27. Madrigal, H., Fonseca, A., y Reynolds, J. (2017). *Caracterización hidrogeoquímica de los acuíferos volcánicos Barva y Colima en el Valle Central de Costa Rica*. Tecnología y Ciencias del Agua, 8(1), 115-132.

28. MARN. (2015). *Política marco para la gestión integrada del recurso hídrico en Guatemala*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Propuesta de Acuerdo Gubernativo. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2014.-Politica-Marco-para-la-gestion-integrada-del-Recurso-Hidrico.pdf>.
29. Martínez, R. (2018). *Evaluación cualitativa de la influencia estacional en la calidad del agua del río Ocotes de la ciudad de Guatemala por medio de la determinación del índice simplificado de calidad del agua (ISQA)*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
30. Martínez, Y. y Villalejo, V. (2018). *La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos*. Ingeniería hidráulica y ambiental. 39 (1) pp. 58-72. Recuperado de <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/424/337>.
31. Mollinedo, F. (2014). *Historia de zona 24 (Canalitos)*. Recuperado de <http://guatehistoria.com/historia-de-zona-24-canalitos/>.
32. Morales, J. (2012). *Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el Valle de Guatemala*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
33. OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Organización

Mundial de la Salud. Ginebra 2011. ISBN 978-92-4-354995-8.
p.606.

34. OPS/OMS. (2022). *Agua y saneamiento*. Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>.
35. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2012). *The United Nations World Water Development report 4: managing water under uncertainty and risk (Vol.1)*. Paris: World Water Assessment Programme, UNESCO.
36. Osorio, M. (2015). *Construcción de modelos hidrogeológicos en medios fracturados a partir de información escasa*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. Escuela de Materiales. Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54825/1128390968.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
37. Padilla, T., y García, N. (Diciembre, 2012). Hidroquímica del agua superficial de la subcuenca del río Quscab, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17-20. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/932/93225180003.pdf>.
38. Pérez, C. (Diciembre, 2009). Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión. *Revista Geológica de América Central*, (41), 71-78. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45437348006>.

39. Pérez, F., y Fernandez, J. (2015). *Peligros asociados a los depósitos piroclásticos*. Peligros volcánicos. ISSN (edición impresa): 1132-9157 - (edición electrónica): 2385-3484, 59-65.
40. Pilar, M. (1987). *Técnicas de proyecciones de población de áreas menores. Aplicación y Evaluación*. 11-18. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/32594/D-13118.00_es.pdf?isAllowed=y&sequence=1.
41. POT. (2009). *Guía de Aplicación Plan de Ordenamiento Territorial*. Recuperado de <https://docplayer.es/60093346-Guia-de-aplicacion-plan-de-ordenamiento-territorial.html>.
42. Rosito, J. (2010). *Evaluación hidrológica del Cerro Las Granadillas y subcuenca priorizada El Riachuelo*. Proyecto PESH WWF/CARE. Guatemala.
43. Sánchez, F. (2021). *Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. Universidad de Salamanca. Departamento de geología. Recuperado de https://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf.
44. Schosinsky, G. (Noviembre, 2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Escuela Centroamericana de Geología. *Revista Geológica de América Central*, (34-35), 13-30.
45. SEGEPLAN. (2006). *Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (PNGIRH)*. Guatemala. p.33.

46. SEGEPLAN. (2006a). *Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala*. Guatemala.
47. Sostenible, M. (2014). *Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos*. Bogotá, D.C., Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
48. Vargas, T., Campillo, A., y García, V. (Febrero, 2011). Una metodología para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(19), 67-78.
49. Waterboards. (2021). *Folleto informativo pH*. Recuperado de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf.

APÉNDICES

Apéndice 1. Variables climáticas de la subcuenca del río Los Ocotes

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada variable climática de la subcuenca:

Apéndice 1.1. Temperatura mínima mensual promedio (°C) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
2008	13,43	13,41	14,25	15,37	16,76	15,61	15,64	16,12	15,71	15,31	12,47	13,25	14,78
2009	13,36	12,05	13,28	15,59	17,12	16,48	16,90	16,72	17,05	17,33	14,95	14,47	15,44
2010	13,11	13,68	15,26	16,84	18,14	17,26	17,26	17,15	16,45	15,44	14,05	12,10	15,56
2011	13,92	12,90	13,73	15,36	16,93	16,17	16,73	16,77	15,89	15,65	13,91	13,40	15,11
2012	13,67	13,16	14,01	15,11	17,19	16,26	16,39	16,33	15,65	15,72	12,72	13,20	14,95
2013	13,63	12,45	13,33	15,61	16,35	16,32	16,30	16,32	15,44	16,26	14,48	14,31	15,07
2014	12,53	13,28	15,64	16,00	17,00	16,23	16,60	15,94	15,06	15,97	14,28	13,56	15,17
2015	13,61	11,96	14,84	16,56	17,18	17,05	17,36	17,72	17,33	17,58	16,77	16,53	16,21
2016	14,38	13,04	17,00	17,23	18,90	17,49	17,46	17,55	16,49	16,87	14,94	15,61	16,41
2017	13,36	13,23	14,87	15,86	17,73	16,83	16,90	16,56	16,93	16,94	14,89	14,45	15,71
2018	12,90	13,15	15,63	16,03	16,95	16,13	16,69	17,04	16,88	16,81	15,80	14,15	15,68
2019	13,91	13,70	15,11	16,23	18,20	17,53	17,66	17,72	17,02	17,03	15,70	14,93	16,23
2020	14,97	14,65	16,22	17,80	18,74	16,50	18,13	16,29	16,17	17,63	16,44	14,70	16,52
2021	14,68	12,94	15,70	17,01	18,12	17,29	17,64	17,53	17,09	17,69	13,29	15,17	16,18

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1.2. Temperatura media mensual promedio (°C) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
2008	17,63	17,44	18,65	20,48	20,12	19,51	19,76	20,52	19,13	19,46	18,02	17,94	19,05
2009	19,01	17,19	19,03	20,80	21,51	20,17	21,20	21,00	20,05	20,58	18,25	19,40	19,85
2010	17,85	17,53	19,54	20,48	20,86	19,39	20,33	19,77	19,07	18,88	17,82	16,52	19,00
2011	19,01	17,72	19,52	20,26	20,82	19,89	20,47	20,39	19,29	19,30	18,89	18,48	19,50
2012	18,29	18,45	20,22	20,30	21,70	19,86	21,16	20,87	20,05	20,42	17,98	19,39	19,89
2013	19,62	18,32	19,96	21,51	21,55	20,57	20,99	20,38	19,32	20,81	19,38	19,12	20,13
2014	18,75	18,40	21,36	21,24	21,36	20,19	21,59	21,54	19,65	20,01	18,44	18,61	20,10
2015	18,35	17,54	20,57	21,31	22,20	20,80	21,68	22,25	20,19	20,60	19,85	20,55	20,49
2016	19,24	17,52	21,79	21,94	23,12	20,87	21,99	21,55	20,28	21,26	19,23	19,95	20,73
2017	18,91	18,38	20,23	21,22	21,57	20,00	21,54	21,32	20,24	20,23	18,84	18,46	20,08
2018	17,45	18,12	21,56	20,81	21,64	20,05	21,63	21,42	20,42	19,94	20,17	18,95	20,18
2019	19,17	18,60	20,78	21,08	21,94	21,13	22,00	21,73	20,49	20,25	19,51	19,62	20,53
2020	19,37	19,16	21,36	21,65	22,20	18,53	21,08	19,43	18,71	20,72	19,47	18,73	20,03
2021	19,10	17,48	20,43	20,68	21,43	20,10	21,41	20,37	20,27	20,94	18,45	19,28	20,00

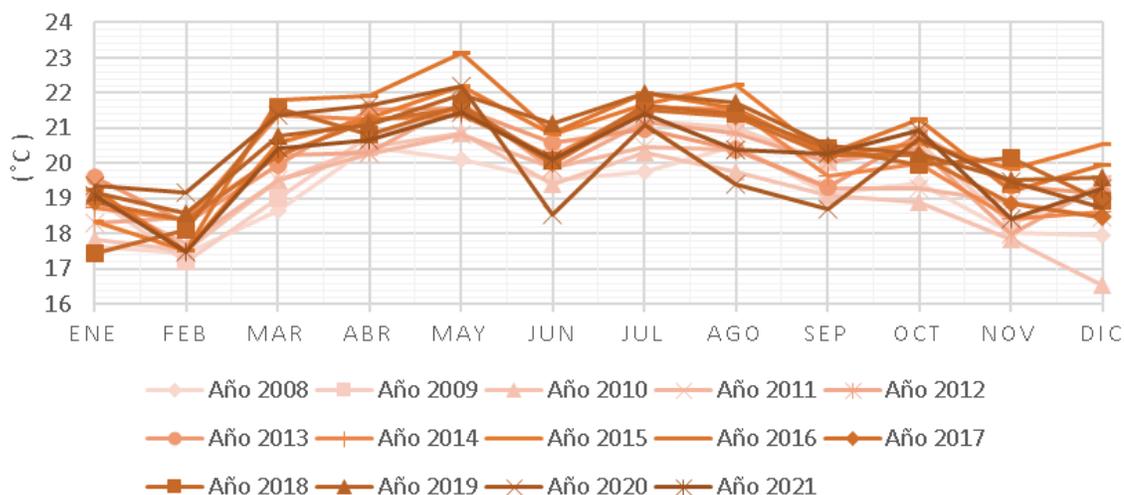
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1.3. Temperatura máxima mensual promedio (°C) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
2008	23,93	23,78	26,06	26,69	27,23	23,73	24,44	25,64	24,10	24,21	23,07	24,64	24,79
2009	24,32	22,55	25,31	26,53	26,53	25,49	26,17	25,89	25,96	26,54	24,26	24,57	25,34
2010	24,24	23,53	27,86	26,77	26,54	24,27	25,17	24,73	23,76	24,53	23,24	22,93	24,80
2011	25,11	23,81	25,74	26,81	27,15	25,16	25,85	26,22	24,62	24,00	24,09	23,94	25,21
2012	24,24	23,87	26,62	26,44	27,11	24,62	26,23	26,20	24,93	25,83	23,15	25,45	25,39
2013	25,31	23,82	26,54	27,14	26,99	25,49	25,83	25,97	24,42	25,80	24,26	23,96	25,46
2014	24,98	24,17	27,76	26,82	26,47	24,45	26,45	26,73	24,05	24,71	23,38	23,73	25,31
2015	23,66	22,95	26,48	27,12	27,87	25,25	26,36	27,06	24,42	25,29	23,60	24,90	25,41
2016	24,17	22,17	27,01	26,80	27,80	24,41	26,82	25,87	24,65	26,15	24,32	24,57	25,39
2017	25,04	23,72	25,58	27,76	26,21	24,25	26,13	26,15	24,78	24,08	23,39	23,07	25,01
2018	22,24	23,32	28,08	26,59	27,03	24,34	26,64	26,31	25,31	24,59	24,92	23,60	25,25
2019	24,27	24,29	26,96	26,58	26,69	25,68	26,81	26,37	24,65	25,29	24,28	24,42	25,52
2020	24,44	23,55	26,36	26,32	26,29	22,25	24,27	21,87	21,56	24,60	23,37	22,86	23,98
2021	22,84	21,25	24,77	25,01	25,40	23,59	24,98	23,84	24,04	24,84	22,89	23,48	23,91

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1.4. Temperatura media mensual promedio (°C) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1.5. Precipitación media mensual promedio (mm) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
2008	3,30	11,90	3,40	22,40	169,60	460,30	410,60	187,30	354,80	67,40	0,00	0,00	1691,00
2009	0,00	4,00	0,00	17,30	161,00	189,60	94,70	141,50	90,20	81,20	130,50	29,50	939,50
2010	0,00	1,30	0,00	108,20	429,40	376,90	317,40	470,80	343,60	26,80	6,40	0,00	2080,80
2011	0,00	7,00	13,40	15,30	101,50	222,60	238,60	414,20	246,80	384,50	14,10	1,50	1659,50
2012	3,20	5,30	5,10	40,90	130,40	165,50	121,10	397,50	130,90	71,90	3,20	1,10	1076,10
2013	0,20	2,60	34,20	13,70	167,10	166,90	262,10	300,20	273,70	224,30	4,90	2,00	1451,90
2014	0,00	2,10	63,70	10,60	178,40	358,30	52,00	151,50	300,40	239,80	6,30	2,30	1365,40
2015	0,30	0,40	28,90	79,60	194,40	174,30	157,00	104,70	333,40	156,90	69,30	2,00	1301,20
2016	1,40	0,00	10,00	23,70	62,40	225,80	97,70	177,20	352,70	41,30	4,30	3,00	999,50
2017	3,80	10,70	0,40	9,00	311,50	220,60	115,00	196,80	140,50	117,40	0,00	0,10	1125,80
2018	0,40	10,50	3,10	19,70	196,30	293,00	18,70	117,60	174,70	178,00	0,00	0,10	1012,10
2019	3,20	3,30	6,30	25,00	58,10	85,60	71,90	220,80	236,90	286,60	21,10	5,30	1024,10
2020	5,30	0,90	0,00	42,10	213,40	110,30	155,10	171,10	310,40	238,80	58,10	0,30	1305,80
2021	12,80	5,70	0,00	33,40	145,90	316,70	149,60	217,30	100,70	158,00	2,30	3,70	1146,10

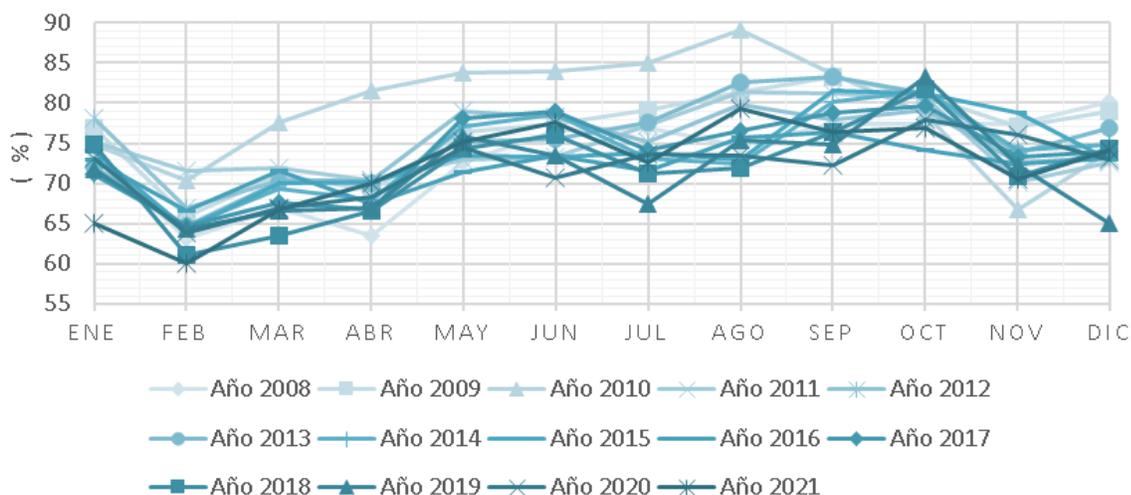
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1.6. Humedad relativa promedio (%) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
2008	73,84	63,16	66,94	63,48	72,65	76,58	76,97	74,68	77,42	77,39	77,45	80,16	73,39
2009	76,84	65,81	70,97	69,13	76,39	77,45	79,13	81,35	83,26	80,84	77,10	78,94	76,43
2010	74,84	70,29	77,65	81,58	83,81	83,87	85,03	89,10	83,61	78,65	66,81	73,90	79,09
2011	75,26	71,61	71,87	70,35	72,90	73,29	77,32	81,42	81,19	80,61	70,16	72,65	74,89
2012	78,13	66,97	70,32	70,29	78,94	78,29	75,19	79,87	77,87	79,16	72,55	73,23	75,07
2013	72,06	64,61	70,16	69,94	75,13	75,48	77,58	82,65	83,19	81,13	73,77	76,94	75,22
2014	71,13	64,61	69,35	67,87	77,03	78,65	73,19	72,45	80,13	81,61	74,06	74,77	73,74
2015	73,90	64,32	70,06	70,16	73,52	73,29	73,74	73,00	81,55	81,16	78,87	72,94	73,88
2016	72,90	66,65	71,48	67,42	71,39	73,39	71,48	75,68	76,39	74,10	72,39	73,10	72,20
2017	71,23	64,68	67,68	66,71	78,03	79,03	74,16	76,55	78,71	79,58	73,26	74,00	73,63
2018	74,81	61,00	63,55	66,61	74,29	76,03	71,26	71,90	76,39	81,74	70,84	74,26	71,89
2019	71,81	64,29	66,58	66,90	75,87	73,39	67,48	75,29	74,90	83,26	72,19	65,10	71,42
2020	73,13	63,81	66,94	68,29	74,52	70,71	73,68	73,42	72,32	77,94	75,97	73,00	71,98
2021	65,10	60,00	66,77	69,97	75,23	77,52	72,52	79,39	76,32	76,90	70,52	74,23	72,04

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1.7. Humedad relativa promedio mensual (%) de la ciudad de Guatemala desde el año 2008 hasta el 2021



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Variables climáticas mediante los métodos de Hargreaves, Thornthwaite y Schosinsky

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada variable climática mediante la aplicación de los métodos de Hargreaves, Thornthwaite y Schosinsky:

Apéndice 2.1. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2008 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	13,43	13,41	14,25	15,37	16,76	15,61	15,64	16,12	15,71	15,31	12,47	13,25	14,78
Tmáx (°C)	23,93	23,78	26,06	26,69	27,23	23,73	24,44	25,64	24,10	24,21	23,07	24,64	24,79
Tmed (°C)	17,63	17,44	18,65	20,48	20,12	19,51	19,76	20,52	19,13	19,46	18,02	17,94	19,05
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
Etp (mm/día)	3,22	3,52	4,23	4,62	4,43	3,81	3,99	4,21	3,69	3,53	3,35	3,27	3,82
Etp (mm/mes)	99,78	98,61	131,26	138,53	137,26	114,33	123,81	130,59	110,61	109,35	100,55	101,43	116,34

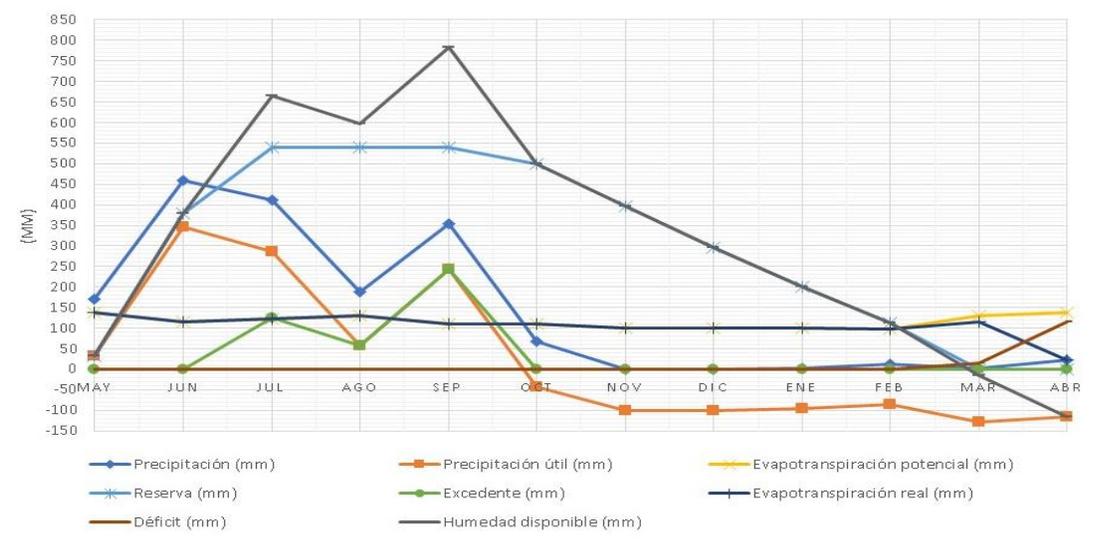
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.2. Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2008 - Método de Thornthwaite

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	137,26	114,33	123,81	130,59	110,61	109,35	100,55	101,43	99,78	98,61	131,26	138,53	1396,12
P (mm)	169,60	460,30	410,60	187,30	354,80	67,40	0,00	0,00	3,30	11,90	3,40	22,40	1691,00
Pu (mm)	32,34	345,97	286,79	56,71	244,19	-41,95	-100,55	-101,43	-96,48	-86,71	-127,86	-116,13	294,88
R (mm)	32,34	378,31	540,23	540,23	540,23	498,28	397,73	296,30	199,82	113,10	0,00	0,00	3536,55
E (mm)	0,00	0,00	124,87	56,71	244,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	425,77
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,76	116,13	130,89
ETR (mm)	137,26	114,33	123,81	130,59	110,61	109,35	100,55	101,43	99,78	98,61	116,50	22,40	1265,23
HD (mm)	32,34	378,31	665,10	596,93	784,41	498,28	397,73	296,30	199,82	113,10	-14,76	-116,13	3831,42
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	3,87	4,35
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,76	116,13	130,89

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.3. **Gráfica del balance climático (mm/mes) Canalitos año 2008 - Método de Thornthwaite**



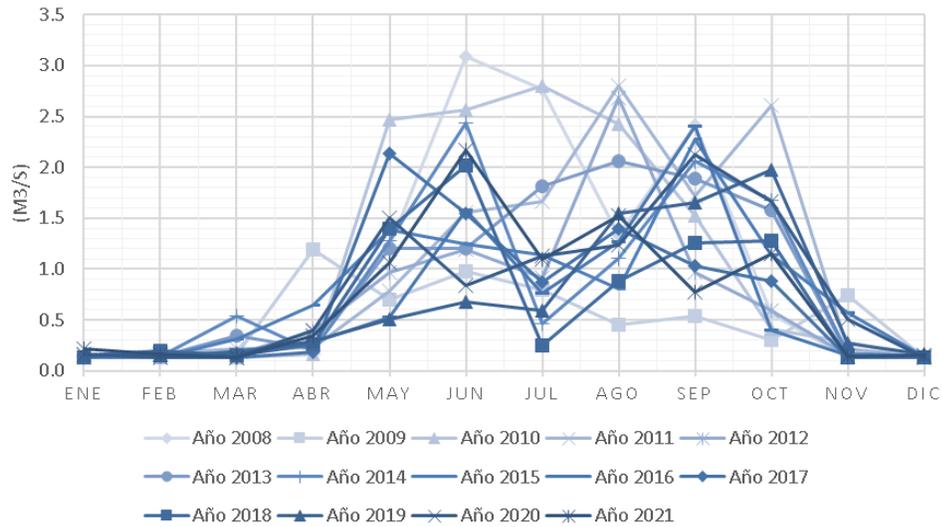
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.4. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2008 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	67,40	0,00	0,00	3,30	11,90	3,40	22,40	169,60	460,30	410,60	187,30	354,80	1691,00
PI (mm)	45,02	0,00	0,00	3,30	7,95	3,40	14,96	113,28	307,43	274,24	125,10	236,97	1131,64
ESC (mm)	22,38	0,00	0,00	0,00	3,95	0,00	7,44	56,32	152,87	136,36	62,20	117,83	559,36
ETP (mm)	109,35	100,55	101,43	99,78	98,61	131,26	138,53	137,26	114,33	123,81	130,59	110,61	1396,12
Hsi (mm)	540,23	498,00	443,85	407,08	384,84	373,09	359,08	357,03	415,21	540,23	540,23	536,84	
HD (mm)	253,86	166,62	112,47	79,00	61,41	45,11	42,66	138,92	391,26	483,08	333,94	442,43	
ETR (mm)	87,24	54,15	36,77	25,54	19,70	17,41	17,01	55,10	114,33	123,81	128,48	110,61	790,15
HSf (mm)	498,00	443,85	407,08	384,84	373,09	359,08	357,03	415,21	540,23	540,23	536,84	540,23	
DCC (mm)	42,22	96,37	133,14	155,38	167,13	181,14	183,20	125,02	0,00	0,00	3,38	0,00	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,09	150,43	0,00	122,98	341,49
NR (mm)	64,33	142,78	197,80	229,62	246,05	295,00	304,71	207,18	0,00	0,00	5,49	0,00	1692,97
PdHd (mm/día)	1,36	3,21	4,29	5,01	5,97	5,84	6,11	4,03	0,00	0,00	0,11	0,00	
PdHm (mm/mes)	42,22	96,37	133,14	155,38	167,13	181,14	183,20	125,02	0,00	0,00	3,38	0,00	1086,99

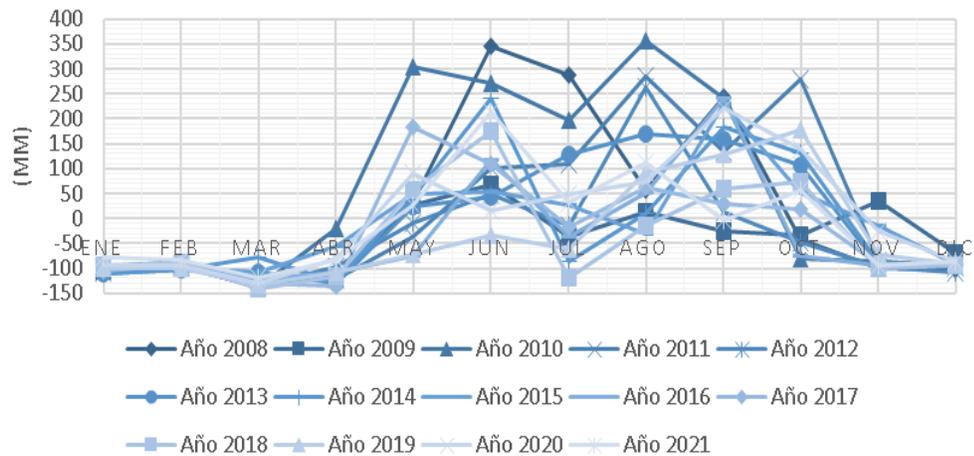
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.5. Hidrogramas promedio estimados (m³/s) del río Los Ocotes desde el año 2008 hasta el 2021



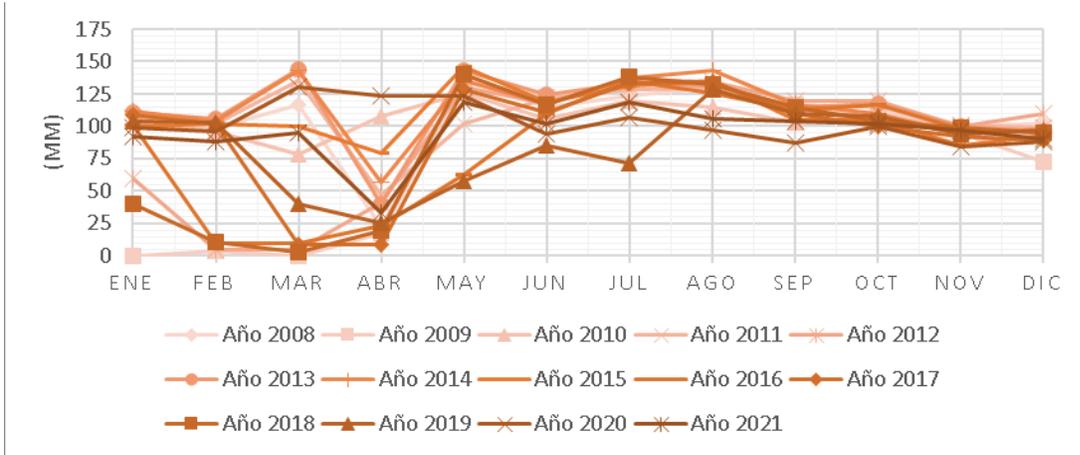
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.6. Gráfica de la precipitación útil (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021



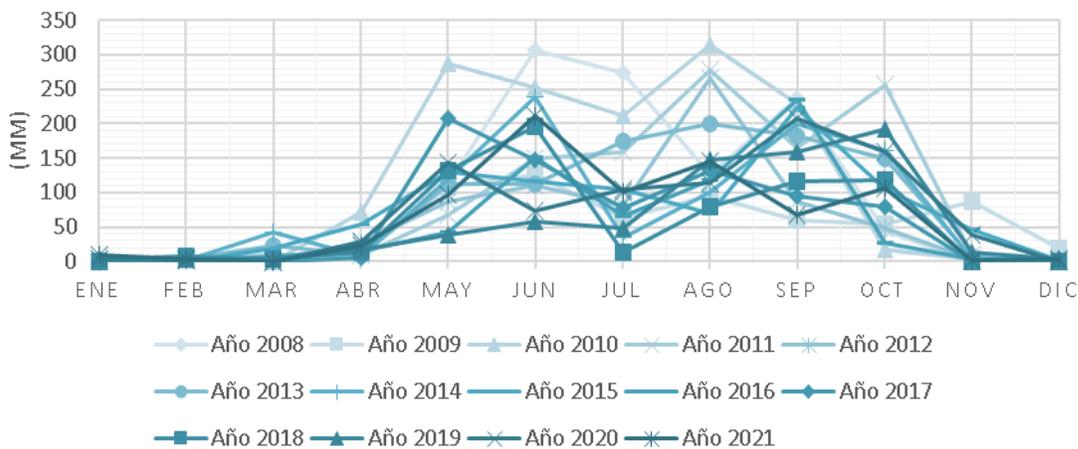
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.7. Gráfica de la evapotranspiración real (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021



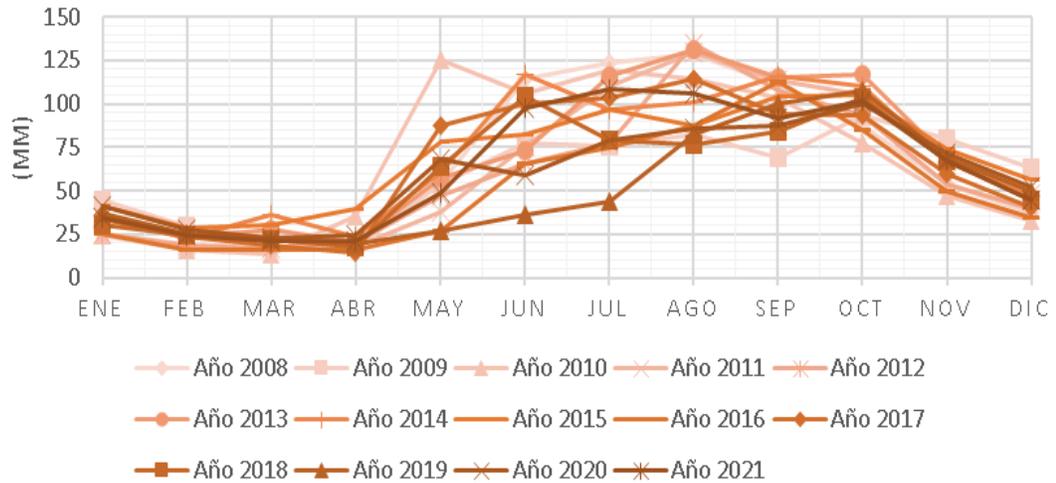
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.8. Gráfica de la precipitación infiltrada (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021



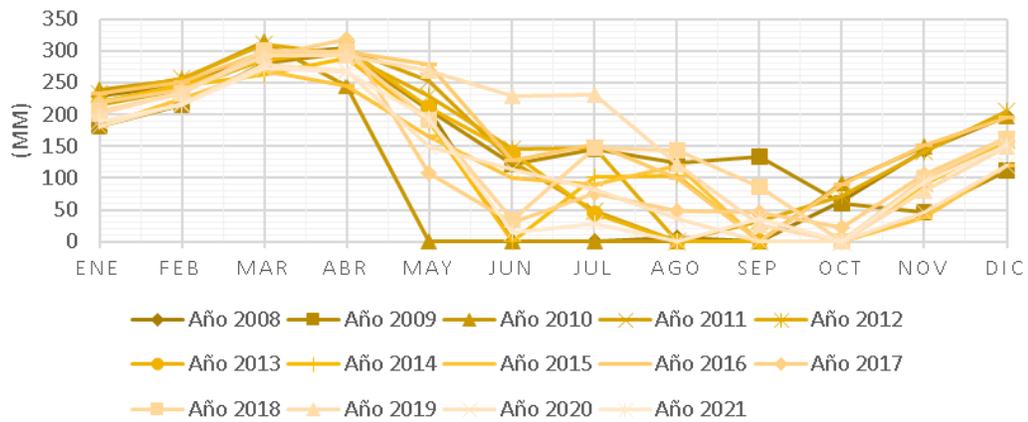
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.9. **Gráfica de la evapotranspiración real (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



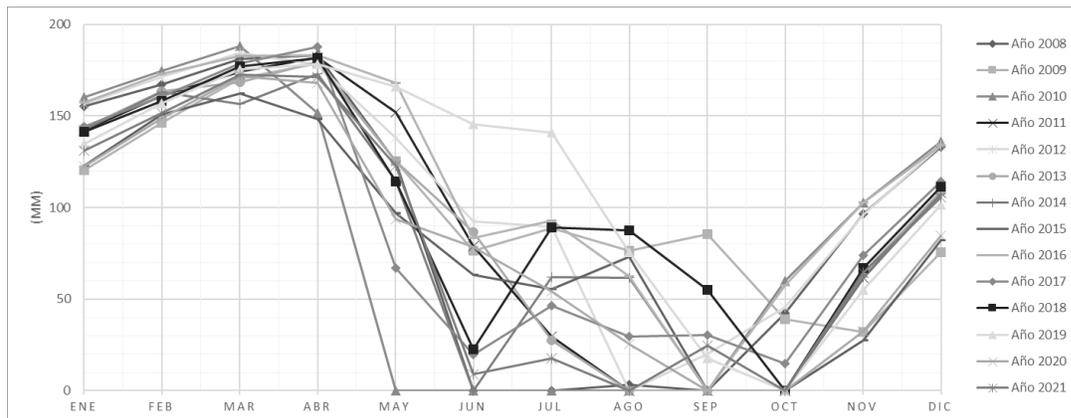
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.10. **Gráfica de la necesidad de riego (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.11. **Gráfica de la pérdida de humedad (mm/mes) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.12. **Caudales mensuales promedio estimados (m3/s) del río Los Ocotes desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	0,15	0,21	0,15	0,27	1,22	3,09	2,77	1,34	2,41	0,56	0,13	0,13	1,04
2009	0,13	0,13	0,16	1,19	0,70	0,98	0,80	0,45	0,54	0,30	0,74	0,13	0,52
2010	0,13	0,13	0,13	0,16	2,47	2,56	2,80	2,42	1,52	0,41	0,28	0,13	1,10
2011	0,13	0,18	0,22	0,23	0,78	1,56	1,67	2,79	1,72	2,60	0,22	0,14	1,02
2012	0,15	0,16	0,16	0,39	0,97	1,19	0,91	2,69	0,97	0,59	0,15	0,14	0,71
2013	0,13	0,15	0,35	0,22	1,21	1,20	1,82	2,06	1,89	1,57	0,16	0,14	0,91
2014	0,13	0,14	0,54	0,20	1,28	2,44	0,46	1,10	2,06	1,67	0,17	0,14	0,86
2015	0,13	0,13	0,32	0,64	1,38	1,25	1,14	0,80	2,28	1,14	0,58	0,14	0,83
2016	0,14	0,13	0,19	0,28	0,53	1,58	0,76	1,27	2,40	0,40	0,16	0,15	0,67
2017	0,15	0,20	0,13	0,19	2,13	1,55	0,87	1,40	1,03	0,89	0,13	0,13	0,73
2018	0,13	0,20	0,15	0,26	1,39	2,02	0,25	0,89	1,25	1,28	0,13	0,13	0,67
2019	0,15	0,15	0,17	0,29	0,50	0,68	0,59	1,55	1,65	1,97	0,27	0,16	0,68
2020	0,16	0,14	0,13	0,40	1,50	0,84	1,13	1,23	2,13	1,67	0,50	0,13	0,83
2021	0,21	0,17	0,13	0,34	1,07	2,17	1,09	1,53	0,78	1,15	0,14	0,15	0,74
Promedio Estimado	0,15	0,16	0,21	0,36	1,22	1,65	1,22	1,54	1,62	1,16	0,27	0,14	0,81
Promedio FODECYT 035-2009	0,13	0,13	0,15	0,68	1,58	1,77	1,80	1,44	1,03	0,36	0,51	0,13	0,81

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.13. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2009 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	13,36	12,05	13,28	15,59	17,12	16,48	16,90	16,72	17,05	17,33	14,95	14,47	15,44
Tmáx (°C)	24,32	22,55	25,31	26,53	26,53	25,49	26,17	25,89	25,96	26,54	24,26	24,57	25,34
Tmed (°C)	19,01	17,19	19,03	20,80	21,51	20,17	21,20	21,00	20,05	20,58	18,25	19,40	19,85
Ro (mm/día)	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15	13,8	12,5	11,8	14,29
Etp (mm/día)	3,42	3,52	4,32	4,58	4,35	4,09	4,26	4,19	3,90	3,70	3,16	3,21	3,89
Etp (mm/mes)	105,91	98,54	133,84	137,37	134,90	122,58	132,00	129,77	116,93	114,55	94,84	99,42	118,39

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.14. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2010 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	13,11	13,68	15,26	16,84	18,14	17,26	17,26	17,15	16,45	15,44	14,05	12,10	15,56
Tmáx (°C)	24,24	23,53	27,86	26,77	26,54	24,27	25,17	24,73	23,76	24,53	23,24	22,93	24,80
Tmed (°C)	17,85	17,53	19,54	20,48	20,86	19,39	20,33	19,77	19,07	18,88	17,82	16,52	19,00
Ro (mm/día)	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15	13,8	12,5	11,8	14,29
Etp (mm/día)	3,34	3,44	4,48	4,33	4,04	3,53	3,84	3,69	3,44	3,51	3,10	3,06	3,65
Etp (mm/mes)	103,40	96,32	138,85	129,79	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	108,79	93,07	94,99	111,09

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.15. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2011 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	13,92	12,90	13,73	15,36	16,93	16,17	16,73	16,77	15,89	15,65	13,91	13,40	15,11
Tmáx (°C)	25,11	23,81	25,74	26,81	27,15	25,16	25,85	26,22	24,62	24,00	24,09	23,94	25,21
Tmed (°C)	19,01	17,72	19,52	20,26	20,82	19,89	20,47	20,39	19,29	19,30	18,89	18,48	19,50
Ro (mm/día)	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15	13,8	12,5	11,8	14,29
Etp (mm/día)	3,45	3,64	4,37	4,62	4,45	4,05	4,14	4,18	3,78	3,40	3,36	3,19	3,89
Etp (mm/mes)	107,05	101,94	135,48	138,59	138,09	121,58	128,47	129,70	113,39	105,47	100,91	99,02	118,31

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.16. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2012 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	13,67	13,16	14,01	15,11	17,19	16,26	16,39	16,33	15,65	15,72	12,72	13,20	14,95
Tmáx (°C)	24,24	23,87	26,62	26,44	27,11	24,62	26,23	26,20	24,93	25,83	23,15	25,45	25,39
Tmed (°C)	18,29	18,45	20,22	20,30	21,70	19,86	21,16	20,87	20,05	20,42	17,98	19,39	19,89
Ro (mm/día)	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15	13,8	12,5	11,8	14,29
Etp (mm/día)	3,29	3,68	4,56	4,60	4,49	3,91	4,38	4,33	3,97	3,86	3,32	3,53	3,99
Etp (mm/mes)	102,00	103,09	141,40	137,98	139,18	117,17	135,88	134,19	119,24	119,55	99,62	109,45	121,56

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.17. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2013 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
T _{mín} (°C)	13,63	12,45	13,33	15,61	16,35	16,32	16,30	16,32	15,44	16,26	14,48	14,31	15,07
T _{máx} (°C)	25,31	23,82	26,54	27,14	26,99	25,49	25,83	25,97	24,42	25,80	24,26	23,96	25,46
T _{med} (°C)	19,62	18,32	19,96	21,51	21,55	20,57	20,99	20,38	19,32	20,81	19,38	19,12	20,13
Ro (mm/día)	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15	13,8	12,5	11,8	14,29
E _{tp} (mm/día)	3,59	3,78	4,64	4,79	4,63	4,17	4,29	4,23	3,84	3,78	3,34	3,11	4,02
E _{tp} (mm/mes)	111,20	105,86	143,79	143,64	143,59	124,96	133,14	131,00	115,10	117,26	100,25	96,41	122,18

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.18. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2014 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
T _{mín} (°C)	12,53	13,28	15,64	16,00	17,00	16,23	16,60	15,94	15,06	15,97	14,28	13,56	15,17
T _{máx} (°C)	24,98	24,17	27,76	26,82	26,47	24,45	26,45	26,73	24,05	24,71	23,38	23,73	25,31
T _{med} (°C)	18,75	18,40	21,36	21,24	21,36	20,19	21,59	21,54	19,65	20,01	18,44	18,61	20,10
Ro (mm/día)	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15	13,8	12,5	11,8	14,29
E _{tp} (mm/día)	3,62	3,71	4,61	4,61	4,35	3,91	4,43	4,60	3,87	3,55	3,14	3,15	3,96
E _{tp} (mm/mes)	112,12	103,83	142,84	138,18	134,86	117,16	137,42	142,69	116,19	109,93	94,22	97,64	120,59

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.19. **Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2015 - Método de Hargreaves**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	13,61	11,96	14,84	16,56	17,18	17,05	17,36	17,72	17,33	17,58	16,77	16,53	16,21
Tmáx (°C)	23,66	22,95	26,48	27,12	27,87	25,25	26,36	27,06	24,42	25,29	23,60	24,90	25,41
Tmed (°C)	18,35	17,54	20,57	21,31	22,20	20,80	21,68	22,25	20,19	20,60	19,85	20,55	20,49
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
Etp (mm/día)	3,21	3,63	4,43	4,56	4,72	3,96	4,25	4,36	3,49	3,38	2,83	3,01	3,82
Etp (mm/mes)	99,65	101,74	137,18	136,71	146,29	118,90	131,72	135,20	104,68	104,89	84,85	93,28	116,26

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.20. **Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2016 - Método de Hargreaves**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	14,38	13,04	17,00	17,23	18,90	17,49	17,46	17,55	16,49	16,87	14,94	15,61	16,41
Tmáx (°C)	24,17	22,17	27,01	26,80	27,80	24,41	26,82	25,87	24,65	26,15	24,32	24,57	25,39
Tmed (°C)	19,24	17,52	21,79	21,94	23,12	20,87	21,99	21,55	20,28	21,26	19,23	19,95	20,73
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
Etp (mm/día)	3,25	3,31	4,23	4,41	4,41	3,65	4,36	4,04	3,75	3,77	3,26	3,07	3,79
Etp (mm/mes)	100,78	92,71	131,18	132,28	136,57	109,45	135,31	125,39	112,57	116,98	97,76	95,04	115,50

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.21. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2017 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	13,36	13,23	14,87	15,86	17,73	16,83	16,90	16,56	16,93	16,94	14,89	14,45	15,71
Tmáx (°C)	25,04	23,72	25,58	27,76	26,21	24,25	26,13	26,15	24,78	24,08	23,39	23,07	25,01
Tmed (°C)	18,91	18,38	20,23	21,22	21,57	20,00	21,54	21,32	20,24	20,23	18,84	18,46	20,08
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
Etp (mm/día)	3,52	3,64	4,21	4,83	4,14	3,69	4,29	4,32	3,67	3,22	3,07	2,89	3,79
Etp (mm/mes)	109,05	101,81	130,36	144,80	128,34	110,76	132,86	133,80	110,23	99,94	92,12	89,49	115,30

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.22. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2018 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Tmín (°C)	12,90	13,15	15,63	16,03	16,95	16,13	16,69	17,04	16,88	16,81	15,80	14,15	15,68
Tmáx (°C)	22,24	23,32	28,08	26,59	27,03	24,34	26,64	26,31	25,31	24,59	24,92	23,60	25,25
Tmed (°C)	17,45	18,12	21,56	20,81	21,64	20,05	21,63	21,42	20,42	19,94	20,17	18,95	20,18
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
Etp (mm/día)	3,02	3,55	4,69	4,50	4,52	3,89	4,46	4,25	3,83	3,34	3,29	3,06	3,87
Etp (mm/mes)	93,64	99,50	145,48	135,01	140,10	116,67	138,22	131,86	114,77	103,53	98,84	95,00	117,72

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.23. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2019 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
T _{mín} (°C)	13,91	13,70	15,11	16,23	18,20	17,53	17,66	17,72	17,02	17,03	15,70	14,93	16,23
T _{máx} (°C)	24,27	24,29	26,96	26,58	26,69	25,68	26,81	26,37	24,65	25,29	24,28	24,42	25,52
T _{med} (°C)	19,17	18,60	20,78	21,08	21,94	21,13	22,00	21,73	20,49	20,25	19,51	19,62	20,53
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
E _{tp} (mm/día)	3,34	3,68	4,49	4,49	4,18	3,99	4,32	4,14	3,65	3,47	3,14	3,13	3,83
E _{tp} (mm/mes)	103,47	102,94	139,15	134,56	129,59	119,61	133,85	128,37	109,41	107,57	94,19	96,95	116,64

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.24. Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2020 - Método de Hargreaves

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
T _{mín} (°C)	14,97	14,65	16,22	17,80	18,74	16,50	18,13	16,29	16,17	17,63	16,44	14,70	16,52
T _{máx} (°C)	24,44	23,55	26,36	26,32	26,29	22,25	24,27	21,87	21,56	24,60	23,37	22,86	23,98
T _{med} (°C)	19,37	19,16	21,36	21,65	22,20	18,53	21,08	19,43	18,71	20,72	19,47	18,73	20,03
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
E _{tp} (mm/día)	3,21	3,42	4,21	4,13	3,97	3,12	3,45	3,13	2,92	3,23	2,82	2,83	3,37
E _{tp} (mm/mes)	99,45	95,87	130,60	123,85	123,02	93,70	107,09	97,13	87,68	100,01	84,62	87,76	102,57

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.25. **Evapotranspiración potencial (mm/mes) Canalitos año 2021 - Método de Hargreaves**

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
T _{mín} (°C)	14,68	12,94	15,70	17,01	18,12	17,29	17,64	17,53	17,09	17,69	13,29	15,17	16,18
T _{máx} (°C)	22,84	21,25	24,77	25,01	25,40	23,59	24,98	23,84	24,04	24,84	22,89	23,48	23,91
T _{med} (°C)	19,10	17,48	20,43	20,68	21,43	20,10	21,41	20,37	20,27	20,94	18,45	19,28	20,00
Ro (mm/día)	12,20	13,50	14,70	15,60	15,70	15,60	15,60	15,50	15,00	13,80	12,50	11,80	14,29
E _{tp} (mm/día)	2,96	3,16	3,89	3,90	3,82	3,41	3,81	3,42	3,46	3,29	3,23	2,90	3,44
E _{tp} (mm/mes)	91,66	88,41	120,60	117,09	118,41	102,40	118,14	105,91	103,85	101,91	96,81	89,91	104,59

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.26. Precipitación promedio mensual (mm) y estimación de caudales mensuales (m3/s) del río Los Ocotes Años del 2008 hasta 2021

Año	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	P (mm)	3,30	11,90	3,40	22,40	169,60	460,30	410,60	187,30	354,80	67,40	0,00	0,00	1691,00
	Q (m3/s)	0,15	0,21	0,15	0,27	1,22	3,09	2,77	1,34	2,41	0,56	0,13	0,13	12,44
2009	P (mm)	0,00	4,00	0,00	17,30	161,00	189,60	94,70	141,50	90,20	81,20	130,50	29,50	939,50
	Q (m3/s)	2,40	0,40	0,16	0,15	0,14	0,13	0,19	0,28	0,53	1,58	0,76	1,27	7,99
2010	P (mm)	0,00	1,30	0,00	108,20	429,40	376,90	317,40	470,80	343,60	26,80	6,40	0,00	2080,80
	Q (m3/s)	140,50	117,40	0,00	0,10	3,80	10,70	0,40	9,00	311,50	220,60	115,00	196,80	1125,80
2011	P (mm)	0,00	7,00	13,40	15,30	101,50	222,60	238,60	414,20	246,80	384,50	14,10	1,50	1659,50
	Q (m3/s)	0,13	0,18	0,22	0,23	0,78	1,56	1,67	2,79	1,72	2,60	0,22	0,14	12,24
2012	P (mm)	3,20	5,30	5,10	40,90	130,40	165,50	121,10	397,50	130,90	71,90	3,20	1,10	1076,10
	Q (m3/s)	0,15	0,16	0,16	0,39	0,97	1,19	0,91	2,69	0,97	0,59	0,15	0,14	8,48
2013	P (mm)	0,20	2,60	34,20	13,70	167,10	166,90	262,10	300,20	273,70	224,30	4,90	2,00	1451,90
	Q (m3/s)	0,13	0,15	0,35	0,22	1,21	1,20	1,82	2,06	1,89	1,57	0,16	0,14	10,90
2014	P (mm)	0,00	2,10	63,70	10,60	178,40	358,30	52,00	151,50	300,40	239,80	6,30	2,30	1365,40
	Q (m3/s)	0,13	0,14	0,54	0,20	1,28	2,44	0,46	1,10	2,06	1,67	0,17	0,14	10,34
2015	P (mm)	0,30	0,40	28,90	79,60	194,40	174,30	157,00	104,70	333,40	156,90	69,30	2,00	1301,20
	Q (m3/s)	0,13	0,13	0,32	0,64	1,38	1,25	1,14	0,80	2,28	1,14	0,58	0,14	9,93
2016	P (mm)	1,40	0,00	10,00	23,70	62,40	225,80	97,70	177,20	352,70	41,30	4,30	3,00	999,50
	Q (m3/s)	0,14	0,13	0,19	0,28	0,53	1,58	0,76	1,27	2,40	0,40	0,16	0,15	7,99
2017	P (mm)	3,80	10,70	0,40	9,00	311,50	220,60	115,00	196,80	140,50	117,40	0,00	0,10	1125,80
	Q (m3/s)	0,15	0,20	0,13	0,19	2,13	1,55	0,87	1,40	1,03	0,89	0,13	0,13	8,80
2018	P (mm)	0,40	10,50	3,10	19,70	196,30	293,00	18,70	117,60	174,70	178,00	0,00	0,10	1012,10
	Q (m3/s)	0,13	0,20	0,15	0,26	1,39	2,02	0,25	0,89	1,25	1,28	0,13	0,13	8,07
2019	P (mm)	3,20	3,30	6,30	25,00	58,10	85,60	71,90	220,80	236,90	286,60	21,10	5,30	1024,10
	Q (m3/s)	0,15	0,15	0,17	0,29	0,50	0,68	0,59	1,55	1,65	1,97	0,27	0,16	8,15
2020	P (mm)	5,30	0,90	0,00	42,10	213,40	110,30	155,10	171,10	310,40	238,80	58,10	0,30	1305,80
	Q (m3/s)	0,16	0,14	0,13	0,40	1,50	0,84	1,13	1,23	2,13	1,67	0,50	0,13	9,96
2021	P (mm)	12,80	5,70	0,00	33,40	145,90	316,70	149,60	217,30	100,70	158,00	2,30	3,70	1146,10
	Q (m3/s)	0,21	0,17	0,13	0,34	1,07	2,17	1,09	1,53	0,78	1,15	0,14	0,15	8,93

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Resultados de los balances hídricos climáticos en Canalitos desde el año 2008 hasta el 2021 - Método de Thornthwaite

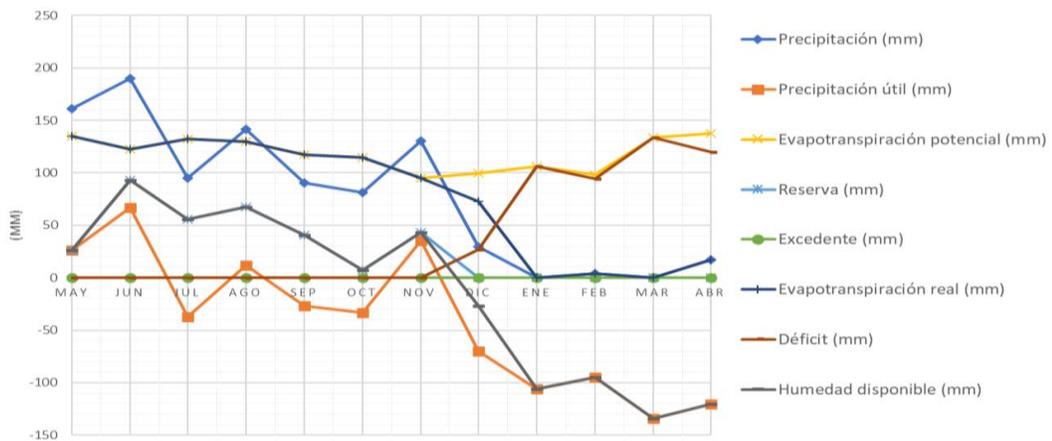
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada balance hídrico climático aplicando el método de Thornthwaite:

Apéndice 3.1. Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2009 - Método de Thornthwaite

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	134,90	122,58	132,00	129,77	116,93	114,55	94,84	99,42	105,91	98,54	133,84	137,37	1420,65
P (mm)	161,00	189,60	94,70	141,50	90,20	81,20	130,50	29,50	0,00	4,00	0,00	17,30	939,50
Pu (mm)	26,10	67,02	-37,30	11,73	-26,73	-33,35	35,66	-69,92	-105,91	-94,54	-133,84	-120,07	-481,15
R (mm)	26,10	93,11	55,81	67,55	40,82	7,46	43,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	333,97
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,80	105,91	94,54	133,84	120,07	481,15
ETR (mm)	134,90	122,58	132,00	129,77	116,93	114,55	94,84	72,62	0,00	4,00	0,00	17,30	939,50
HD (mm)	26,10	93,11	55,81	67,55	40,82	7,46	43,12	-26,80	-105,91	-94,54	-133,84	-120,07	-147,19
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	3,42	3,38	4,32	4,00	15,98
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,80	105,91	94,54	133,84	120,07	481,15

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.2. Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2009 - Método de Thornthwaite



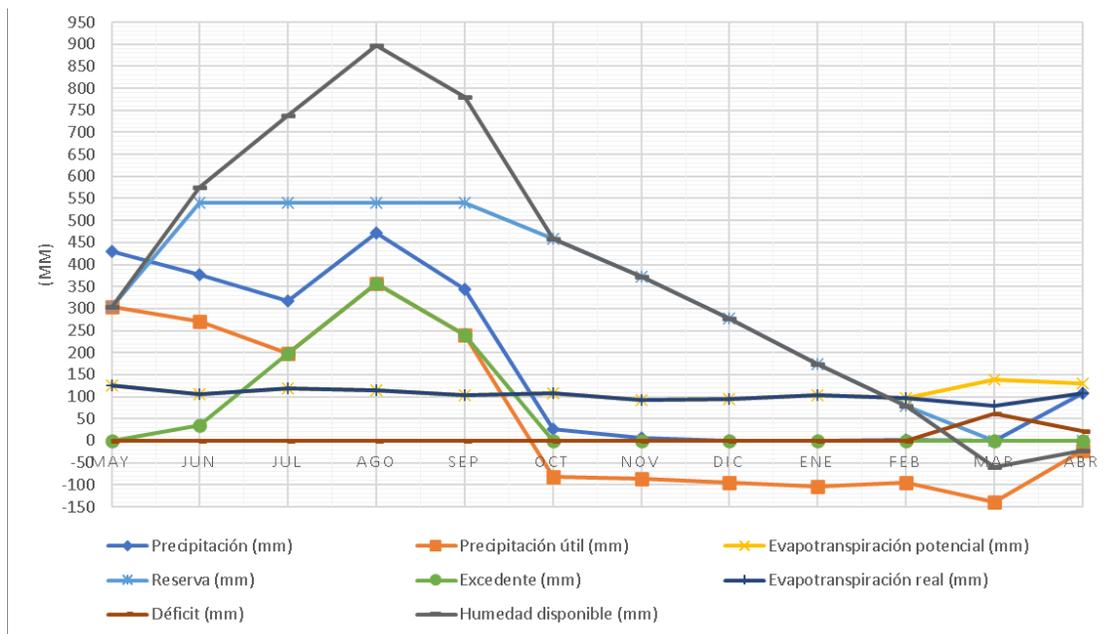
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.3. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2010 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	108,79	93,07	94,99	103,40	96,32	138,85	129,79	1333,10
P (mm)	429,40	376,90	317,40	470,80	343,60	26,80	6,40	0,00	0,00	1,30	0,00	108,20	2080,80
Pu (mm)	304,02	270,96	198,22	356,56	240,45	-81,99	-86,67	-94,99	-103,40	-95,02	-138,85	-21,59	747,70
R (mm)	304,02	540,23	540,23	540,23	540,23	458,24	371,56	276,58	173,17	78,15	0,00	0,00	3822,64
E (mm)	0,00	34,76	198,22	356,56	240,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	829,99
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,70	21,59	82,29
ETR (mm)	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	108,79	93,07	94,99	103,40	96,32	78,15	108,20	1250,81
HD (mm)	304,02	574,98	738,45	896,79	780,67	458,24	371,56	276,58	173,17	78,15	-60,70	-21,59	4570,34
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	0,72	2,68
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,70	21,59	82,29

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.4. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2010 - Método de Thornthwaite**



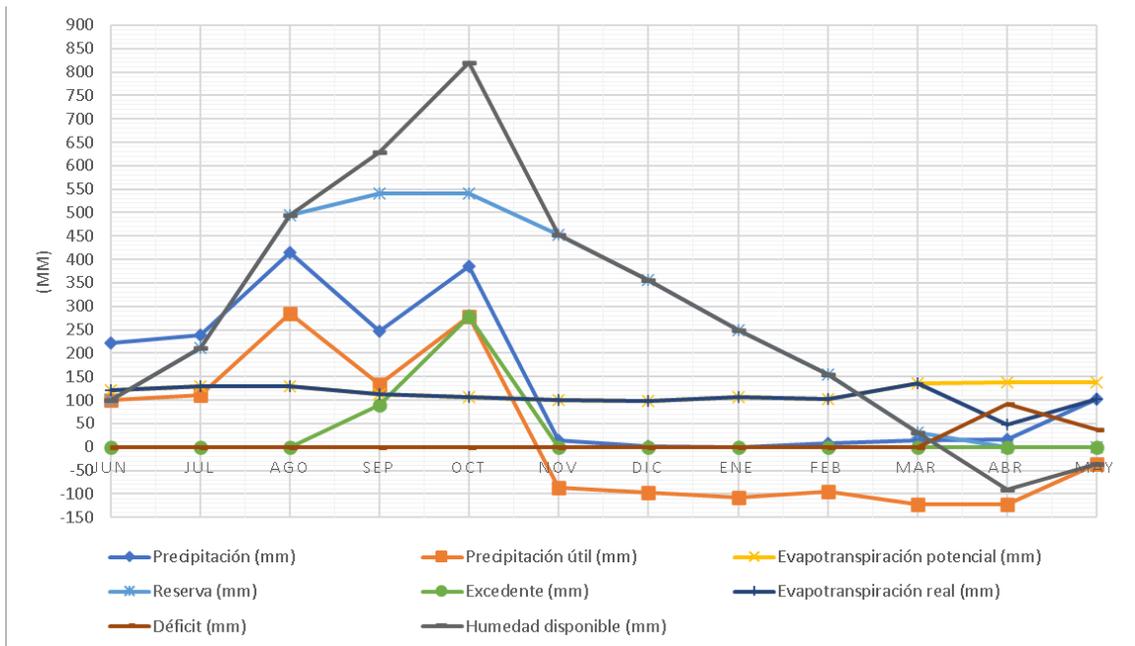
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.5. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2011 - Método de Thornthwaite**

Variable	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Total Anual
ETP (mm)	121,58	128,47	129,70	113,39	105,47	100,91	99,02	107,05	101,94	135,48	138,59	138,09	1419,68
P (mm)	222,60	238,60	414,20	246,80	384,50	14,10	1,50	0,00	7,00	13,40	15,30	101,50	1659,50
Pu (mm)	101,02	110,13	284,50	133,41	279,03	-86,81	-97,52	-107,05	-94,94	-122,08	-123,29	-36,59	239,82
R (mm)	101,02	211,15	495,65	540,23	540,23	453,42	355,90	248,85	153,91	31,83	0,00	0,00	3132,17
E (mm)	0,00	0,00	0,00	88,84	279,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	367,87
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,46	36,59	128,05
ETR (mm)	121,58	128,47	129,70	113,39	105,47	100,91	99,02	107,05	101,94	135,48	47,13	101,50	1291,63
HD (mm)	101,02	211,15	495,65	629,06	819,26	453,42	355,90	248,85	153,91	31,83	-91,46	-36,59	3371,99
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,05	1,18	4,23
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,46	36,59	128,05

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.6. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2011 - Método de Thornthwaite**



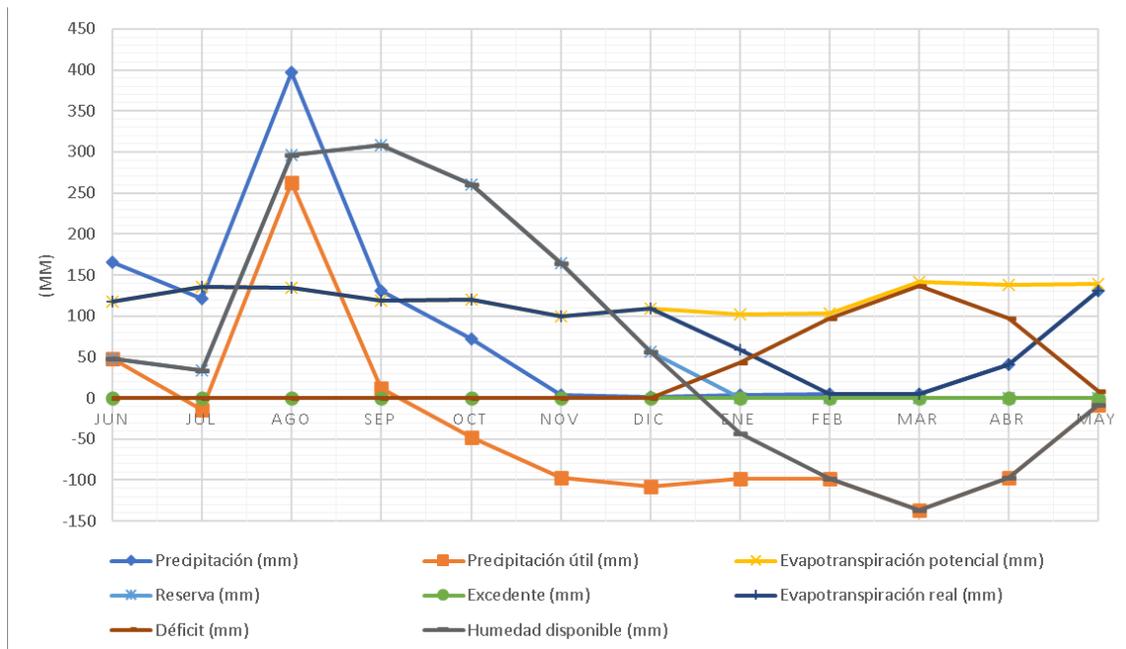
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.7. Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2012 - Método de Thornthwaite

Variable	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Total Anual
ETP (mm)	117,17	135,88	134,19	119,24	119,55	99,62	109,45	102,00	103,09	141,40	137,98	139,18	1458,75
P (mm)	165,50	121,10	397,50	130,90	71,90	3,20	1,10	3,20	5,30	5,10	40,90	130,40	1076,10
Pu (mm)	48,33	-14,78	263,31	11,66	-47,65	-96,42	-108,35	-98,80	-97,79	-136,30	-97,08	-8,78	-382,65
R (mm)	48,33	33,55	296,85	308,51	260,87	164,44	56,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1168,64
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,70	97,79	136,30	97,08	8,78	382,65
ETR (mm)	117,17	135,88	134,19	119,24	119,55	99,62	109,45	59,30	5,30	5,10	40,90	130,40	1076,10
HD (mm)	48,33	33,55	296,85	308,51	260,87	164,44	56,10	-42,70	-97,79	-136,30	-97,08	-8,78	786,00
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	3,49	4,40	3,24	0,28	12,79
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,70	97,79	136,30	97,08	8,78	382,65

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.8. Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2012 - Método de Thornthwaite



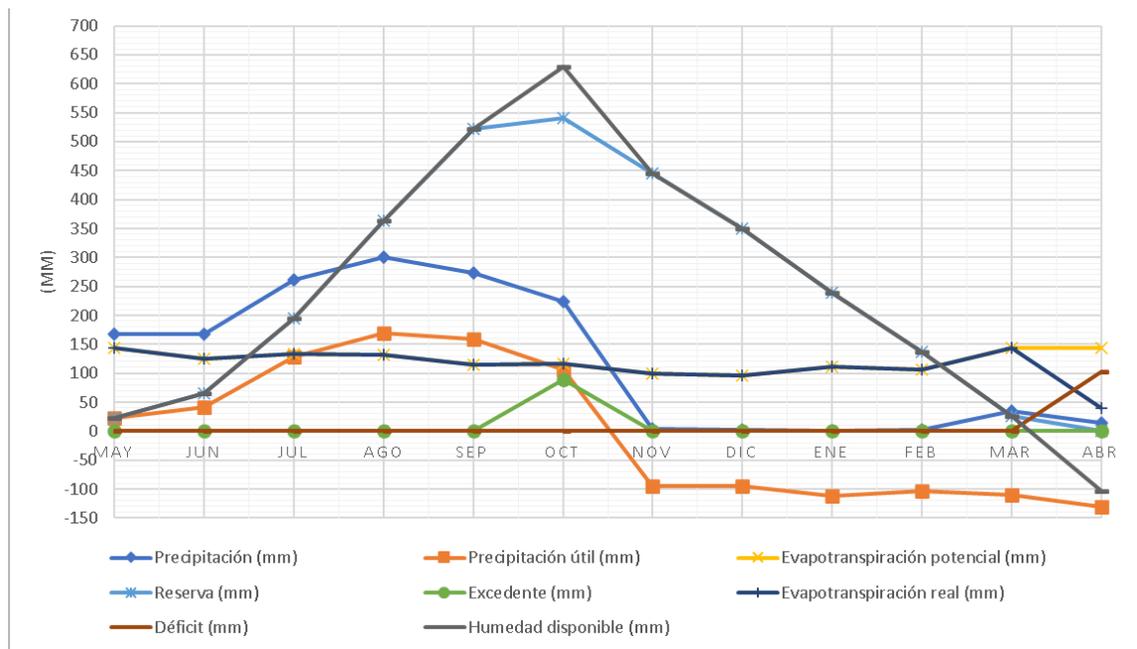
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.9. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2013 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	143,59	124,96	133,14	131,00	115,10	117,26	100,25	96,41	111,20	105,86	143,79	143,64	1466,19
P (mm)	167,10	166,90	262,10	300,20	273,70	224,30	4,90	2,00	0,20	2,60	34,20	13,70	1451,90
Pu (mm)	23,51	41,94	128,96	169,20	158,60	107,04	-95,35	-94,41	-111,00	-103,26	-109,59	-129,94	-14,29
R (mm)	23,51	65,46	194,41	363,62	522,22	540,23	444,87	350,47	239,46	136,21	26,62	0,00	2907,07
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,03
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,32	103,32
ETR (mm)	143,59	124,96	133,14	131,00	115,10	117,26	100,25	96,41	111,20	105,86	143,79	40,32	1362,87
HD (mm)	23,51	65,46	194,41	363,62	522,22	629,26	444,87	350,47	239,46	136,21	26,62	-103,32	2892,79
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,44	3,44
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,32	103,32

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.10. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2013 - Método de Thornthwaite**



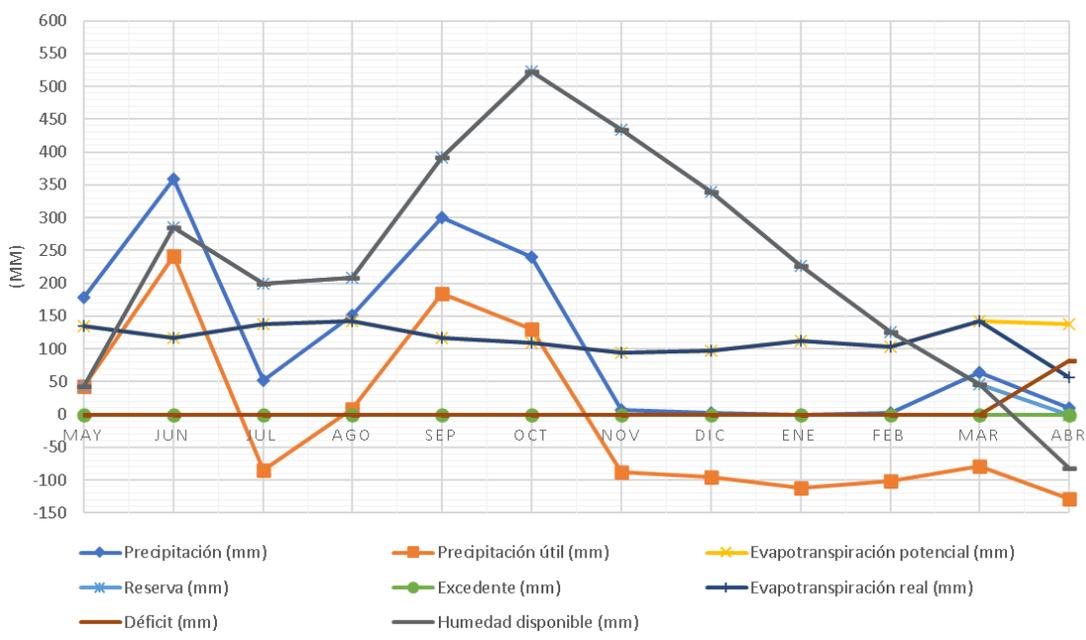
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.11. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2014 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	134,86	117,16	137,42	142,69	116,19	109,93	94,22	97,64	112,12	103,83	142,84	138,18	1447,09
P (mm)	178,40	358,30	52,00	151,50	300,40	239,80	6,30	2,30	0,00	2,10	63,70	10,60	1365,40
Pu (mm)	43,54	241,14	-85,42	8,81	184,21	129,87	-87,92	-95,34	-112,12	-101,73	-79,14	-127,58	-81,69
R (mm)	43,54	284,67	199,25	208,05	392,26	522,13	434,21	338,87	226,75	125,02	45,89	0,00	2820,66
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,69	81,69
ETR (mm)	134,86	117,16	137,42	142,69	116,19	109,93	94,22	97,64	112,12	103,83	142,84	56,49	1365,40
HD (mm)	43,54	284,67	199,25	208,05	392,26	522,13	434,21	338,87	226,75	125,02	45,89	-81,69	2738,97
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,72	2,72
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,69	81,69

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.12. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2014 - Método de Thornthwaite**



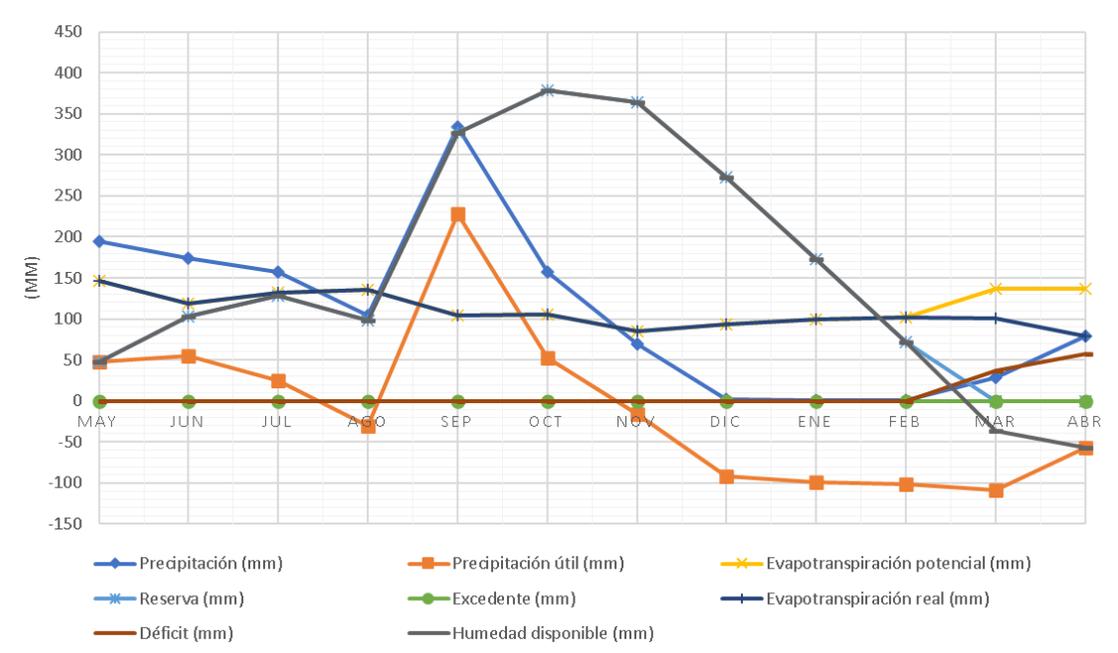
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.13. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2015 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	146,29	118,90	131,72	135,20	104,68	104,89	84,85	93,28	99,65	101,74	137,18	136,71	1395,10
P (mm)	194,40	174,30	157,00	104,70	333,40	156,90	69,30	2,00	0,30	0,40	28,90	79,60	1301,20
Pu (mm)	48,11	55,40	25,28	-30,50	228,72	52,01	-15,55	-91,28	-99,35	-101,34	-108,28	-57,11	-93,90
R (mm)	48,11	103,50	128,78	98,28	327,01	379,01	363,46	272,18	172,83	71,49	0,00	0,00	1964,66
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,79	57,11	93,90
ETR (mm)	146,29	118,90	131,72	135,20	104,68	104,89	84,85	93,28	99,65	101,74	100,39	79,60	1301,20
HD (mm)	48,11	103,50	128,78	98,28	327,01	379,01	363,46	272,18	172,83	71,49	-36,79	-57,11	1870,76
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	1,90	3,09
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,79	57,11	93,90

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.14. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2015 - Método de Thornthwaite**



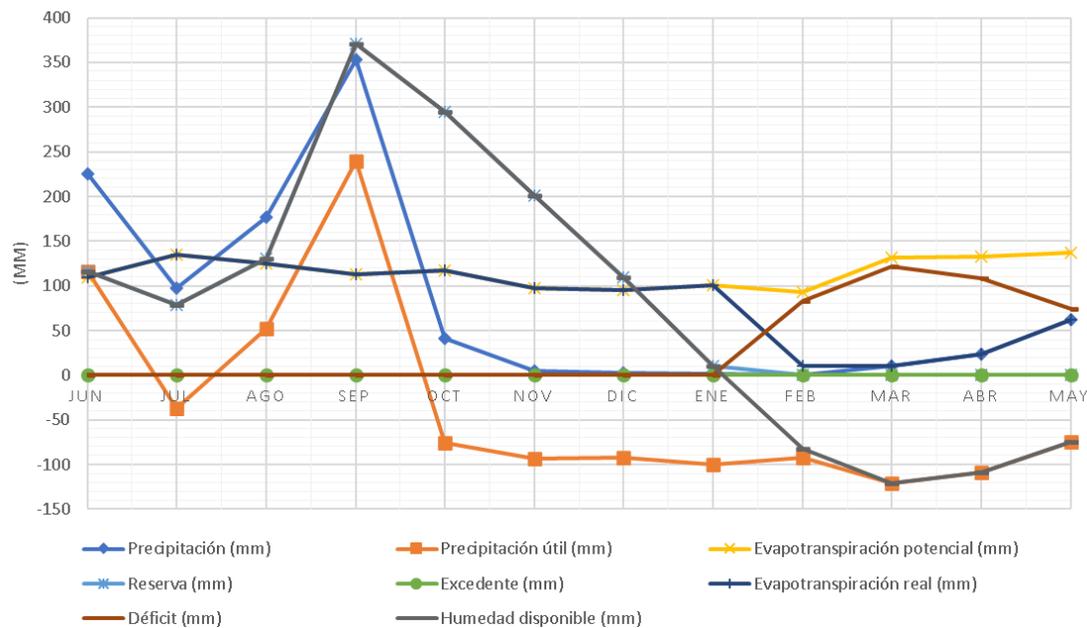
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.15. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2016 - Método de Thornthwaite**

Variable	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Total Anual
ETP (mm)	109,45	135,31	125,39	112,57	116,98	97,76	95,04	100,78	92,71	131,18	132,28	136,57	1386,02
P (mm)	225,80	97,70	177,20	352,70	41,30	4,30	3,00	1,40	0,00	10,00	23,70	62,40	999,50
Pu (mm)	116,35	-37,61	51,81	240,13	-75,68	-93,46	-92,04	-99,38	-92,71	-121,18	-108,58	-74,17	-386,52
R (mm)	116,35	78,74	130,55	370,69	295,01	201,55	109,51	10,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1312,52
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,58	121,18	108,58	74,17	386,52
ETR (mm)	109,45	135,31	125,39	112,57	116,98	97,76	95,04	100,78	10,13	10,00	23,70	62,40	999,50
HD (mm)	116,35	78,74	130,55	370,69	295,01	201,55	109,51	10,13	-82,58	-121,18	-108,58	-74,17	926,01
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95	3,91	3,62	2,39	12,87
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,58	121,18	108,58	74,17	386,52

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.16. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2016 - Método de Thornthwaite**



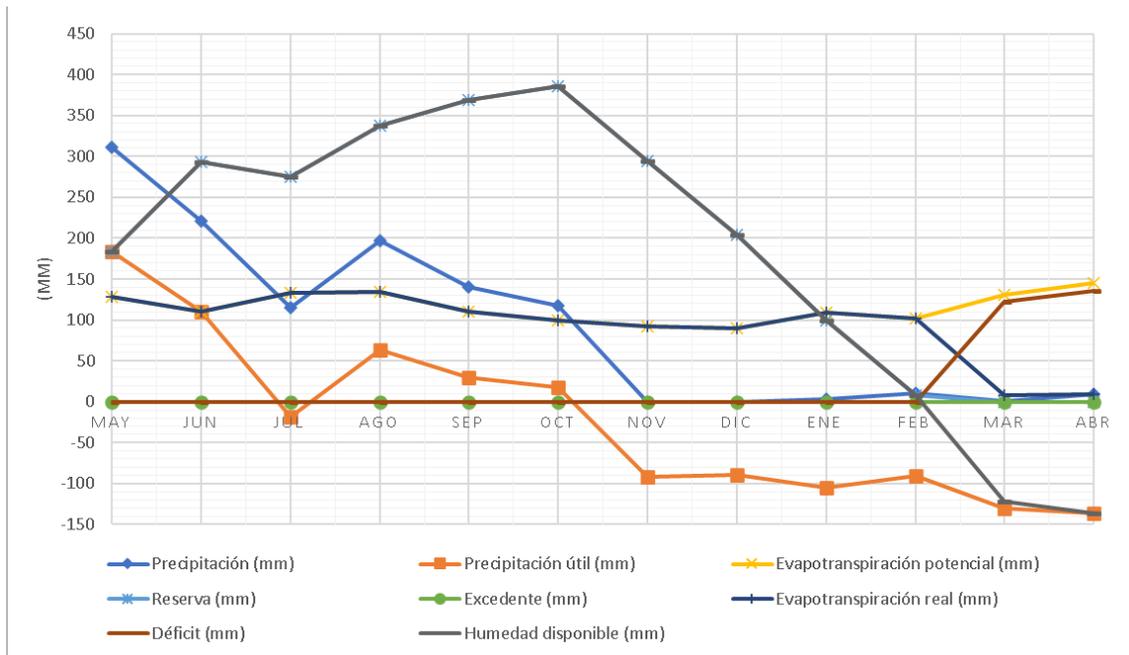
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.17. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2017 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	128,34	110,76	132,86	133,80	110,23	99,94	92,12	89,49	109,05	101,81	130,36	144,80	1383,56
P (mm)	311,50	220,60	115,00	196,80	140,50	117,40	0,00	0,10	3,80	10,70	0,40	9,00	1125,80
Pu (mm)	183,16	109,84	-17,86	63,00	30,27	17,46	-92,12	-89,39	-105,25	-91,11	-129,96	-135,80	-257,76
R (mm)	183,16	293,00	275,14	338,14	368,41	385,87	293,75	204,36	99,10	8,00	0,00	0,00	2448,93
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	121,96	135,80	257,76
ETR (mm)	128,34	110,76	132,86	133,80	110,23	99,94	92,12	89,49	109,05	101,81	8,40	9,00	1125,80
HD (mm)	183,16	293,00	275,14	338,14	368,41	385,87	293,75	204,36	99,10	8,00	-121,96	-135,80	2191,16
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,93	4,53	8,46
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	121,96	135,80	257,76

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.18. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2017 - Método de Thornthwaite**



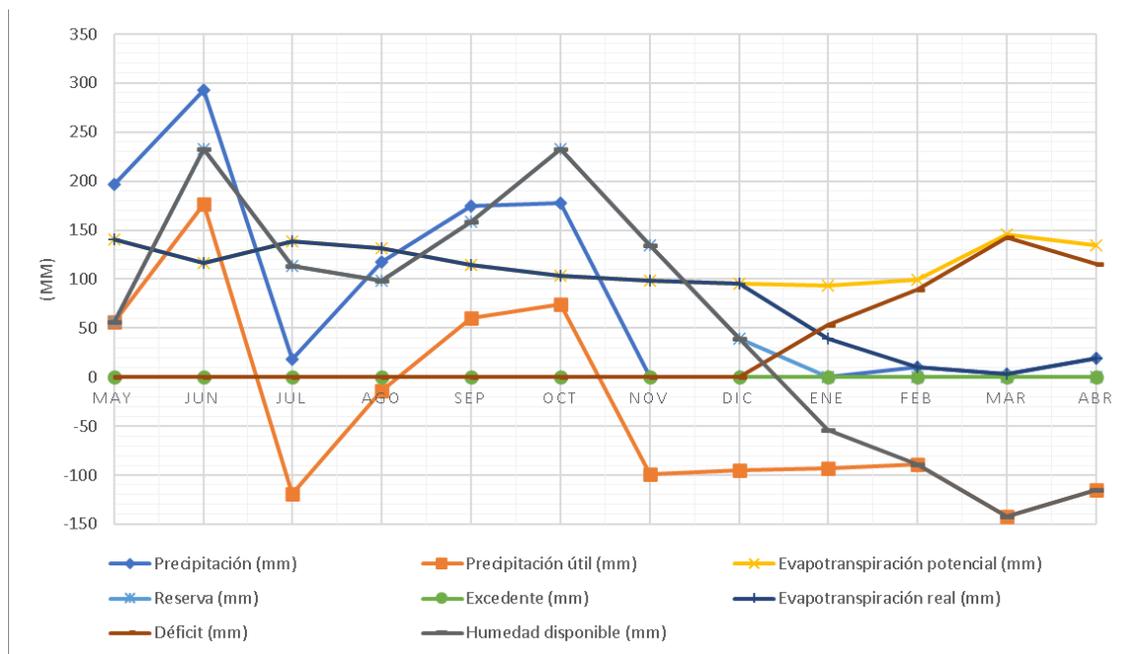
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.19. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2018 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	140,10	116,67	138,22	131,86	114,77	103,53	98,84	95,00	93,64	99,50	145,48	135,01	1412,62
P (mm)	196,30	293,00	18,70	117,60	174,70	178,00	0,00	0,10	0,40	10,50	3,10	19,70	1012,10
Pu (mm)	56,20	176,33	-119,52	-14,26	59,93	74,47	-98,84	-94,90	-93,24	-89,00	-142,38	-115,31	-400,52
R (mm)	56,20	232,54	113,01	98,75	158,68	233,15	134,31	39,41	0,00	0,00	0,00	0,00	1066,05
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,83	89,00	142,38	115,31	400,52
ETR (mm)	140,10	116,67	138,22	131,86	114,77	103,53	98,84	95,00	39,81	10,50	3,10	19,70	1012,10
HD (mm)	56,20	232,54	113,01	98,75	158,68	233,15	134,31	39,41	-53,83	-89,00	-142,38	-115,31	665,53
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,74	3,18	4,59	3,84	13,35
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,83	89,00	142,38	115,31	400,52

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.20. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2018 - Método de Thornthwaite**



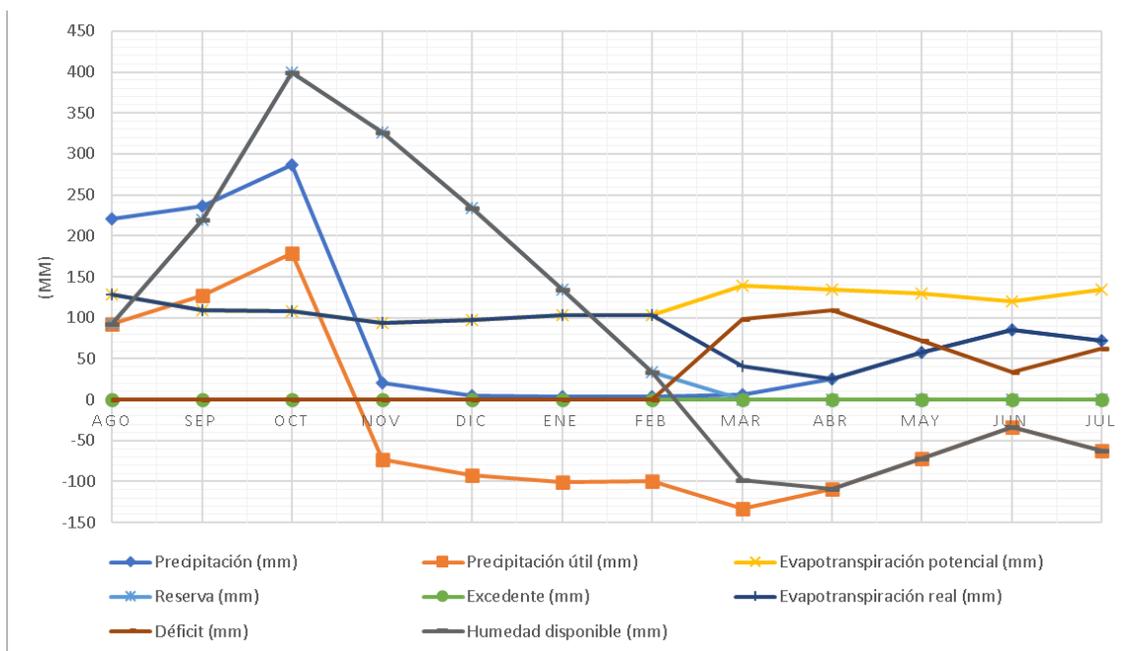
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.21. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2019 - Método de Thornthwaite**

Variable	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total Anual
ETP (mm)	128,37	109,41	107,57	94,19	96,95	103,47	102,94	139,15	134,56	129,59	119,61	133,85	1399,66
P (mm)	220,80	236,90	286,60	21,10	5,30	3,20	3,30	6,30	25,00	58,10	85,60	71,90	1024,10
Pu (mm)	92,43	127,49	179,03	-73,09	-91,65	-100,27	-99,64	-132,85	-109,56	-71,49	-34,01	-61,95	-375,56
R (mm)	92,43	219,92	398,96	325,86	234,21	133,94	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1439,62
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,55	109,56	71,49	34,01	61,95	375,56
ETR (mm)	128,37	109,41	107,57	94,19	96,95	103,47	102,94	40,60	25,00	58,10	85,60	71,90	1024,10
HD (mm)	92,43	219,92	398,96	325,86	234,21	133,94	34,30	-98,55	-109,56	-71,49	-34,01	-61,95	1064,06
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,18	3,65	2,31	1,13	2,00	12,27
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,55	109,56	71,49	34,01	61,95	375,56

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.22. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2019 - Método de Thornthwaite**



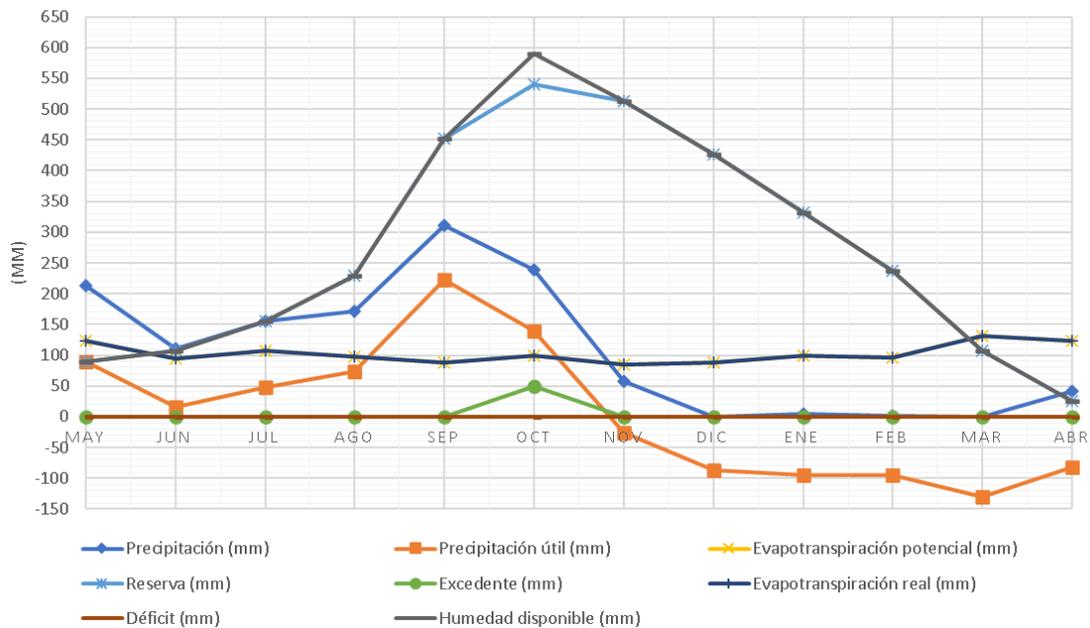
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.23. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2020 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	123,02	93,70	107,09	97,13	87,68	100,01	84,62	87,76	99,45	95,87	130,60	123,85	1230,78
P (mm)	213,40	110,30	155,10	171,10	310,40	238,80	58,10	0,30	5,30	0,90	0,00	42,10	1305,80
Pu (mm)	90,38	16,60	48,01	73,97	222,72	138,79	-26,52	-87,46	-94,15	-94,97	-130,60	-81,75	75,02
R (mm)	90,38	106,97	154,98	228,95	451,67	540,23	513,71	426,25	332,09	237,13	106,53	24,78	3213,66
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,24
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETR (mm)	123,02	93,70	107,09	97,13	87,68	100,01	84,62	87,76	99,45	95,87	130,60	123,85	1230,78
HD (mm)	90,38	106,97	154,98	228,95	451,67	590,46	513,71	426,25	332,09	237,13	106,53	24,78	3263,90
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.24. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2020 - Método de Thornthwaite**



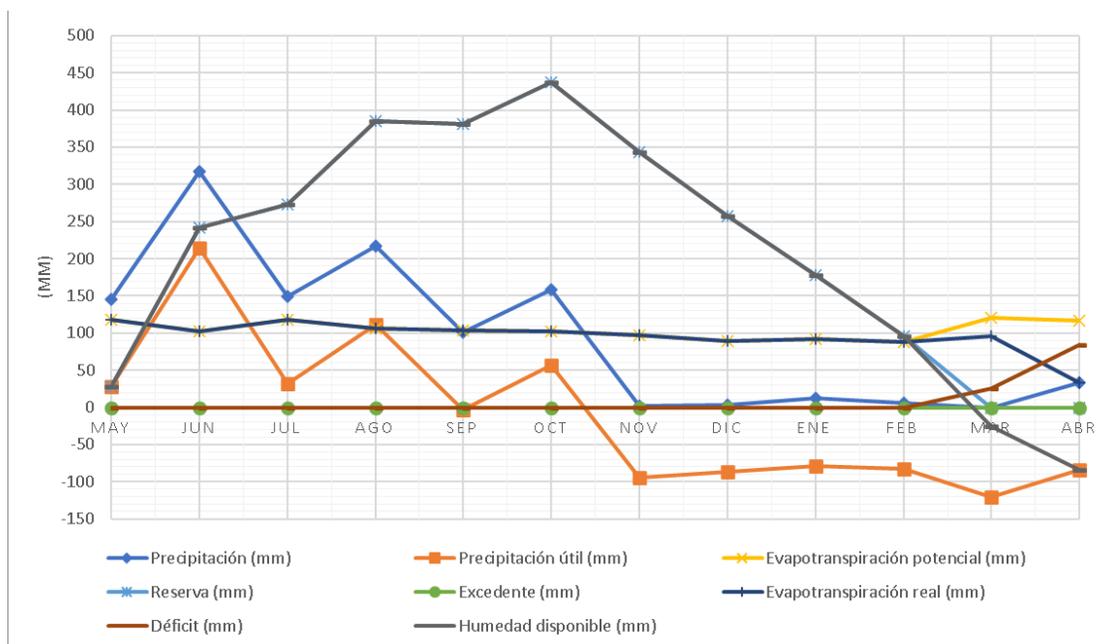
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.25. **Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2021 - Método de Thornthwaite**

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
ETP (mm)	118,41	102,40	118,14	105,91	103,85	101,91	96,81	89,91	91,66	88,41	120,60	117,09	1255,10
P (mm)	145,90	316,70	149,60	217,30	100,70	158,00	2,30	3,70	12,80	5,70	0,00	33,40	1146,10
Pu (mm)	27,49	214,30	31,46	111,39	-3,15	56,09	-94,51	-86,21	-78,86	-82,71	-120,60	-83,69	-109,00
R (mm)	27,49	241,78	273,25	384,64	381,49	437,58	343,07	256,87	178,01	95,30	0,00	0,00	2619,48
E (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,31	83,69	109,00
ETR (mm)	118,41	102,40	118,14	105,91	103,85	101,91	96,81	89,91	91,66	88,41	95,30	33,40	1146,10
HD (mm)	27,49	241,78	273,25	384,64	381,49	437,58	343,07	256,87	178,01	95,30	-25,31	-83,69	2510,48
PdHd (mm/día)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	2,79	3,61
PdHm (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,31	83,69	109,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.26. **Gráfica del Balance hídrico climático (mm/mes) Canalitos año 2021 - Método de Thornthwaite**



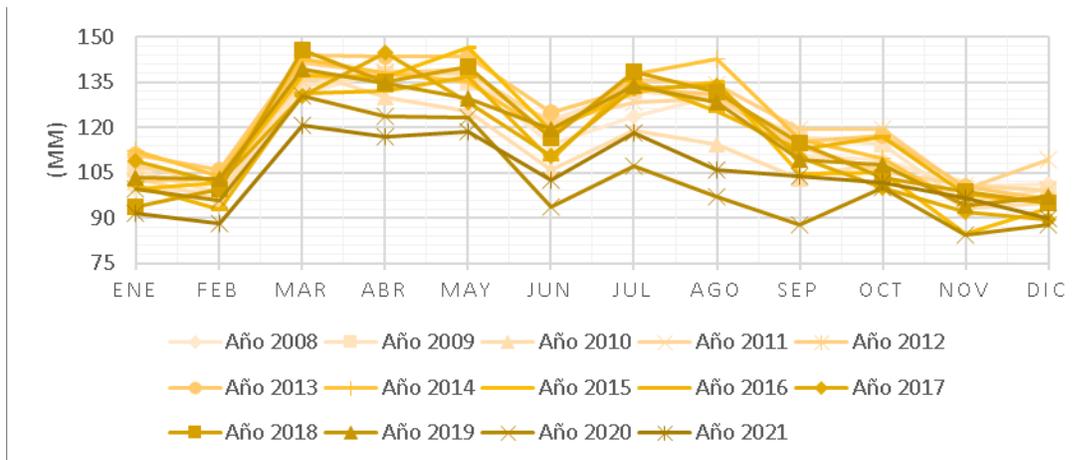
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.27. Evapotranspiración potencial (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	99,78	98,61	131,26	138,53	137,26	114,33	123,81	130,59	110,61	109,35	100,55	101,43	1396,12
2009	105,91	98,54	133,84	137,37	134,90	122,58	132,00	129,77	116,93	114,55	94,84	99,42	1420,65
2010	103,40	96,32	138,85	129,79	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	108,79	93,07	94,99	1333,10
2011	107,05	101,94	135,48	138,59	138,09	121,58	128,47	129,70	113,39	105,47	100,91	99,02	1419,68
2012	102,00	103,09	141,40	137,98	139,18	117,17	135,88	134,19	119,24	119,55	99,62	109,45	1458,75
2013	111,20	105,86	143,79	143,64	143,59	124,96	133,14	131,00	115,10	117,26	100,25	96,41	1466,19
2014	112,12	103,83	142,84	138,18	134,86	117,16	137,42	142,69	116,19	109,93	94,22	97,64	1447,09
2015	99,65	101,74	137,18	136,71	146,29	118,90	131,72	135,20	104,68	104,89	84,85	93,28	1395,10
2016	100,78	92,71	131,18	132,28	136,57	109,45	135,31	125,39	112,57	116,98	97,76	95,04	1386,02
2017	109,05	101,81	130,36	144,80	128,34	110,76	132,86	133,80	110,23	99,94	92,12	89,49	1383,56
2018	93,64	99,50	145,48	135,01	140,10	116,67	138,22	131,86	114,77	103,53	98,84	95,00	1412,62
2019	103,47	102,94	139,15	134,56	129,59	119,61	133,85	128,37	109,41	107,57	94,19	96,95	1399,66
2020	99,45	95,87	130,60	123,85	123,02	93,70	107,09	97,13	87,68	100,01	84,62	87,76	1230,78
2021	91,66	88,41	120,60	117,09	118,41	102,40	118,14	105,91	103,85	101,91	96,81	89,91	1255,10

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.28. Gráfica de la evapotranspiración potencial (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021



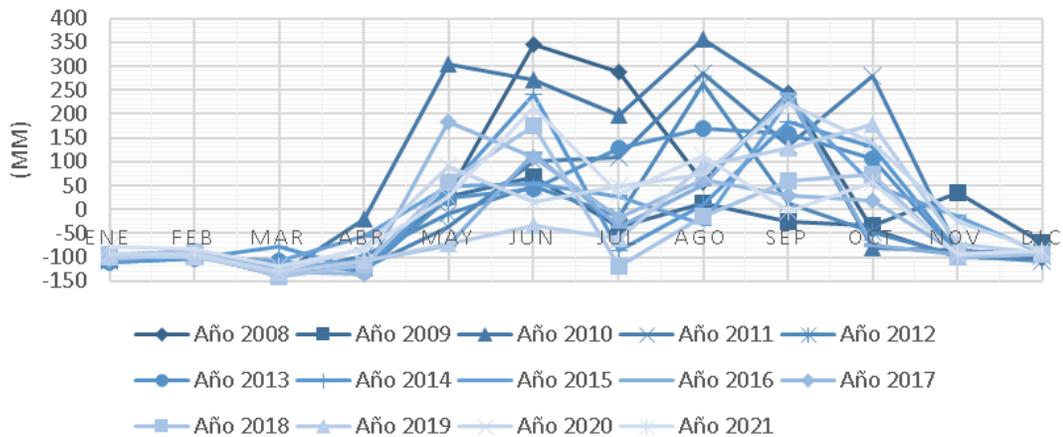
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.29. **Precipitación útil (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	-96,48	-86,71	-127,86	-116,13	32,34	345,97	286,79	56,71	244,19	-41,95	-100,55	-101,43	294,88
2009	-105,91	-94,54	-133,84	-120,07	26,10	67,02	-37,30	11,73	-26,73	-33,35	35,66	-69,92	-481,15
2010	-103,40	-95,02	-138,85	-21,59	304,02	270,96	198,22	356,56	240,45	-81,99	-86,67	-94,99	747,70
2011	-107,05	-94,94	-122,08	-123,29	-36,59	101,02	110,13	284,50	133,41	279,03	-86,81	-97,52	239,82
2012	-98,80	-97,79	-136,30	-97,08	-8,78	48,33	-14,78	263,31	11,66	-47,65	-96,42	-108,35	-382,65
2013	-111,00	-103,26	-109,59	-129,94	23,51	41,94	128,96	169,20	158,60	107,04	-95,35	-94,41	-14,29
2014	-112,12	-101,73	-79,14	-127,58	43,54	241,14	-85,42	8,81	184,21	129,87	-87,92	-95,34	-81,69
2015	-99,35	-101,34	-108,28	-57,11	48,11	55,40	25,28	-30,50	228,72	52,01	-15,55	-91,28	-93,90
2016	-99,38	-92,71	-121,18	-108,58	-74,17	116,35	-37,61	51,81	240,13	-75,68	-93,46	-92,04	-386,52
2017	-105,25	-91,11	-129,96	-135,80	183,16	109,84	-17,86	63,00	30,27	17,46	-92,12	-89,39	-257,76
2018	-93,24	-89,00	-142,38	-115,31	56,20	176,33	-119,52	-14,26	59,93	74,47	-98,84	-94,90	-400,52
2019	-100,27	-99,64	-132,85	-109,56	-71,49	-34,01	-61,95	92,43	127,49	179,03	-73,09	-91,65	-375,56
2020	-94,15	-94,97	-130,60	-81,75	90,38	16,60	48,01	73,97	222,72	138,79	-26,52	-87,46	75,02
2021	-78,86	-82,71	-120,60	-83,69	27,49	214,30	31,46	111,39	-3,15	56,09	-94,51	-86,21	-109,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.30. **Gráfica de la precipitación útil (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



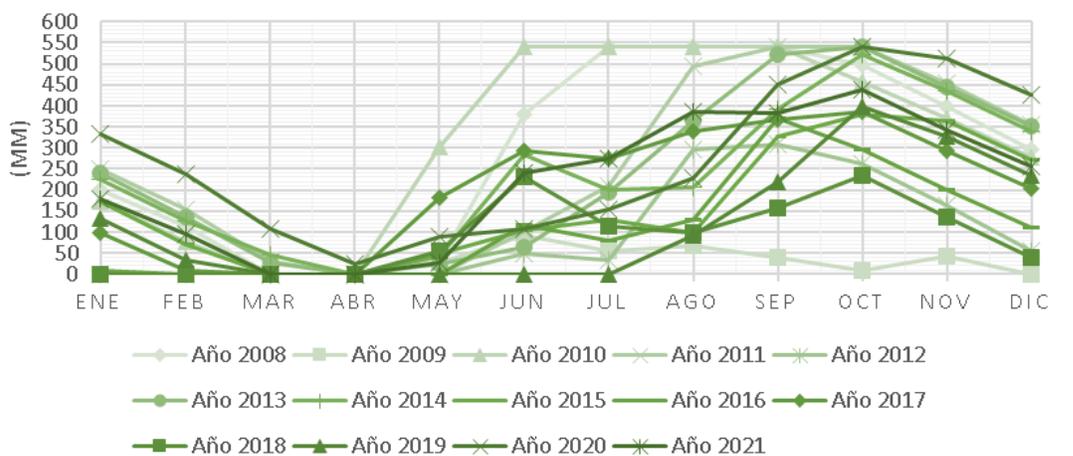
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.31. **Reserva (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	199,82	113,10	0,00	0,00	32,34	378,31	540,23	540,23	540,23	498,28	397,73	296,30	3536,55
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	26,10	93,11	55,81	67,55	40,82	7,46	43,12	0,00	333,97
2010	173,17	78,15	0,00	0,00	304,02	540,23	540,23	540,23	540,23	458,24	371,56	276,58	3822,64
2011	248,85	153,91	31,83	0,00	0,00	101,02	211,15	495,65	540,23	540,23	453,42	355,90	3132,17
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,33	33,55	296,85	308,51	260,87	164,44	56,10	1168,64
2013	239,46	136,21	26,62	0,00	23,51	65,46	194,41	363,62	522,22	540,23	444,87	350,47	2907,07
2014	226,75	125,02	45,89	0,00	43,54	284,67	199,25	208,05	392,26	522,13	434,21	338,87	2820,66
2015	172,83	71,49	0,00	0,00	48,11	103,50	128,78	98,28	327,01	379,01	363,46	272,18	1964,66
2016	10,13	0,00	0,00	0,00	0,00	116,35	78,74	130,55	370,69	295,01	201,55	109,51	1312,52
2017	99,10	8,00	0,00	0,00	183,16	293,00	275,14	338,14	368,41	385,87	293,75	204,36	2448,93
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	56,20	232,54	113,01	98,75	158,68	233,15	134,31	39,41	1066,05
2019	133,94	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,43	219,92	398,96	325,86	234,21	1439,62
2020	332,09	237,13	106,53	24,78	90,38	106,97	154,98	228,95	451,67	540,23	513,71	426,25	3213,66
2021	178,01	95,30	0,00	0,00	27,49	241,78	273,25	384,64	381,49	437,58	343,07	256,87	2619,48

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.32. **Gráfica de la reserva (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



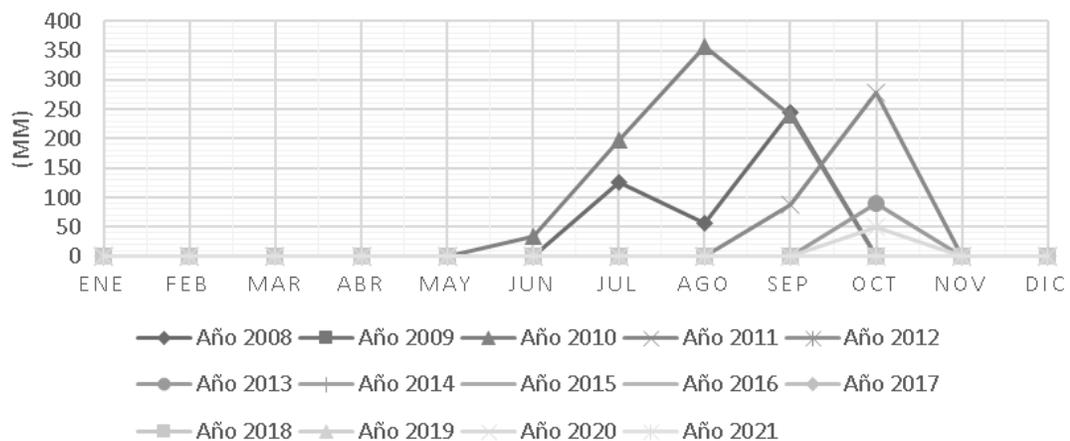
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.33. **Excedente (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	124,87	56,71	244,19	0,00	0,00	0,00	425,77
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,76	198,22	356,56	240,45	0,00	0,00	0,00	829,99
2011	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,84	279,03	0,00	0,00	367,87
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,03	0,00	0,00	89,03
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,24	0,00	0,00	50,24
2021	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.34. **Gráfica del excedente (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



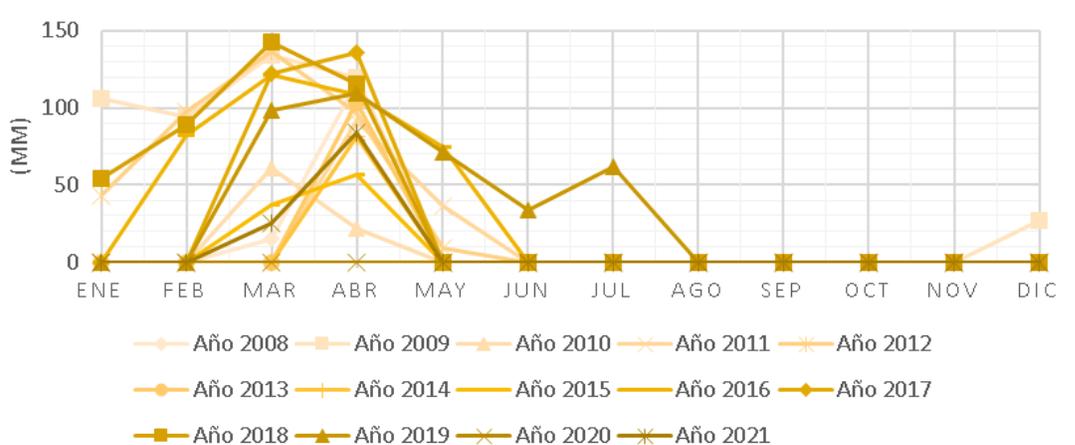
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.35. **Déficit (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	0,00	0,00	14,76	116,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	130,89
2009	105,91	94,54	133,84	120,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,80	481,15
2010	0,00	0,00	60,70	21,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,29
2011	0,00	0,00	0,00	91,46	36,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	128,05
2012	42,70	97,79	136,30	97,08	8,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	382,65
2013	0,00	0,00	0,00	103,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,32
2014	0,00	0,00	0,00	81,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,69
2015	0,00	0,00	36,79	57,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,90
2016	0,00	82,58	121,18	108,58	74,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	386,52
2017	0,00	0,00	121,96	135,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	257,76
2018	53,83	89,00	142,38	115,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,52
2019	0,00	0,00	98,55	109,56	71,49	34,01	61,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	375,56
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0,00	25,31	83,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.36. **Gráfica del déficit (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



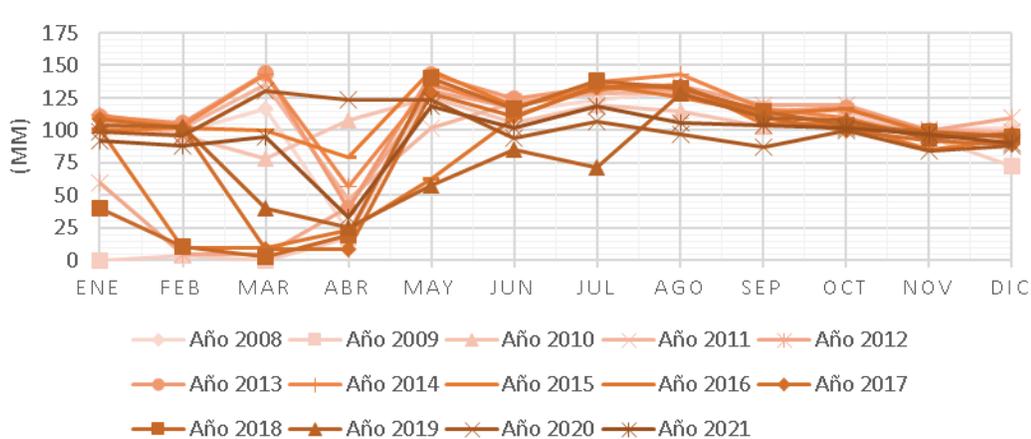
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.37. **Evapotranspiración real (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	99,78	98,61	116,50	22,40	137,26	114,33	123,81	130,59	110,61	109,35	100,55	101,43	1265,23
2009	0,00	4,00	0,00	17,30	134,90	122,58	132,00	129,77	116,93	114,55	94,84	72,62	939,50
2010	103,40	96,32	78,15	108,20	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	108,79	93,07	94,99	1250,81
2011	107,05	101,94	135,48	47,13	101,50	121,58	128,47	129,70	113,39	105,47	100,91	99,02	1291,63
2012	59,30	5,30	5,10	40,90	130,40	117,17	135,88	134,19	119,24	119,55	99,62	109,45	1076,10
2013	111,20	105,86	143,79	40,32	143,59	124,96	133,14	131,00	115,10	117,26	100,25	96,41	1362,87
2014	112,12	103,83	142,84	56,49	134,86	117,16	137,42	142,69	116,19	109,93	94,22	97,64	1365,40
2015	99,65	101,74	100,39	79,60	146,29	118,90	131,72	135,20	104,68	104,89	84,85	93,28	1301,20
2016	100,78	10,13	10,00	23,70	62,40	109,45	135,31	125,39	112,57	116,98	97,76	95,04	999,50
2017	109,05	101,81	8,40	9,00	128,34	110,76	132,86	133,80	110,23	99,94	92,12	89,49	1125,80
2018	39,81	10,50	3,10	19,70	140,10	116,67	138,22	131,86	114,77	103,53	98,84	95,00	1012,10
2019	103,47	102,94	40,60	25,00	58,10	85,60	71,90	128,37	109,41	107,57	94,19	96,95	1024,10
2020	99,45	95,87	130,60	123,85	123,02	93,70	107,09	97,13	87,68	100,01	84,62	87,76	1230,78
2021	91,66	88,41	95,30	33,40	118,41	102,40	118,14	105,91	103,85	101,91	96,81	89,91	1146,10

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.38. **Gráfica de la evapotranspiración real (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



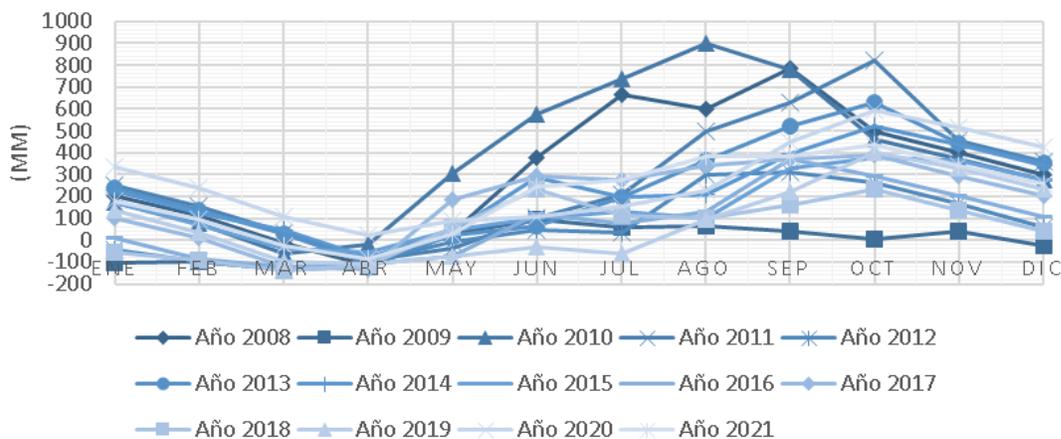
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.39. **Humedad disponible (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	199,82	113,10	-14,76	-116,13	32,34	378,31	665,10	596,93	784,41	498,28	397,73	296,30	3831,42
2009	-105,91	-94,54	-133,84	-120,07	26,10	93,11	55,81	67,55	40,82	7,46	43,12	-26,80	-147,19
2010	173,17	78,15	-60,70	-21,59	304,02	574,98	738,45	896,79	780,67	458,24	371,56	276,58	4570,34
2011	248,85	153,91	31,83	-91,46	-36,59	101,02	211,15	495,65	629,06	819,26	453,42	355,90	3371,99
2012	-42,70	-97,79	-136,30	-97,08	-8,78	48,33	33,55	296,85	308,51	260,87	164,44	56,10	786,00
2013	239,46	136,21	26,62	-103,32	23,51	65,46	194,41	363,62	522,22	629,26	444,87	350,47	2892,79
2014	226,75	125,02	45,89	-81,69	43,54	284,67	199,25	208,05	392,26	522,13	434,21	338,87	2738,97
2015	172,83	71,49	-36,79	-57,11	48,11	103,50	128,78	98,28	327,01	379,01	363,46	272,18	1870,76
2016	10,13	-82,58	-121,18	-108,58	-74,17	116,35	78,74	130,55	370,69	295,01	201,55	109,51	926,01
2017	99,10	8,00	-121,96	-135,80	183,16	293,00	275,14	338,14	368,41	385,87	293,75	204,36	2191,16
2018	-53,83	-89,00	-142,38	-115,31	56,20	232,54	113,01	98,75	158,68	233,15	134,31	39,41	665,53
2019	133,94	34,30	-98,55	-109,56	-71,49	-34,01	-61,95	92,43	219,92	398,96	325,86	234,21	1064,06
2020	332,09	237,13	106,53	24,78	90,38	106,97	154,98	228,95	451,67	590,46	513,71	426,25	3263,90
2021	178,01	95,30	-25,31	-83,69	27,49	241,78	273,25	384,64	381,49	437,58	343,07	256,87	2510,48

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.40. **Gráfica de la humedad disponible (mm) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



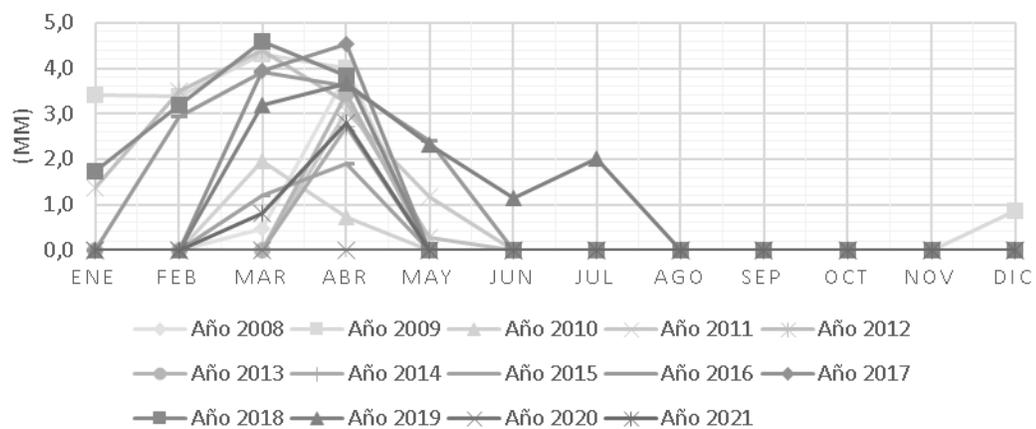
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.41. **Pérdida de humedad (mm/día) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	0,00	0,00	0,48	3,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,35
2009	3,42	3,38	4,32	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	15,98
2010	0,00	0,00	1,96	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,68
2011	0,00	0,00	0,00	3,05	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,23
2012	1,38	3,49	4,40	3,24	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,79
2013	0,00	0,00	0,00	3,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,44
2014	0,00	0,00	0,00	2,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,72
2015	0,00	0,00	1,19	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,09
2016	0,00	2,95	3,91	3,62	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,87
2017	0,00	0,00	3,93	4,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,46
2018	1,74	3,18	4,59	3,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,35
2019	0,00	0,00	3,18	3,65	2,31	1,13	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,27
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0,00	0,82	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,61

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.42. **Gráfica de la pérdida de humedad (mm/día) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



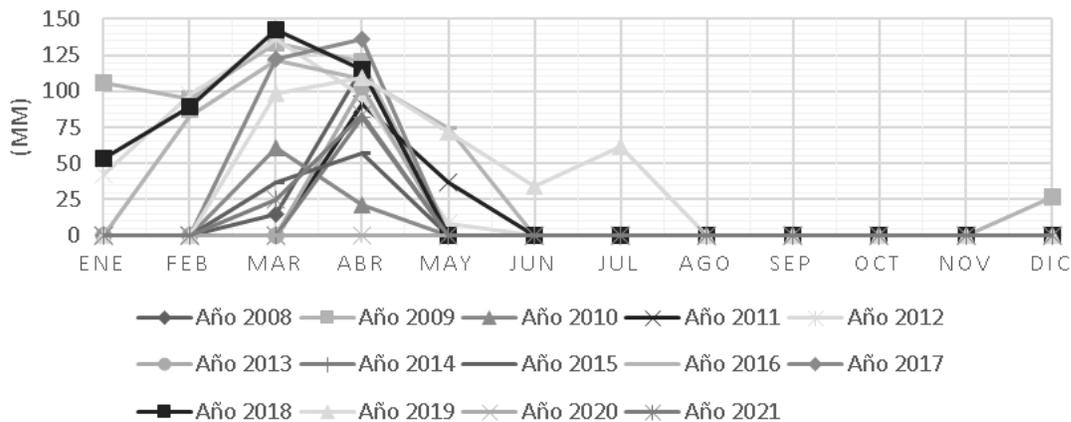
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.43. **Pérdida de humedad (mm/mes) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	0,00	0,00	14,76	116,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	130,89
2009	105,91	94,54	133,84	120,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,80	481,15
2010	0,00	0,00	60,70	21,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,29
2011	0,00	0,00	0,00	91,46	36,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	128,05
2012	42,70	97,79	136,30	97,08	8,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	382,65
2013	0,00	0,00	0,00	103,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,32
2014	0,00	0,00	0,00	81,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,69
2015	0,00	0,00	36,79	57,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,90
2016	0,00	82,58	121,18	108,58	74,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	386,52
2017	0,00	0,00	121,96	135,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	257,76
2018	53,83	89,00	142,38	115,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,52
2019	0,00	0,00	98,55	109,56	71,49	34,01	61,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	375,56
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	0,00	0,00	25,31	83,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.44. **Gráfica de la pérdida de humedad (mm/mes) Canalitos - Método de Thornthwaite desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Resultados de los balances hídricos climáticos en Canalitos desde el año 2008 hasta el 2021 - Método de Schosinsky

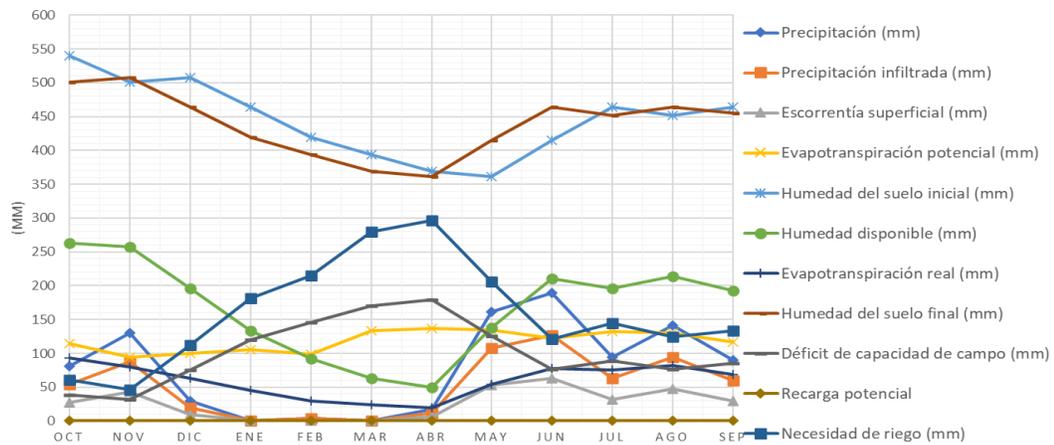
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada balance hídrico de suelos mediante el método de Schosinsky:

Apéndice 4.1. Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2009 - Método de Schosinsky

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	81,20	130,50	29,50	0,00	4,00	0,00	17,30	161,00	189,60	94,70	141,50	90,20	939,50
Pi (mm)	54,23	87,16	19,70	0,00	4,00	0,00	11,55	107,53	126,63	63,25	94,51	60,24	628,82
ESC (mm)	26,97	43,34	9,80	0,00	0,00	0,00	5,75	53,47	62,97	31,45	46,99	29,96	310,68
ETP (mm)	114,55	94,84	99,42	105,91	98,54	133,84	137,37	134,90	122,58	132,00	129,77	116,93	1420,65
Hsi (mm)	540,23	501,27	508,16	464,49	419,70	394,10	369,61	361,41	414,96	463,84	451,30	463,63	
HD (mm)	263,08	257,05	196,48	133,11	92,32	62,72	49,78	137,56	210,21	195,71	214,42	192,49	
ETR (mm)	93,19	80,28	63,37	44,79	29,60	24,50	19,75	53,99	77,75	75,79	82,17	69,09	714,26
HSf (mm)	501,27	508,16	464,49	419,70	394,10	369,61	361,41	414,96	463,84	451,30	463,63	454,78	
DCC (mm)	38,95	32,07	75,73	120,52	146,12	170,62	178,82	125,27	76,38	88,93	76,60	85,44	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NR (mm)	60,32	46,63	111,79	181,65	215,07	279,96	296,43	206,19	121,22	145,14	124,19	133,28	1921,85
PdHd (mm/día)	1,26	1,07	2,44	3,89	5,22	5,50	5,96	4,04	2,55	2,87	2,47	2,85	
PdHm (mm/mes)	38,95	32,07	75,73	120,52	146,12	170,62	178,82	125,27	76,38	88,93	76,60	85,44	1215,46

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.2. Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2009 - Método de Schosinsky



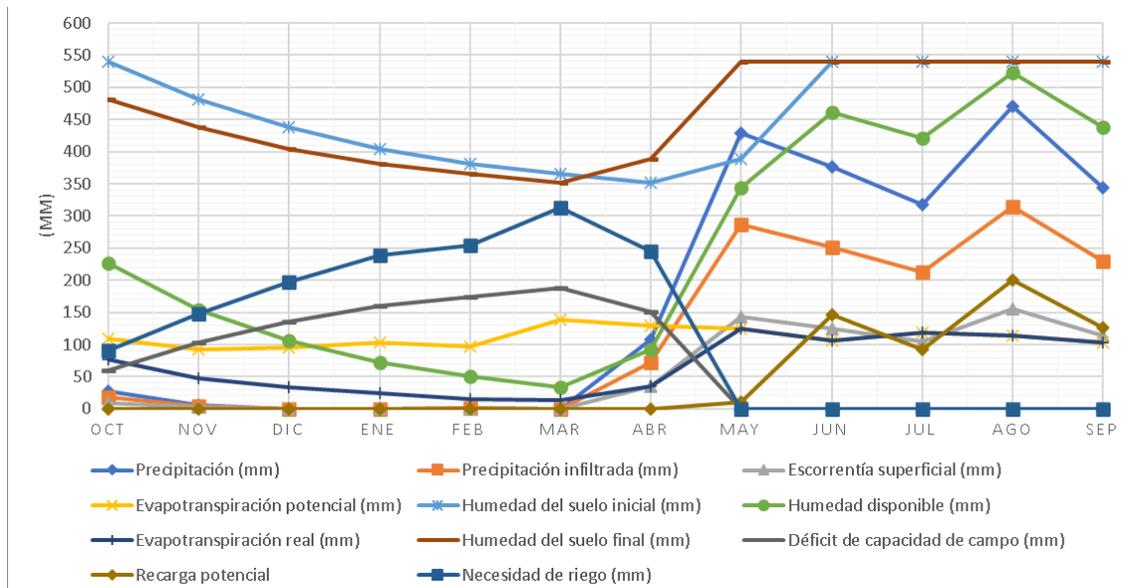
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.3. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2010 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	26,80	6,40	0,00	0,00	1,30	0,00	108,20	429,40	376,90	317,40	470,80	343,60	2080,80
Fi (mm)	17,90	4,27	0,00	0,00	1,30	0,00	72,27	286,80	251,73	211,99	314,45	229,49	1390,19
ESC (mm)	8,90	2,13	0,00	0,00	0,00	0,00	35,93	142,60	125,17	105,41	156,35	114,11	690,61
ETP (mm)	108,79	93,07	94,99	103,40	96,32	138,85	129,79	142,38	105,94	119,18	114,24	103,15	1333,10
Hsi (mm)	540,23	480,47	437,46	404,30	380,15	365,65	351,96	388,64	540,23	540,23	540,23	540,23	
HD (mm)	226,74	153,36	106,08	72,92	50,07	34,27	92,85	344,06	460,58	420,84	523,29	438,33	
ETR (mm)	77,66	47,28	33,16	24,15	15,80	13,68	35,59	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	815,20
HSf (mm)	480,47	437,46	404,30	380,15	365,65	351,96	388,64	540,23	540,23	540,23	540,23	540,23	
DCC (mm)	59,76	102,76	135,93	160,07	174,58	188,26	151,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,84	145,79	92,81	200,21	126,34	574,99
NR (mm)	90,89	148,56	197,75	239,33	255,09	313,43	245,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1490,84
PdHd (mm/día)	1,93	3,43	4,38	5,16	6,23	6,07	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PdHm (mm/mes)	59,76	102,76	135,93	160,07	174,58	188,26	151,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	972,94

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.4. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2010 - Método de Schosinsky**



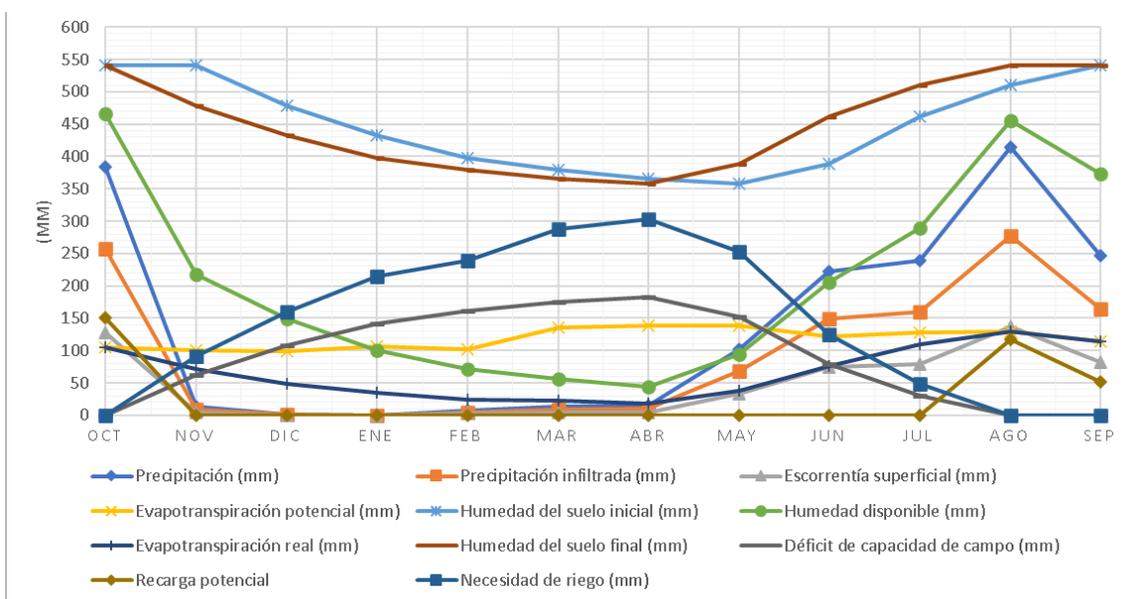
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.5. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2011 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	384,50	14,10	1,50	0,00	7,00	13,40	15,30	101,50	222,60	238,60	414,20	246,80	1659,50
Pi (mm)	256,81	9,42	1,50	0,00	4,68	8,95	10,22	67,79	148,67	159,36	276,64	164,84	1108,87
ESC (mm)	127,69	4,68	0,00	0,00	2,32	4,45	5,08	33,71	73,93	79,24	137,56	81,96	550,63
ETP (mm)	105,47	100,91	99,02	107,05	101,94	135,48	138,59	138,09	121,58	128,47	129,70	113,39	1419,68
Hsi (mm)	540,23	540,23	478,54	432,23	398,05	379,32	365,89	358,27	388,37	461,37	510,53	540,23	
HD (mm)	465,65	218,26	148,66	100,85	71,35	56,89	44,73	94,68	205,67	289,35	455,79	373,68	
ETR (mm)	105,47	71,10	47,81	34,18	23,40	22,39	17,84	37,69	75,67	110,20	129,70	113,39	788,84
HSf (mm)	540,23	478,54	432,23	398,05	379,32	365,89	358,27	388,37	461,37	510,53	540,23	540,23	
DCC (mm)	0,00	61,69	108,00	142,17	160,90	174,34	181,96	151,85	78,85	29,70	0,00	0,00	
Rp (mm)	151,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,25	51,45	320,04
NR (mm)	0,00	91,49	159,20	215,05	239,44	287,43	302,71	252,26	124,76	47,96	0,00	0,00	1720,30
PdHd (mm/día)	0,00	2,06	3,48	4,59	5,75	5,62	6,07	4,90	2,63	0,96	0,00	0,00	
PdHm (mm/mes)	0,00	61,69	108,00	142,17	160,90	174,34	181,96	151,85	78,85	29,70	0,00	0,00	1089,46

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.6. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2011 - Método de Schosinsky**



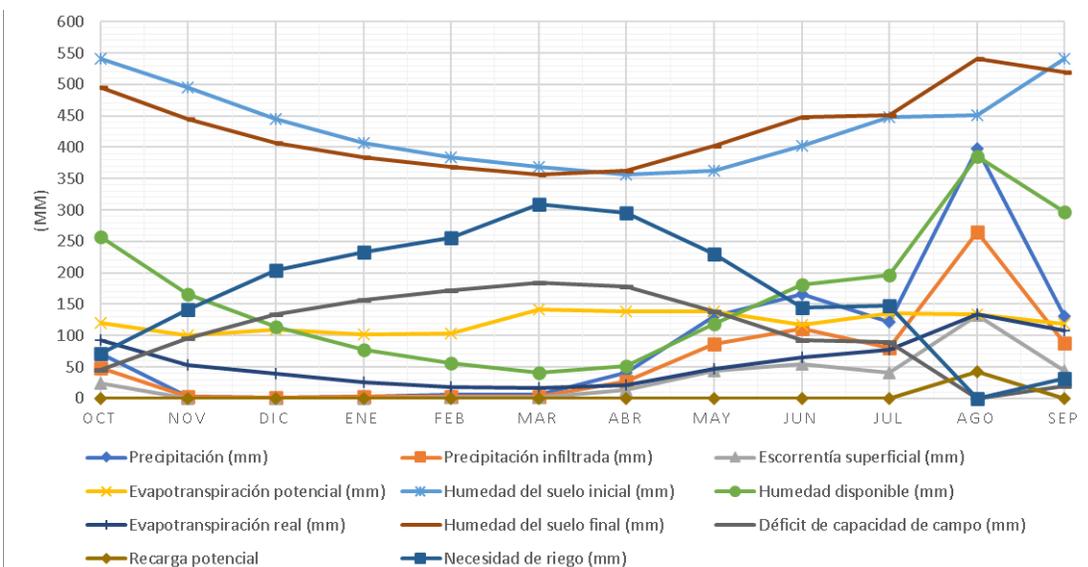
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.7. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2012 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	71,90	3,20	1,10	3,20	5,30	5,10	40,90	130,40	165,50	121,10	397,50	130,90	1076,10
PI (mm)	48,02	3,20	1,10	3,20	3,54	3,41	27,32	87,09	110,54	80,88	265,49	87,43	721,21
ESC (mm)	23,88	0,00	0,00	0,00	1,76	1,69	13,58	43,31	54,96	40,22	132,01	43,47	354,89
ETP (mm)	119,55	99,62	109,45	102,00	103,09	141,40	137,98	139,18	117,17	135,88	134,19	119,24	1458,75
Hsi (mm)	540,23	494,74	444,15	406,09	383,73	368,80	355,72	362,49	402,31	447,63	450,81	540,23	
HD (mm)	256,87	166,56	113,87	77,91	55,89	40,82	51,66	118,20	181,47	197,13	384,92	296,27	
ETR (mm)	93,51	53,79	39,15	25,57	18,47	16,48	20,55	47,27	65,22	77,70	134,19	107,68	699,59
HSf (mm)	494,74	444,15	406,09	383,73	368,80	355,72	362,49	402,31	447,63	450,81	540,23	519,97	
DCC (mm)	45,49	96,08	134,13	156,50	171,43	184,50	177,74	137,91	92,60	89,42	0,00	20,25	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,88	0,00	41,88
NR (mm)	71,52	141,91	204,43	232,93	256,05	309,42	295,16	229,82	144,55	147,60	0,00	31,82	2065,20
PdHd (mm/día)	1,47	3,20	4,33	5,05	6,12	5,95	5,92	4,45	3,09	2,88	0,00	0,68	
PdHm (mm/mes)	45,49	96,08	134,13	156,50	171,43	184,50	177,74	137,91	92,60	89,42	0,00	20,25	1306,04

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.8. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2012 - Método de Schosinsky**



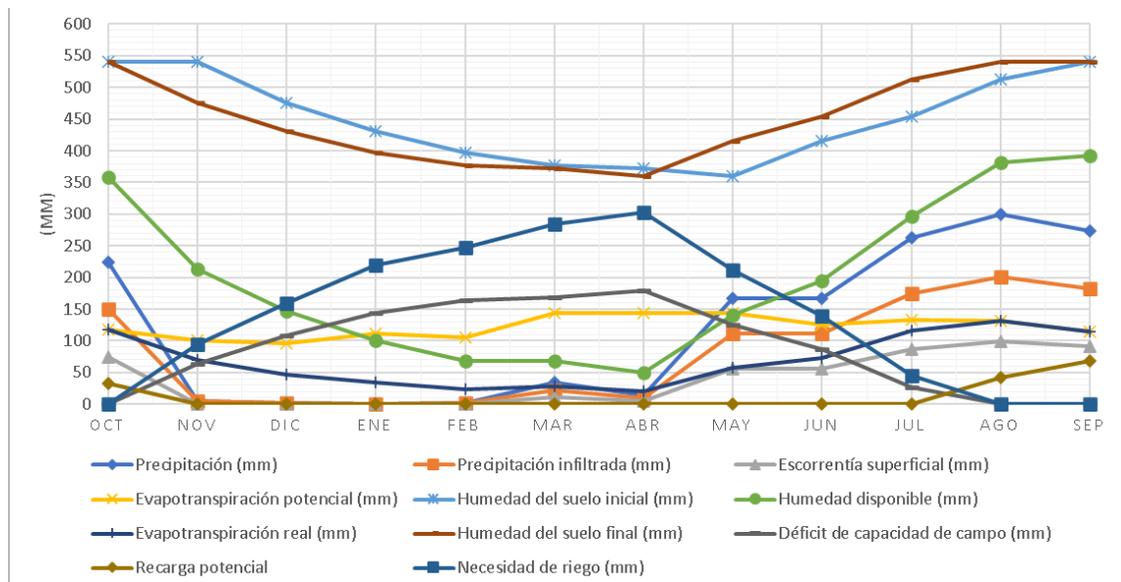
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.9. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2013**
- Método de Schosinsky

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	224,30	4,90	2,00	0,20	2,60	34,20	13,70	167,10	166,90	262,10	300,20	273,70	1451,90
Pi (mm)	149,81	4,90	2,00	0,20	2,60	22,84	9,15	111,61	111,47	175,06	200,50	182,80	972,94
ESC (mm)	74,49	0,00	0,00	0,00	0,00	11,36	4,55	55,49	55,43	87,04	99,70	90,90	478,96
ETP (mm)	117,26	100,25	96,41	111,20	105,86	143,79	143,64	143,59	124,96	133,14	131,00	115,10	1466,19
Hsi (mm)	540,23	540,23	475,80	431,56	396,88	376,57	371,67	360,68	414,88	453,36	512,78	540,23	
HD (mm)	358,65	213,75	146,42	100,38	68,10	68,04	49,44	140,90	194,97	297,04	381,90	391,65	
ETR (mm)	117,26	69,33	46,24	34,88	22,91	27,74	20,15	57,41	72,99	115,64	131,00	115,10	830,63
HSf (mm)	540,23	475,80	431,56	396,88	376,57	371,67	360,68	414,88	453,36	512,78	540,23	540,23	
DCC (mm)	0,00	64,43	108,67	143,34	163,65	168,55	179,55	125,35	86,86	27,45	0,00	0,00	
Rp (mm)	32,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,06	67,70	142,31
NR (mm)	0,00	95,35	158,83	219,67	246,60	284,60	303,04	211,53	138,84	44,95	0,00	0,00	1703,41
PdHd (mm/día)	0,00	2,15	3,51	4,62	5,84	5,44	5,98	4,04	2,90	0,89	0,00	0,00	
PdHm (mm/mes)	0,00	64,43	108,67	143,34	163,65	168,55	179,55	125,35	86,86	27,45	0,00	0,00	1067,86

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.10. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes)**
Canalitos año 2013 - Método de Schosinsky



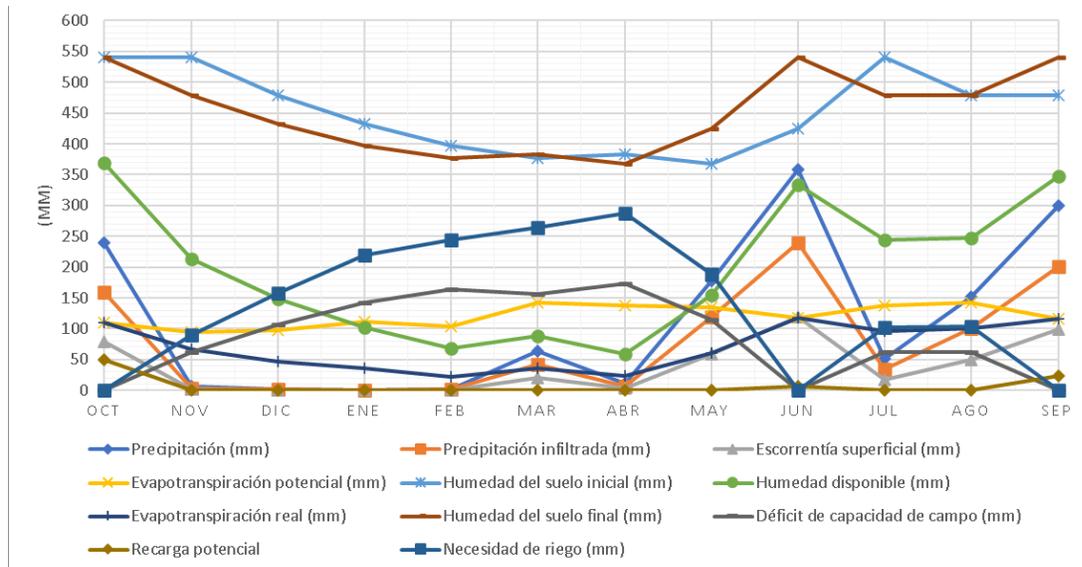
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.11. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2014 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	239,80	6,30	2,30	0,00	2,10	63,70	10,60	178,40	358,30	52,00	151,50	300,40	1365,40
PI (mm)	160,16	4,21	2,30	0,00	2,10	42,55	7,08	119,15	239,31	34,73	101,19	200,64	913,41
ESC (mm)	79,64	2,09	0,00	0,00	0,00	21,15	3,52	59,25	118,99	17,27	50,31	99,76	451,99
ETP (mm)	109,93	94,22	97,64	112,12	103,83	142,84	138,18	134,86	117,16	137,42	142,69	116,19	1447,09
Hsi (mm)	540,23	540,23	478,20	432,99	397,50	376,94	383,70	367,13	425,50	540,23	478,29	478,77	
HD (mm)	369,01	213,05	149,12	101,61	68,22	88,11	59,40	154,90	333,43	243,58	248,09	348,03	
ETR (mm)	109,93	66,24	47,51	35,50	22,65	35,79	23,65	60,78	117,16	96,67	100,70	116,19	832,76
HSf (mm)	540,23	478,20	432,99	397,50	376,94	383,70	367,13	425,50	540,23	478,29	478,77	540,23	
DCC (mm)	0,00	62,03	107,23	142,73	163,28	156,52	173,10	114,72	0,00	61,94	61,46	0,00	
Rp (mm)	50,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,42	0,00	0,00	22,99	80,64
NR (mm)	0,00	90,01	157,37	219,36	244,46	263,57	287,62	188,81	0,00	102,69	103,45	0,00	1657,33
PdHd (mm/día)	0,00	2,07	3,46	4,60	5,83	5,05	5,77	3,70	0,00	2,00	1,98	0,00	
PdHm (mm/mes)	0,00	62,03	107,23	142,73	163,28	156,52	173,10	114,72	0,00	61,94	61,46	0,00	1043,01

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.12. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2014 - Método de Schosinsky**



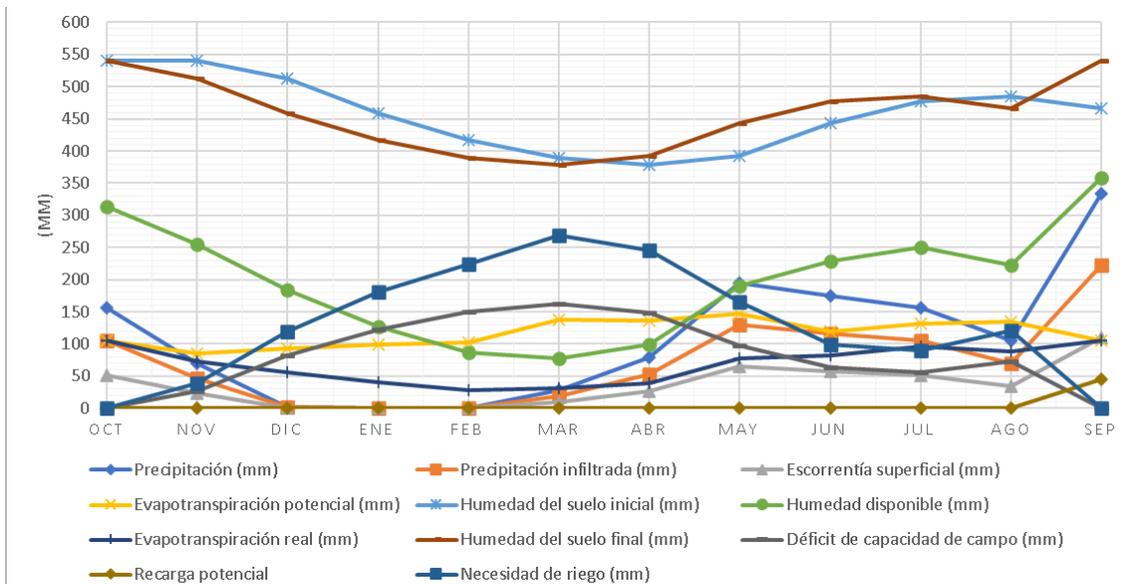
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.13. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2015 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	156,90	69,30	2,00	0,30	0,40	28,90	79,60	194,40	174,30	157,00	104,70	333,40	1301,20
Pi (mm)	104,79	46,29	2,00	0,30	0,40	19,30	53,16	129,84	116,41	104,86	69,93	222,68	869,96
ESC (mm)	52,11	23,01	0,00	0,00	0,00	9,60	26,44	64,56	57,89	52,14	34,77	110,72	431,24
ETP (mm)	104,89	84,85	93,28	99,65	101,74	137,18	136,71	146,29	118,90	131,72	135,20	104,68	1395,10
Hsi (mm)	540,23	540,16	512,75	458,14	417,40	389,49	378,10	391,75	443,23	476,84	484,88	467,01	
HD (mm)	313,64	255,07	183,37	127,06	86,42	77,41	99,89	190,21	228,27	250,32	223,43	358,31	
ETR (mm)	104,86	73,69	56,62	41,04	28,31	30,69	39,52	78,35	82,81	96,81	87,80	104,68	825,18
HSf (mm)	540,16	512,75	458,14	417,40	389,49	378,10	391,75	443,23	476,84	484,88	467,01	540,23	
DCC (mm)	0,06	27,47	82,09	122,83	150,74	162,12	148,48	96,99	63,39	55,34	73,22	0,00	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,78	44,78
NR (mm)	0,10	38,63	118,75	181,44	224,17	268,62	245,67	164,93	99,48	90,25	120,61	0,00	1552,65
PdHd (mm/día)	0,00	0,92	2,65	3,96	5,38	5,23	4,95	3,13	2,11	1,79	2,36	0,00	
PdHm (mm/mes)	0,06	27,47	82,09	122,83	150,74	162,12	148,48	96,99	63,39	55,34	73,22	0,00	982,73

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.14. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2015 - Método de Schosinsky**



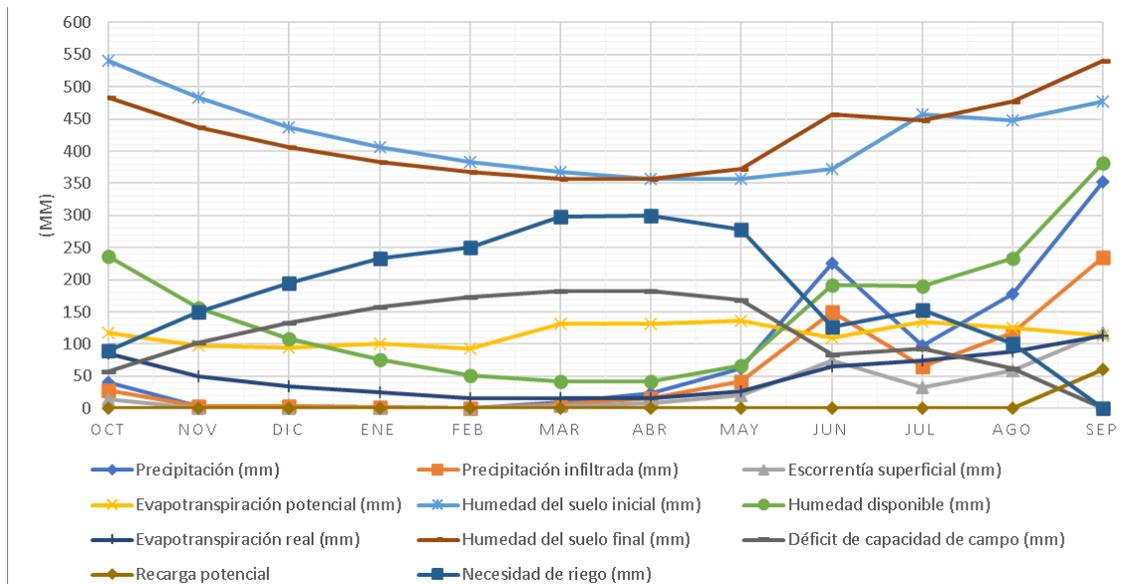
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.15. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2016 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	41,30	4,30	3,00	1,40	0,00	10,00	23,70	62,40	225,80	97,70	177,20	352,70	999,50
PI (mm)	27,58	4,30	3,00	1,40	0,00	6,68	15,83	41,68	150,81	65,25	118,35	235,57	670,45
ESC (mm)	13,72	0,00	0,00	0,00	0,00	3,32	7,87	20,72	74,99	32,45	58,85	117,13	329,05
ETP (mm)	116,98	97,76	95,04	100,78	92,71	131,18	132,28	136,57	109,45	135,31	125,39	112,57	1386,02
Hsi (mm)	540,23	482,93	437,53	406,40	382,92	367,08	357,41	357,01	372,07	457,03	447,23	477,72	
HD (mm)	236,43	155,85	109,15	76,42	51,54	42,38	41,86	67,30	191,50	190,91	234,20	381,91	
ETR (mm)	84,88	49,69	34,14	24,87	15,85	16,35	16,23	26,61	65,85	75,06	87,86	112,57	609,96
HSf (mm)	482,93	437,53	406,40	382,92	367,08	357,41	357,01	372,07	457,03	447,23	477,72	540,23	
DCC (mm)	57,30	102,69	133,83	157,30	173,15	182,82	183,22	168,15	83,19	93,00	62,51	0,00	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,49	60,49
NR (mm)	89,39	150,76	194,73	233,21	250,01	297,65	299,27	278,12	126,79	153,25	100,03	0,00	2173,21
PdHd (mm/día)	1,85	3,42	4,32	5,07	6,18	5,90	6,11	5,42	2,77	3,00	2,02	0,00	
PdHm (mm/mes)	57,30	102,69	133,83	157,30	173,15	182,82	183,22	168,15	83,19	93,00	62,51	0,00	1397,15

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.16. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2016 - Método de Schosinsky**



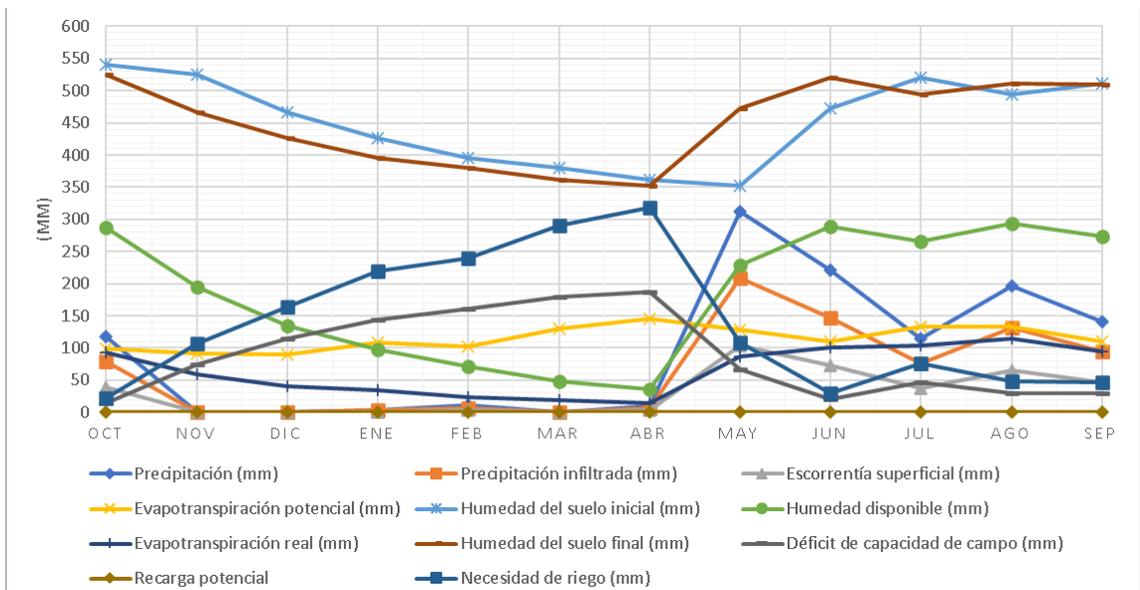
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.17. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2017 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	117,40	0,00	0,10	3,80	10,70	0,40	9,00	311,50	220,60	115,00	196,80	140,50	1125,80
Pi (mm)	78,41	0,00	0,10	3,80	7,15	0,40	6,01	208,05	147,34	76,81	131,44	93,84	753,35
ESC (mm)	38,99	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	2,99	103,45	73,26	38,19	65,36	46,66	372,45
ETP (mm)	99,94	92,12	89,49	109,05	101,81	130,36	144,80	128,34	110,76	132,86	133,80	110,23	1383,56
Hsi (mm)	540,23	525,67	466,20	425,83	395,92	379,58	361,30	352,60	473,38	520,45	493,88	510,54	
HD (mm)	287,26	194,29	134,92	98,25	71,69	48,60	35,93	229,27	289,34	265,88	293,94	273,00	
ETR (mm)	92,97	59,47	40,47	33,70	23,49	18,68	14,71	87,26	100,27	103,38	114,78	94,31	783,50
HSf (mm)	525,67	466,20	425,83	395,92	379,58	361,30	352,60	473,38	520,45	493,88	510,54	510,07	
DCC (mm)	14,56	74,03	114,40	144,30	160,65	178,93	187,63	66,84	19,77	46,34	29,69	30,16	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NR (mm)	21,53	106,68	163,42	219,65	238,96	290,61	317,71	107,92	30,26	75,83	48,71	46,07	1667,35
PdHd (mm/día)	0,47	2,47	3,69	4,65	5,74	5,77	6,25	2,16	0,66	1,49	0,96	1,01	
PdHm (mm/mes)	14,56	74,03	114,40	144,30	160,65	178,93	187,63	66,84	19,77	46,34	29,69	30,16	1067,29

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.18. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2017 - Método de Schosinsky**



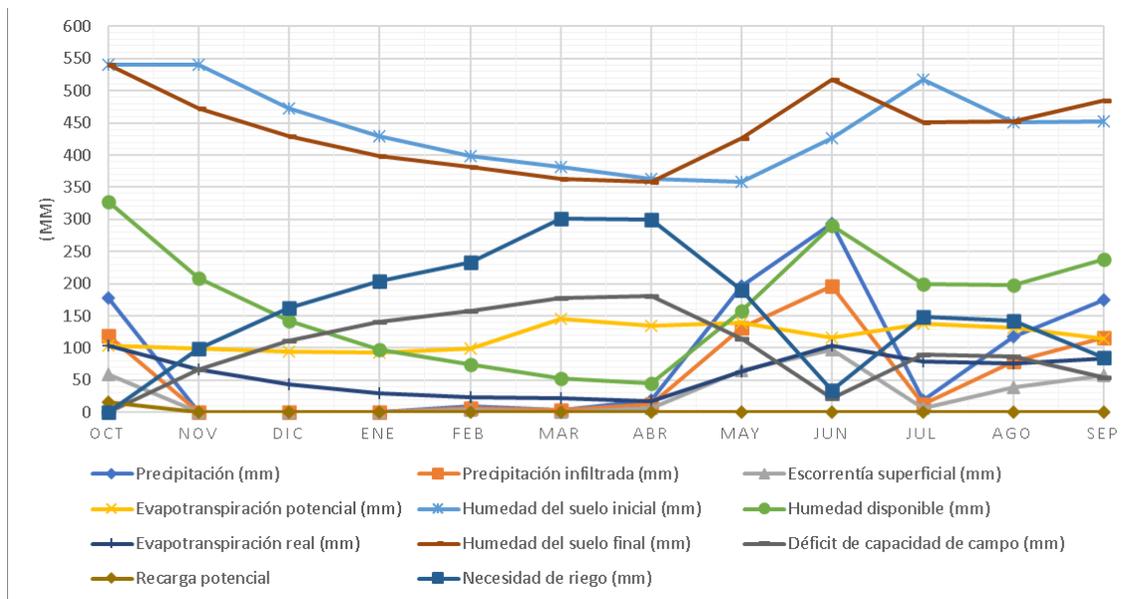
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.19. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2018 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	178,00	0,00	0,10	0,40	10,50	3,10	19,70	196,30	293,00	18,70	117,60	174,70	1012,10
Pi (mm)	118,89	0,00	0,10	0,40	7,01	3,10	13,16	131,11	195,69	12,49	78,54	116,68	677,17
ESC (mm)	59,11	0,00	0,00	0,00	3,49	0,00	6,54	65,19	97,31	6,21	39,06	58,02	334,93
ETP (mm)	103,53	98,84	95,00	93,64	99,50	145,48	135,01	140,10	116,67	138,22	131,86	114,77	1412,62
Hsi (mm)	540,23	540,23	473,14	428,88	398,98	381,91	362,99	358,57	426,12	517,72	451,03	452,87	
HD (mm)	327,73	208,85	141,86	97,90	74,61	53,63	44,77	158,30	290,44	198,83	198,19	238,17	
ETR (mm)	103,53	67,09	44,35	30,31	24,08	22,02	17,58	63,56	104,10	79,19	76,70	84,47	716,96
HSf (mm)	540,23	473,14	428,88	398,98	381,91	362,99	358,57	426,12	517,72	451,03	452,87	485,08	
DCC (mm)	0,00	67,09	111,34	141,25	158,31	177,23	181,65	114,10	22,50	89,20	87,36	55,14	
Rp (mm)	15,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,35
NR (mm)	0,00	98,84	161,99	204,58	233,73	300,69	299,09	190,64	35,07	148,24	142,51	85,45	1900,84
PdHd (mm/día)	0,00	2,24	3,59	4,56	5,65	5,72	6,06	3,68	0,75	2,88	2,82	1,84	
PdHm (mm/mes)	0,00	67,09	111,34	141,25	158,31	177,23	181,65	114,10	22,50	89,20	87,36	55,14	1205,18

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.20. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2018 - Método de Schosinsky**



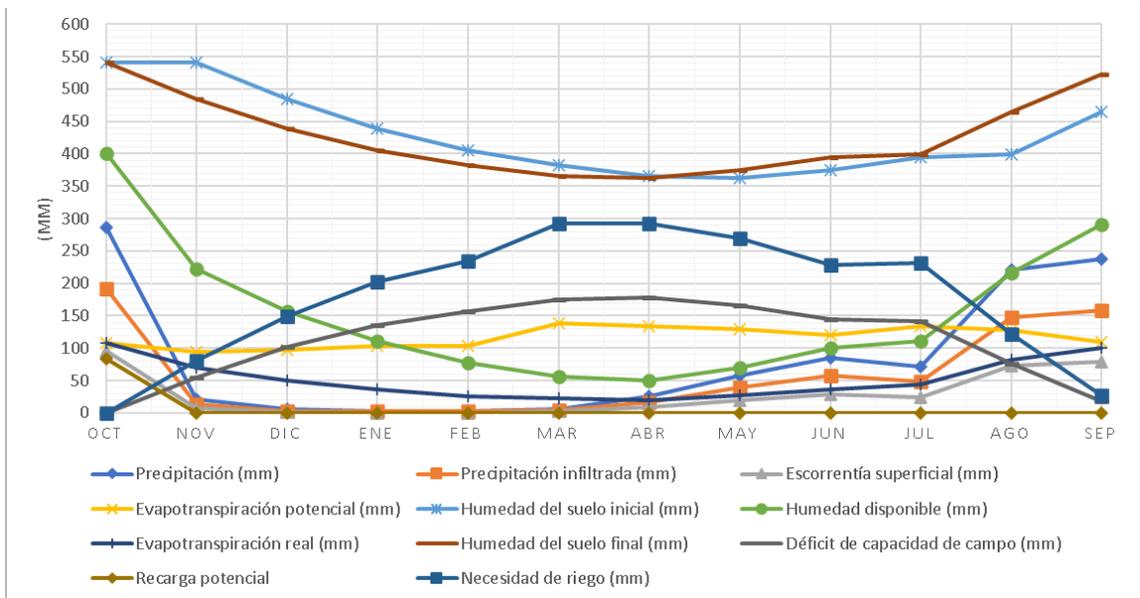
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.21. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2019 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	286,60	21,10	5,30	3,20	3,30	6,30	25,00	58,10	85,60	71,90	220,80	236,90	1024,10
Pi (mm)	191,42	14,09	3,54	3,20	3,30	4,21	16,70	38,80	57,17	48,02	147,47	158,22	686,15
ESC (mm)	95,18	7,01	1,76	0,00	0,00	2,09	8,30	19,30	28,43	23,88	73,33	78,68	337,95
ETP (mm)	107,57	94,19	96,95	103,47	102,94	139,15	134,56	129,59	119,61	133,85	128,37	109,41	1399,66
Hsi (mm)	540,23	540,23	485,02	438,73	405,30	383,11	364,95	361,95	374,19	394,95	399,39	464,83	
HD (mm)	400,26	222,94	157,18	110,55	77,22	55,93	50,27	69,37	99,98	111,59	215,48	291,68	
ETR (mm)	107,57	69,30	49,83	36,62	25,50	22,37	19,70	26,56	36,41	43,59	82,03	100,27	619,74
HSf (mm)	540,23	485,02	438,73	405,30	383,11	364,95	361,95	374,19	394,95	399,39	464,83	522,79	
DCC (mm)	0,00	55,20	101,50	134,92	157,12	175,28	178,28	166,03	145,27	140,84	75,39	17,44	
Rp (mm)	83,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,85
NR (mm)	0,00	80,10	148,61	201,77	234,57	292,06	293,14	269,06	228,47	231,10	121,74	26,57	2127,20
PdHd (mm/día)	0,00	1,84	3,27	4,35	5,61	5,65	5,94	5,36	4,84	4,54	2,43	0,58	
PdHm (mm/mes)	0,00	55,20	101,50	134,92	157,12	175,28	178,28	166,03	145,27	140,84	75,39	17,44	1347,27

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.22. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2019 - Método de Schosinsky**



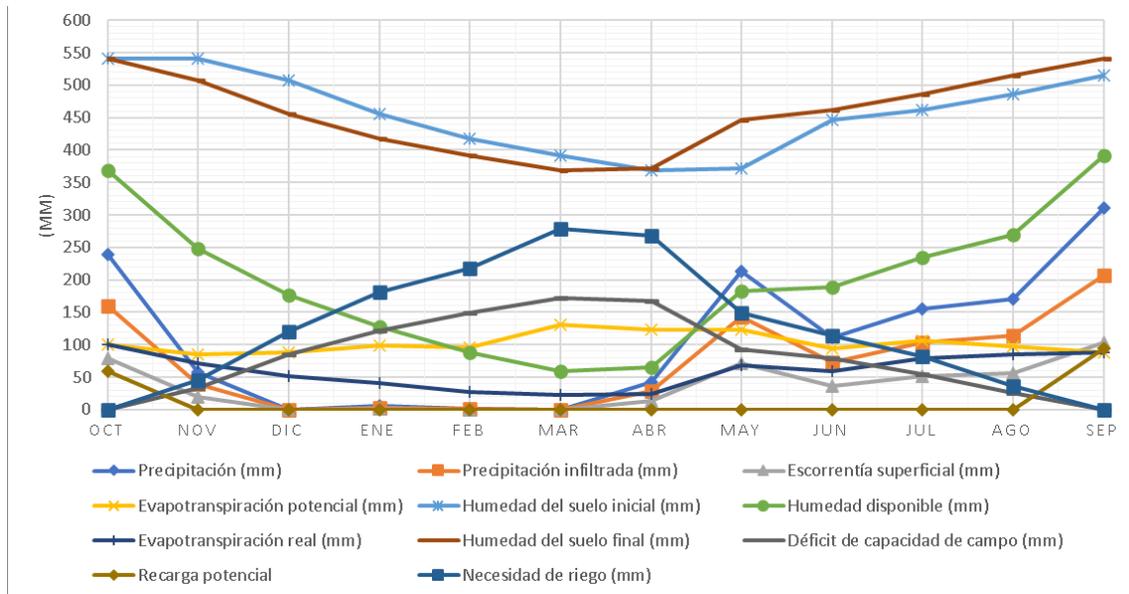
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.23. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2020 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	238,80	58,10	0,30	5,30	0,90	0,00	42,10	213,40	110,30	155,10	171,10	310,40	1305,80
PI (mm)	159,49	38,80	0,30	3,54	0,90	0,00	28,12	142,53	73,67	103,59	114,28	207,32	872,54
ESC (mm)	79,31	19,30	0,00	1,76	0,00	0,00	13,98	70,87	36,63	51,51	56,82	103,08	433,26
ETP (mm)	100,01	84,62	87,76	99,45	95,87	130,60	123,85	123,02	93,70	107,09	97,13	87,68	1230,78
Hsi (mm)	540,23	540,23	507,62	455,69	417,98	391,35	368,28	372,19	446,76	461,88	486,12	515,00	
HD (mm)	368,34	247,65	176,54	127,85	87,50	59,97	65,02	183,34	189,05	234,09	269,02	390,93	
ETR (mm)	100,01	71,41	52,23	41,24	27,53	23,07	24,20	67,96	58,55	79,35	85,40	87,68	718,64
HSf (mm)	540,23	507,62	455,69	417,98	391,35	368,28	372,19	446,76	461,88	486,12	515,00	540,23	
DCC (mm)	0,00	32,60	84,54	122,24	148,87	171,94	168,03	93,47	78,35	54,11	25,23	0,00	
Rp (mm)	59,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,41	153,90
NR (mm)	0,00	45,82	120,06	180,45	217,21	279,47	267,68	148,52	113,50	81,85	36,96	0,00	1491,52
PdHd (mm/día)	0,00	1,09	2,73	3,94	5,32	5,55	5,60	3,02	2,61	1,75	0,81	0,00	
PdHm (mm/mes)	0,00	32,60	84,54	122,24	148,87	171,94	168,03	93,47	78,35	54,11	25,23	0,00	979,38

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.24. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2020 - Método de Schosinsky**



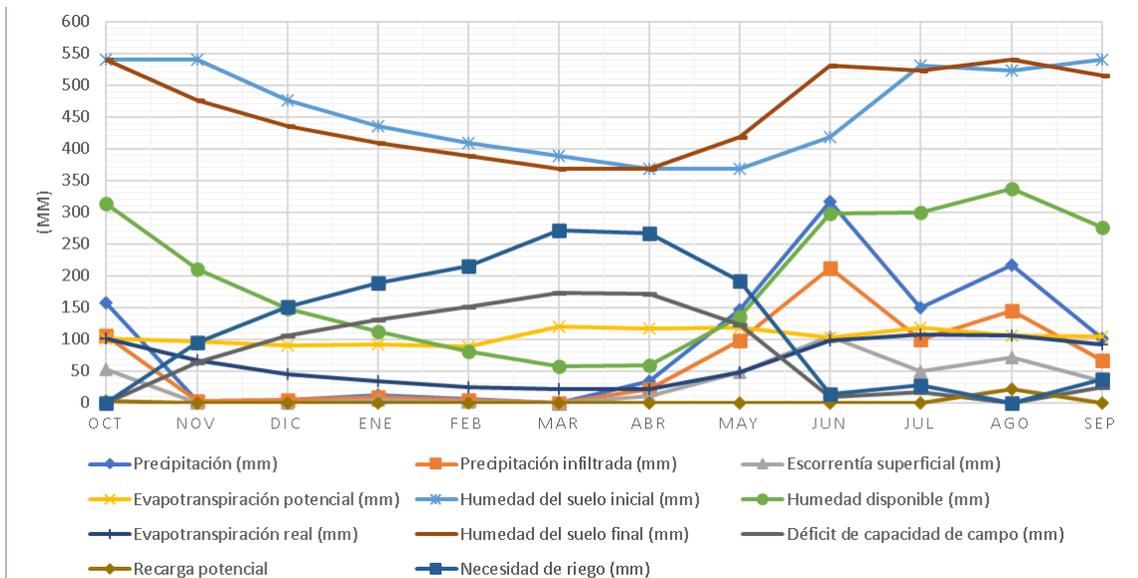
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.25. **Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2021 - Método de Schosinsky**

Variable	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	158,00	2,30	3,70	12,80	5,70	0,00	33,40	145,90	316,70	149,60	217,30	100,70	1146,10
Pi (mm)	105,53	2,30	3,70	8,55	3,81	0,00	22,31	97,45	211,52	99,92	145,13	67,26	767,47
ESC (mm)	52,47	0,00	0,00	4,25	1,89	0,00	11,09	48,45	105,18	49,68	72,17	33,44	378,63
ETP (mm)	101,91	96,81	89,91	91,66	88,41	120,60	117,09	118,41	102,40	118,14	105,91	103,85	1255,10
Hsi (mm)	540,23	540,23	475,65	434,82	409,21	388,74	367,74	368,97	417,56	531,13	522,78	540,23	
HD (mm)	314,37	211,15	147,97	111,99	81,64	57,36	58,67	135,04	297,70	299,67	336,54	276,10	
ETR (mm)	101,91	66,87	44,53	34,16	24,28	21,00	21,08	48,86	97,95	108,27	105,91	91,69	766,51
HSf (mm)	540,23	475,65	434,82	409,21	388,74	367,74	368,97	417,56	531,13	522,78	540,23	515,79	
DCC (mm)	0,00	64,57	105,41	131,01	151,49	172,49	171,25	122,67	9,09	17,44	0,00	24,44	
Rp (mm)	3,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,78	0,00	25,40
NR (mm)	0,00	94,51	150,78	188,51	215,62	272,09	267,27	192,22	13,55	27,31	0,00	36,59	1458,45
PdHd (mm/día)	0,00	2,15	3,40	4,23	5,41	5,56	5,71	3,96	0,30	0,56	0,00	0,81	
PdHm (mm/mes)	0,00	64,57	105,41	131,01	151,49	172,49	171,25	122,67	9,09	17,44	0,00	24,44	969,86

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.26. **Gráfica del Balance hídrico de suelos (mm/mes) Canalitos año 2021 - Método de Schosinsky**



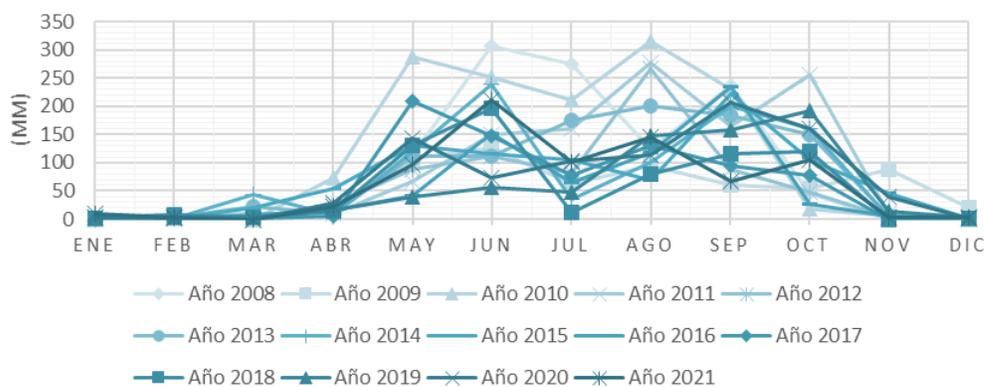
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.27. **Precipitación infiltrada (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	3,30	7,95	3,40	14,96	113,28	307,43	274,24	125,10	236,97	45,02	0,00	0,00	1131,64
2009	0,00	4,00	0,00	11,55	107,53	126,63	63,25	94,51	60,24	54,23	87,16	19,70	628,82
2010	0,00	1,30	0,00	72,27	286,80	251,73	211,99	314,45	229,49	17,90	4,27	0,00	1390,19
2011	0,00	4,68	8,95	10,22	67,79	148,67	159,36	276,64	164,84	256,81	9,42	1,50	1108,87
2012	3,20	3,54	3,41	27,32	87,09	110,54	80,88	265,49	87,43	48,02	3,20	1,10	721,21
2013	0,20	2,60	22,84	9,15	111,61	111,47	175,06	200,50	182,80	149,81	4,90	2,00	972,94
2014	0,00	2,10	42,55	7,08	119,15	239,31	34,73	101,19	200,64	160,16	4,21	2,30	913,41
2015	0,30	0,40	19,30	53,16	129,84	116,41	104,86	69,93	222,68	104,79	46,29	2,00	869,96
2016	1,40	0,00	6,68	15,83	41,68	150,81	65,25	118,35	235,57	27,58	4,30	3,00	670,45
2017	3,80	7,15	0,40	6,01	208,05	147,34	76,81	131,44	93,84	78,41	0,00	0,10	753,35
2018	0,40	7,01	3,10	13,16	131,11	195,69	12,49	78,54	116,68	118,89	0,00	0,10	677,17
2019	3,20	3,30	4,21	16,70	38,80	57,17	48,02	147,47	158,22	191,42	14,09	3,54	686,15
2020	3,54	0,90	0,00	28,12	142,53	73,67	103,59	114,28	207,32	159,49	38,80	0,30	872,54
2021	8,55	3,81	0,00	22,31	97,45	211,52	99,92	145,13	67,26	105,53	2,30	3,70	767,47

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.28. **Gráfica de la precipitación infiltrada (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



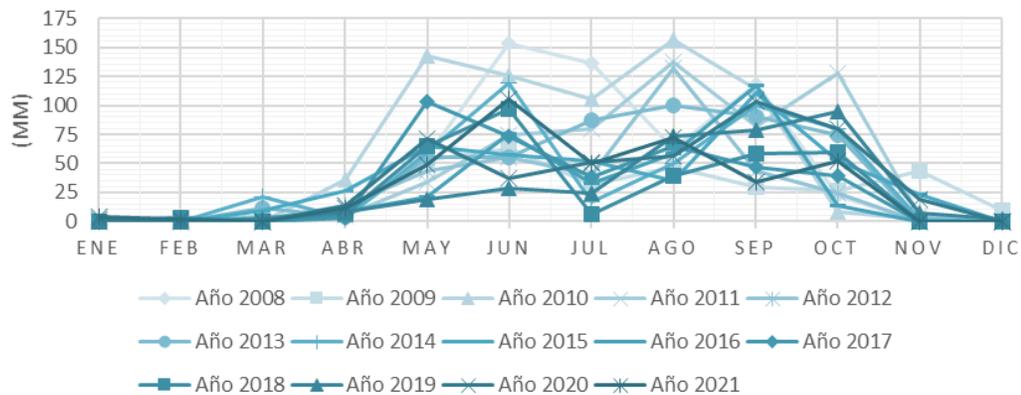
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.29. **Escorrentía superficial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	0,00	3,95	0,00	7,44	56,32	152,87	136,36	62,20	117,83	22,38	0,00	0,00	559,36
2009	0,00	0,00	0,00	5,75	53,47	62,97	31,45	46,99	29,96	26,97	43,34	9,80	310,68
2010	0,00	0,00	0,00	35,93	142,60	125,17	105,41	156,35	114,11	8,90	2,13	0,00	690,61
2011	0,00	2,32	4,45	5,08	33,71	73,93	79,24	137,56	81,96	127,69	4,68	0,00	550,63
2012	0,00	1,76	1,69	13,58	43,31	54,96	40,22	132,01	43,47	23,88	0,00	0,00	354,89
2013	0,00	0,00	11,36	4,55	55,49	55,43	87,04	99,70	90,90	74,49	0,00	0,00	478,96
2014	0,00	0,00	21,15	3,52	59,25	118,99	17,27	50,31	99,76	79,64	2,09	0,00	451,99
2015	0,00	0,00	9,60	26,44	64,56	57,89	52,14	34,77	110,72	52,11	23,01	0,00	431,24
2016	0,00	0,00	3,32	7,87	20,72	74,99	32,45	58,85	117,13	13,72	0,00	0,00	329,05
2017	0,00	3,55	0,00	2,99	103,45	73,26	38,19	65,36	46,66	38,99	0,00	0,00	372,45
2018	0,00	3,49	0,00	6,54	65,19	97,31	6,21	39,06	58,02	59,11	0,00	0,00	334,93
2019	0,00	0,00	2,09	8,30	19,30	28,43	23,88	73,33	78,68	95,18	7,01	1,76	337,95
2020	1,76	0,00	0,00	13,98	70,87	36,63	51,51	56,82	103,08	79,31	19,30	0,00	433,26
2021	4,25	1,89	0,00	11,09	48,45	105,18	49,68	72,17	33,44	52,47	0,00	0,00	378,63

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.30. **Gráfica de la escorrentía superficial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



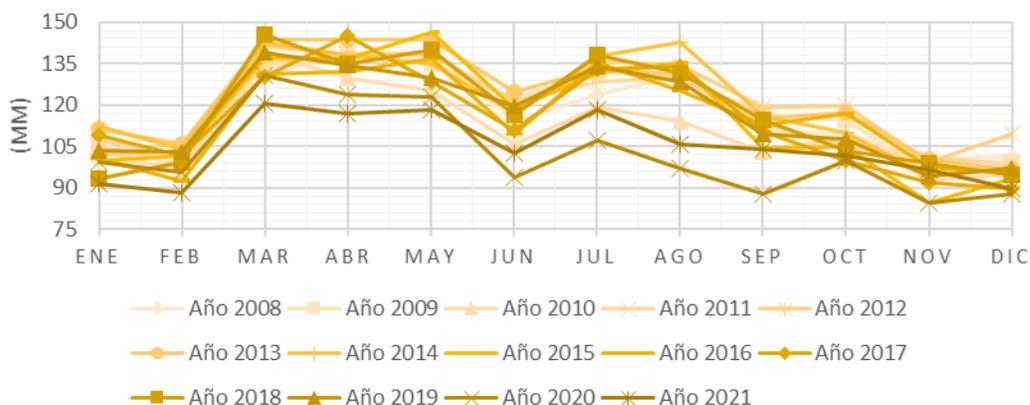
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.31. Evapotranspiración potencial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	99,78	98,61	131,26	138,53	137,26	114,33	123,81	130,59	110,61	109,35	100,55	101,43	2004,94
2009	105,91	98,54	133,84	137,37	134,90	122,58	132,00	129,77	116,93	114,55	94,84	99,42	2923,39
2010	103,40	96,32	138,85	129,79	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	108,79	93,07	94,99	2525,56
2011	107,05	101,94	135,48	138,59	138,09	121,58	128,47	129,70	113,39	105,47	100,91	99,02	1941,56
2012	102,00	103,09	141,40	137,98	139,18	117,17	135,88	134,19	119,24	119,55	99,62	109,45	2411,23
2013	111,20	105,86	143,79	143,64	143,59	124,96	133,14	131,00	115,10	117,26	100,25	96,41	2376,54
2014	112,12	103,83	142,84	138,18	134,86	117,16	137,42	142,69	116,19	109,93	94,22	97,64	2393,38
2015	99,65	101,74	137,18	136,71	146,29	118,90	131,72	135,20	104,68	104,89	84,85	93,28	1779,44
2016	100,78	92,71	131,18	132,28	136,57	109,45	135,31	125,39	112,57	116,98	97,76	95,04	2222,35
2017	109,05	101,81	130,36	144,80	128,34	110,76	132,86	133,80	110,23	99,94	92,12	89,49	2033,28
2018	93,64	99,50	145,48	135,01	140,10	116,67	138,22	131,86	114,77	103,53	98,84	95,00	1862,46
2019	103,47	102,94	139,15	134,56	129,59	119,61	133,85	128,37	109,41	107,57	94,19	96,95	2399,30
2020	99,45	95,87	130,60	123,85	123,02	93,70	107,09	97,13	87,68	100,01	84,62	87,76	2328,19
2021	91,66	88,41	120,60	117,09	118,41	102,40	118,14	105,91	103,85	101,91	96,81	89,91	1396,12

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.32. Gráfica de la evapotranspiración potencial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021



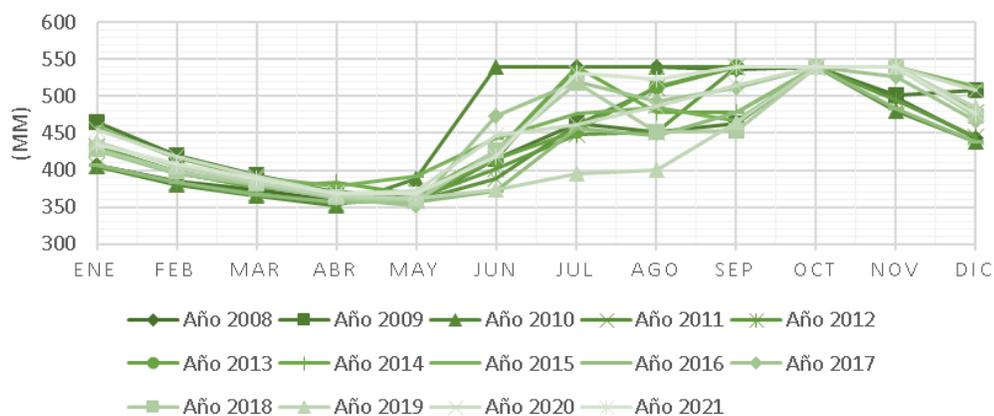
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.33. Humedad del suelo inicial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	407,08	384,84	373,09	359,08	357,03	415,21	540,23	540,23	536,84	540,23	498,00	443,85	5395,71
2009	464,49	419,70	394,10	369,61	361,41	414,96	463,84	451,30	463,63	540,23	501,27	508,16	5352,69
2010	404,30	380,15	365,65	351,96	388,64	540,23	540,23	540,23	540,23	540,23	480,47	437,46	5509,76
2011	432,23	398,05	379,32	365,89	358,27	388,37	461,37	510,53	540,23	540,23	540,23	478,54	5393,24
2012	406,09	383,73	368,80	355,72	362,49	402,31	447,63	450,81	540,23	540,23	494,74	444,15	5196,91
2013	431,56	396,88	376,57	371,67	360,68	414,88	453,36	512,78	540,23	540,23	540,23	475,80	5414,84
2014	432,99	397,50	376,94	383,70	367,13	425,50	540,23	478,29	478,77	540,23	540,23	478,20	5439,69
2015	458,14	417,40	389,49	378,10	391,75	443,23	476,84	484,88	467,01	540,23	540,16	512,75	5499,97
2016	406,40	382,92	367,08	357,41	357,01	372,07	457,03	447,23	477,72	540,23	482,93	437,53	5085,55
2017	425,83	395,92	379,58	361,30	352,60	473,38	520,45	493,88	510,54	540,23	525,67	466,20	5445,57
2018	428,88	398,98	381,91	362,99	358,57	426,12	517,72	451,03	452,87	540,23	540,23	473,14	5332,66
2019	438,73	405,30	383,11	364,95	361,95	374,19	394,95	399,39	464,83	540,23	540,23	485,02	5152,87
2020	455,69	417,98	391,35	368,28	372,19	446,76	461,88	486,12	515,00	540,23	540,23	507,62	5503,32
2021	434,82	409,21	388,74	367,74	368,97	417,56	531,13	522,78	540,23	540,23	540,23	475,65	5537,28

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.34. Gráfica de la humedad del suelo inicial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021



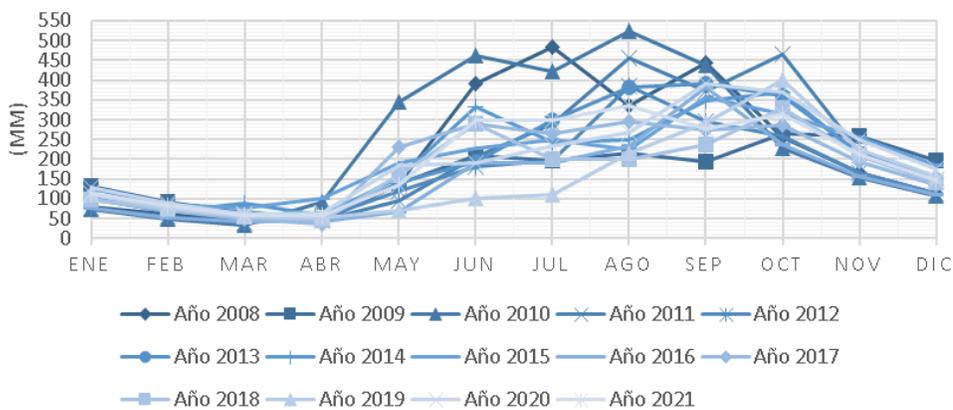
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.35. **Humedad disponible (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	79,00	61,41	45,11	42,66	138,92	391,26	483,08	333,94	442,43	253,86	166,62	112,47	2550,79
2009	133,11	92,32	62,72	49,78	137,56	210,21	195,71	214,42	192,49	263,08	257,05	196,48	2004,94
2010	72,92	50,07	34,27	92,85	344,06	460,58	420,84	523,29	438,33	226,74	153,36	106,08	2923,39
2011	100,85	71,35	56,89	44,73	94,68	205,67	289,35	455,79	373,68	465,65	218,26	148,66	2525,56
2012	77,91	55,89	40,82	51,66	118,20	181,47	197,13	384,92	296,27	256,87	166,56	113,87	1941,56
2013	100,38	68,10	68,04	49,44	140,90	194,97	297,04	381,90	391,65	358,65	213,75	146,42	2411,23
2014	101,61	68,22	88,11	59,40	154,90	333,43	243,58	248,09	348,03	369,01	213,05	149,12	2376,54
2015	127,06	86,42	77,41	99,89	190,21	228,27	250,32	223,43	358,31	313,64	255,07	183,37	2393,38
2016	76,42	51,54	42,38	41,86	67,30	191,50	190,91	234,20	381,91	236,43	155,85	109,15	1779,44
2017	98,25	71,69	48,60	35,93	229,27	289,34	265,88	293,94	273,00	287,26	194,29	134,92	2222,35
2018	97,90	74,61	53,63	44,77	158,30	290,44	198,83	198,19	238,17	327,73	208,85	141,86	2033,28
2019	110,55	77,22	55,93	50,27	69,37	99,98	111,59	215,48	291,68	400,26	222,94	157,18	1862,46
2020	127,85	87,50	59,97	65,02	183,34	189,05	234,09	269,02	390,93	368,34	247,65	176,54	2399,30
2021	111,99	81,64	57,36	58,67	135,04	297,70	299,67	336,54	276,10	314,37	211,15	147,97	2328,19

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.36. **Gráfica de la humedad disponible (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



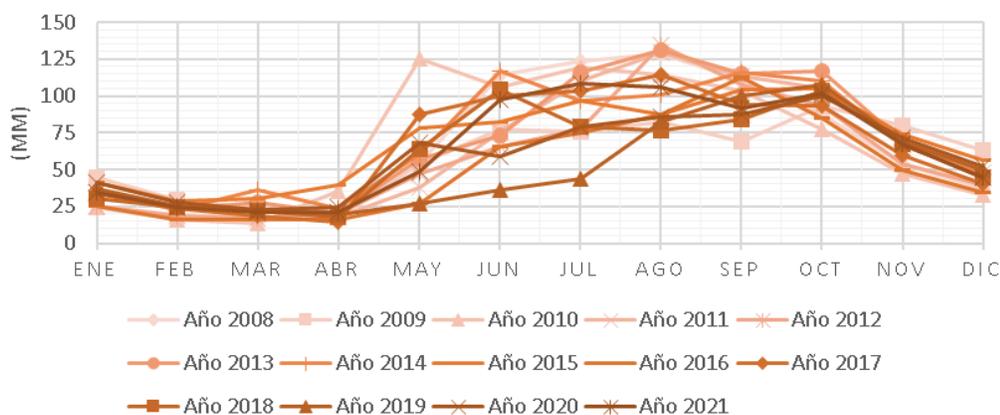
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.37. **Evapotranspiración real (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	25,54	19,70	17,41	17,01	55,10	114,33	123,81	128,48	110,61	87,24	54,15	36,77	790,15
2009	44,79	29,60	24,50	19,75	53,99	77,75	75,79	82,17	69,09	93,19	80,28	63,37	714,26
2010	24,15	15,80	13,68	35,59	125,38	105,94	119,18	114,24	103,15	77,66	47,28	33,16	815,20
2011	34,18	23,40	22,39	17,84	37,69	75,67	110,20	129,70	113,39	105,47	71,10	47,81	788,84
2012	25,57	18,47	16,48	20,55	47,27	65,22	77,70	134,19	107,68	93,51	53,79	39,15	699,59
2013	34,88	22,91	27,74	20,15	57,41	72,99	115,64	131,00	115,10	117,26	69,33	46,24	830,63
2014	35,50	22,65	35,79	23,65	60,78	117,16	96,67	100,70	116,19	109,93	66,24	47,51	832,76
2015	41,04	28,31	30,69	39,52	78,35	82,81	96,81	87,80	104,68	104,86	73,69	56,62	825,18
2016	24,87	15,85	16,35	16,23	26,61	65,85	75,06	87,86	112,57	84,88	49,69	34,14	609,96
2017	33,70	23,49	18,68	14,71	87,26	100,27	103,38	114,78	94,31	92,97	59,47	40,47	783,50
2018	30,31	24,08	22,02	17,58	63,56	104,10	79,19	76,70	84,47	103,53	67,09	44,35	716,96
2019	36,62	25,50	22,37	19,70	26,56	36,41	43,59	82,03	100,27	107,57	69,30	49,83	619,74
2020	41,24	27,53	23,07	24,20	67,96	58,55	79,35	85,40	87,68	100,01	71,41	52,23	718,64
2021	34,16	24,28	21,00	21,08	48,86	97,95	108,27	105,91	91,69	101,91	66,87	44,53	766,51

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.38. **Gráfica de la evapotranspiración real (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



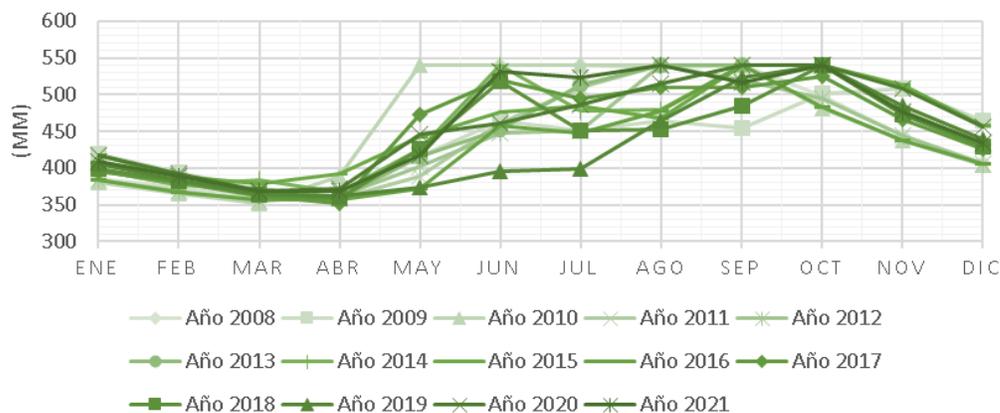
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.39. **Humedad del suelo final (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	384,84	373,09	359,08	357,03	415,21	540,23	540,23	536,84	540,23	498,00	443,85	407,08	5395,71
2009	419,70	394,10	369,61	361,41	414,96	463,84	451,30	463,63	454,78	501,27	508,16	464,49	5267,24
2010	380,15	365,65	351,96	388,64	540,23	540,23	540,23	540,23	540,23	480,47	437,46	404,30	5509,76
2011	398,05	379,32	365,89	358,27	388,37	461,37	510,53	540,23	540,23	540,23	478,54	432,23	5393,24
2012	383,73	368,80	355,72	362,49	402,31	447,63	450,81	540,23	519,97	494,74	444,15	406,09	5176,66
2013	396,88	376,57	371,67	360,68	414,88	453,36	512,78	540,23	540,23	540,23	475,80	431,56	5414,84
2014	397,50	376,94	383,70	367,13	425,50	540,23	478,29	478,77	540,23	540,23	478,20	432,99	5439,69
2015	417,40	389,49	378,10	391,75	443,23	476,84	484,88	467,01	540,23	540,16	512,75	458,14	5499,97
2016	382,92	367,08	357,41	357,01	372,07	457,03	447,23	477,72	540,23	482,93	437,53	406,40	5085,55
2017	395,92	379,58	361,30	352,60	473,38	520,45	493,88	510,54	510,07	525,67	466,20	425,83	5415,41
2018	398,98	381,91	362,99	358,57	426,12	517,72	451,03	452,87	485,08	540,23	473,14	428,88	5277,52
2019	405,30	383,11	364,95	361,95	374,19	394,95	399,39	464,83	522,79	540,23	485,02	438,73	5135,43
2020	417,98	391,35	368,28	372,19	446,76	461,88	486,12	515,00	540,23	540,23	507,62	455,69	5503,32
2021	409,21	388,74	367,74	368,97	417,56	531,13	522,78	540,23	515,79	540,23	475,65	434,82	5512,84

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.40. **Gráfica de la humedad del suelo final (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



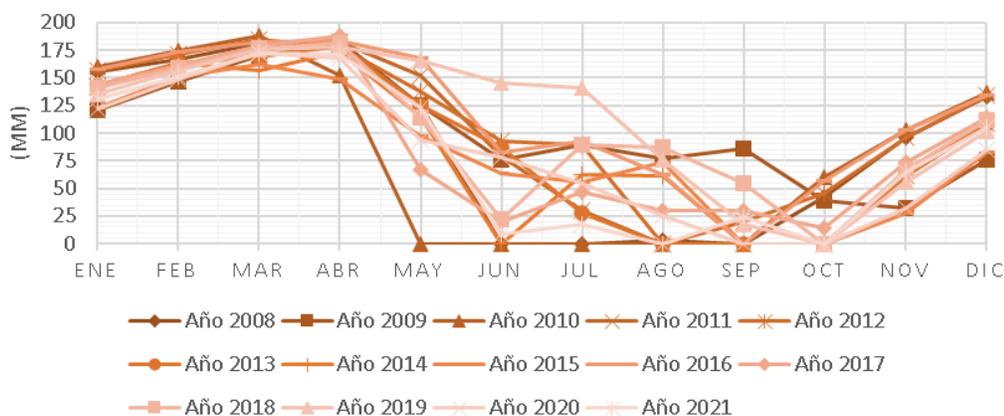
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.41. **Déficit de capacidad de campo (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	155,38	167,13	181,14	183,20	125,02	0,00	0,00	3,38	0,00	42,22	96,37	133,14	1086,99
2009	120,52	146,12	170,62	178,82	125,27	76,38	88,93	76,60	85,44	38,95	32,07	75,73	1215,46
2010	160,07	174,58	188,26	151,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,76	102,76	135,93	972,94
2011	142,17	160,90	174,34	181,96	151,85	78,85	29,70	0,00	0,00	0,00	61,69	108,00	1089,46
2012	156,50	171,43	184,50	177,74	137,91	92,60	89,42	0,00	20,25	45,49	96,08	134,13	1306,04
2013	143,34	163,65	168,55	179,55	125,35	86,86	27,45	0,00	0,00	0,00	64,43	108,67	1067,86
2014	142,73	163,28	156,52	173,10	114,72	0,00	61,94	61,46	0,00	0,00	62,03	107,23	1043,01
2015	122,83	150,74	162,12	148,48	96,99	63,39	55,34	73,22	0,00	0,06	27,47	82,09	982,73
2016	157,30	173,15	182,82	183,22	168,15	83,19	93,00	62,51	0,00	57,30	102,69	133,83	1397,15
2017	144,30	160,65	178,93	187,63	66,84	19,77	46,34	29,69	30,16	14,56	74,03	114,40	1067,29
2018	141,25	158,31	177,23	181,65	114,10	22,50	89,20	87,36	55,14	0,00	67,09	111,34	1205,18
2019	134,92	157,12	175,28	178,28	166,03	145,27	140,84	75,39	17,44	0,00	55,20	101,50	1347,27
2020	122,24	148,87	171,94	168,03	93,47	78,35	54,11	25,23	0,00	0,00	32,60	84,54	979,38
2021	131,01	151,49	172,49	171,25	122,67	9,09	17,44	0,00	24,44	0,00	64,57	105,41	969,86

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.42. **Gráfica del déficit de capacidad de campo (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



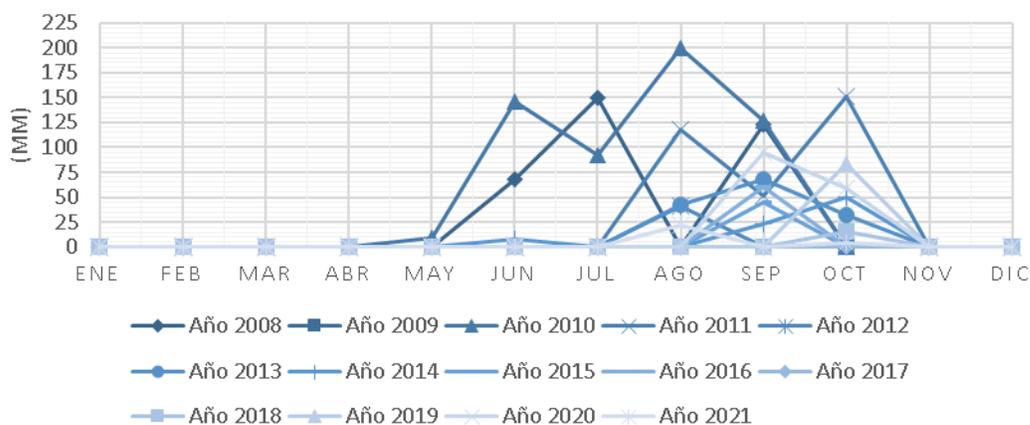
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.43. **Recarga potencial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,09	150,43	0,00	122,98	0,00	0,00	0,00	341,49
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	9,84	145,79	92,81	200,21	126,34	0,00	0,00	0,00	574,99
2011	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,25	51,45	151,34	0,00	0,00	320,04
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,88	0,00	0,00	0,00	0,00	41,88
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,06	67,70	32,55	0,00	0,00	142,31
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,42	0,00	0,00	22,99	50,24	0,00	0,00	80,64
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,78	0,00	0,00	0,00	44,78
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,49	0,00	0,00	0,00	60,49
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,35	0,00	0,00	15,35
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,85	0,00	0,00	83,85
2020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,41	59,49	0,00	0,00	153,90
2021	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,78	0,00	3,62	0,00	0,00	25,40

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.44. **Gráfica de recarga potencial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



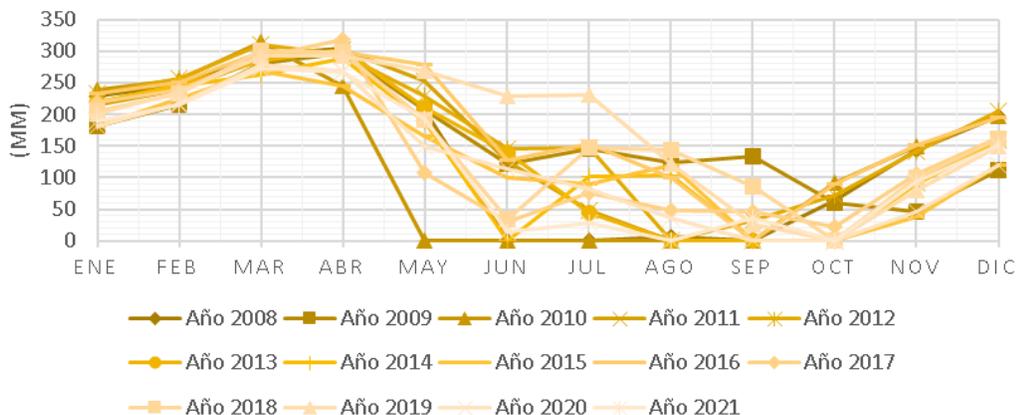
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.45. **Necesidad de riego (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	229,62	246,05	295,00	304,71	207,18	0,00	0,00	5,49	0,00	64,33	142,78	197,80	1692,97
2009	181,65	215,07	279,96	296,43	206,19	121,22	145,14	124,19	133,28	60,32	46,63	111,79	1921,85
2010	239,33	255,09	313,43	245,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,89	148,56	197,75	1490,84
2011	215,05	239,44	287,43	302,71	252,26	124,76	47,96	0,00	0,00	0,00	91,49	159,20	1720,30
2012	232,93	256,05	309,42	295,16	229,82	144,55	147,60	0,00	31,82	71,52	141,91	204,43	2065,20
2013	219,67	246,60	284,60	303,04	211,53	138,84	44,95	0,00	0,00	0,00	95,35	158,83	1703,41
2014	219,36	244,46	263,57	287,62	188,81	0,00	102,69	103,45	0,00	0,00	90,01	157,37	1657,33
2015	181,44	224,17	268,62	245,67	164,93	99,48	90,25	120,61	0,00	0,10	38,63	118,75	1552,65
2016	233,21	250,01	297,65	299,27	278,12	126,79	153,25	100,03	0,00	89,39	150,76	194,73	2173,21
2017	219,65	238,96	290,61	317,71	107,92	30,26	75,83	48,71	46,07	21,53	106,68	163,42	1667,35
2018	204,58	233,73	300,69	299,09	190,64	35,07	148,24	142,51	85,45	0,00	98,84	161,99	1900,84
2019	201,77	234,57	292,06	293,14	269,06	228,47	231,10	121,74	26,57	0,00	80,10	148,61	2127,20
2020	180,45	217,21	279,47	267,68	148,52	113,50	81,85	36,96	0,00	0,00	45,82	120,06	1491,52
2021	188,51	215,62	272,09	267,27	192,22	13,55	27,31	0,00	36,59	0,00	94,51	150,78	1458,45

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.46. **Gráfica de la necesidad de riego (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



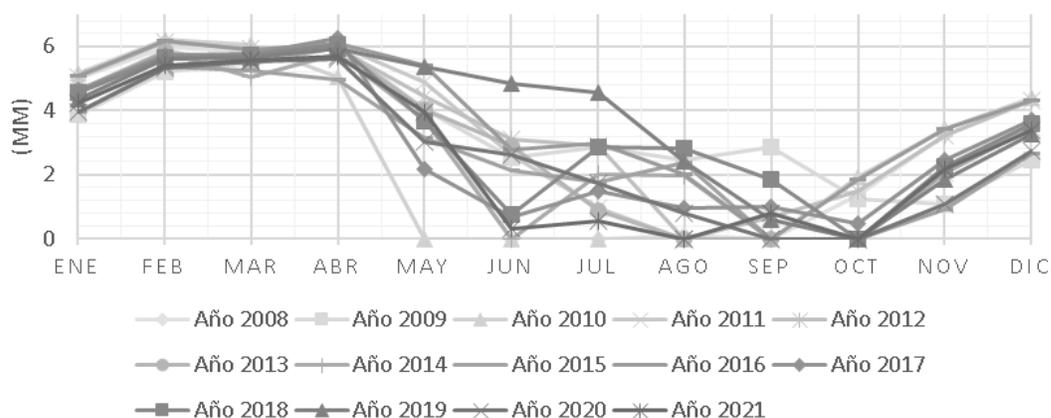
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.47. **Pérdida de humedad (mm/día) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	5,01	5,97	5,84	6,11	4,03	0,00	0,00	0,11	0,00	1,36	3,21	4,29	35,94
2009	3,89	5,22	5,50	5,96	4,04	2,55	2,87	2,47	2,85	1,26	1,07	2,44	40,11
2010	5,16	6,23	6,07	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,93	3,43	4,38	32,26
2011	4,59	5,75	5,62	6,07	4,90	2,63	0,96	0,00	0,00	0,00	2,06	3,48	36,05
2012	5,05	6,12	5,95	5,92	4,45	3,09	2,88	0,00	0,68	1,47	3,20	4,33	43,14
2013	4,62	5,84	5,44	5,98	4,04	2,90	0,89	0,00	0,00	0,00	2,15	3,51	35,37
2014	4,60	5,83	5,05	5,77	3,70	0,00	2,00	1,98	0,00	0,00	2,07	3,46	34,46
2015	3,96	5,38	5,23	4,95	3,13	2,11	1,79	2,36	0,00	0,00	0,92	2,65	32,48
2016	5,07	6,18	5,90	6,11	5,42	2,77	3,00	2,02	0,00	1,85	3,42	4,32	46,06
2017	4,65	5,74	5,77	6,25	2,16	0,66	1,49	0,96	1,01	0,47	2,47	3,69	35,32
2018	4,56	5,65	5,72	6,06	3,68	0,75	2,88	2,82	1,84	0,00	2,24	3,59	39,77
2019	4,35	5,61	5,65	5,94	5,36	4,84	4,54	2,43	0,58	0,00	1,84	3,27	44,43
2020	3,94	5,32	5,55	5,60	3,02	2,61	1,75	0,81	0,00	0,00	1,09	2,73	32,41
2021	4,23	5,41	5,56	5,71	3,96	0,30	0,56	0,00	0,81	0,00	2,15	3,40	32,10

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.48. **Gráfica de la pérdida de humedad (mm/día) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



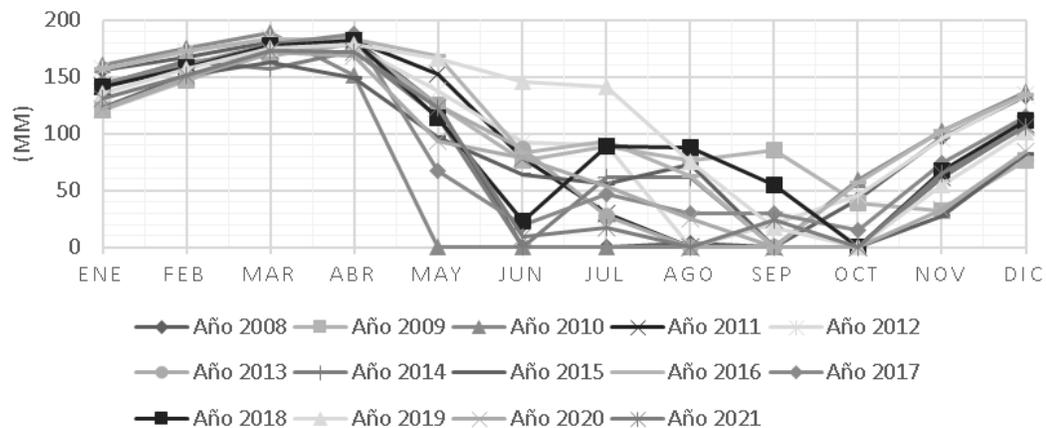
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.49. **Pérdida de humedad (mm/mes) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	155,38	167,13	181,14	183,20	125,02	0,00	0,00	3,38	0,00	42,22	96,37	133,14	1086,99
2009	120,52	146,12	170,62	178,82	125,27	76,38	88,93	76,60	85,44	38,95	32,07	75,73	1215,46
2010	160,07	174,58	188,26	151,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,76	102,76	135,93	972,94
2011	142,17	160,90	174,34	181,96	151,85	78,85	29,70	0,00	0,00	0,00	61,69	108,00	1089,46
2012	156,50	171,43	184,50	177,74	137,91	92,60	89,42	0,00	20,25	45,49	96,08	134,13	1306,04
2013	143,34	163,65	168,55	179,55	125,35	86,86	27,45	0,00	0,00	0,00	64,43	108,67	1067,86
2014	142,73	163,28	156,52	173,10	114,72	0,00	61,94	61,46	0,00	0,00	62,03	107,23	1043,01
2015	122,83	150,74	162,12	148,48	96,99	63,39	55,34	73,22	0,00	0,06	27,47	82,09	982,73
2016	157,30	173,15	182,82	183,22	168,15	83,19	93,00	62,51	0,00	57,30	102,69	133,83	1397,15
2017	144,30	160,65	178,93	187,63	66,84	19,77	46,34	29,69	30,16	14,56	74,03	114,40	1067,29
2018	141,25	158,31	177,23	181,65	114,10	22,50	89,20	87,36	55,14	0,00	67,09	111,34	1205,18
2019	134,92	157,12	175,28	178,28	166,03	145,27	140,84	75,39	17,44	0,00	55,20	101,50	1347,27
2020	122,24	148,87	171,94	168,03	93,47	78,35	54,11	25,23	0,00	0,00	32,60	84,54	979,38
2021	131,01	151,49	172,49	171,25	122,67	9,09	17,44	0,00	24,44	0,00	64,57	105,41	969,86

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.50. **Gráfica de la pérdida de humedad (mm/mes) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

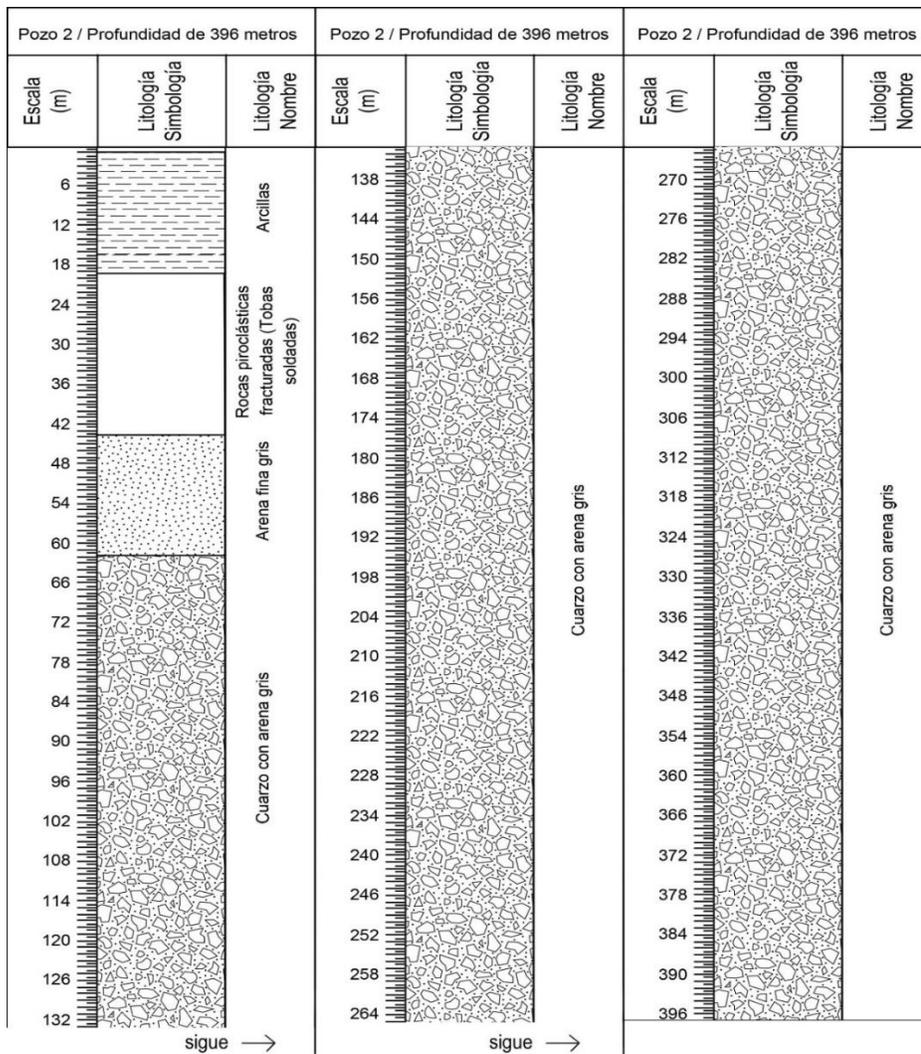


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Geología y resultados de la sección 2.2.1**

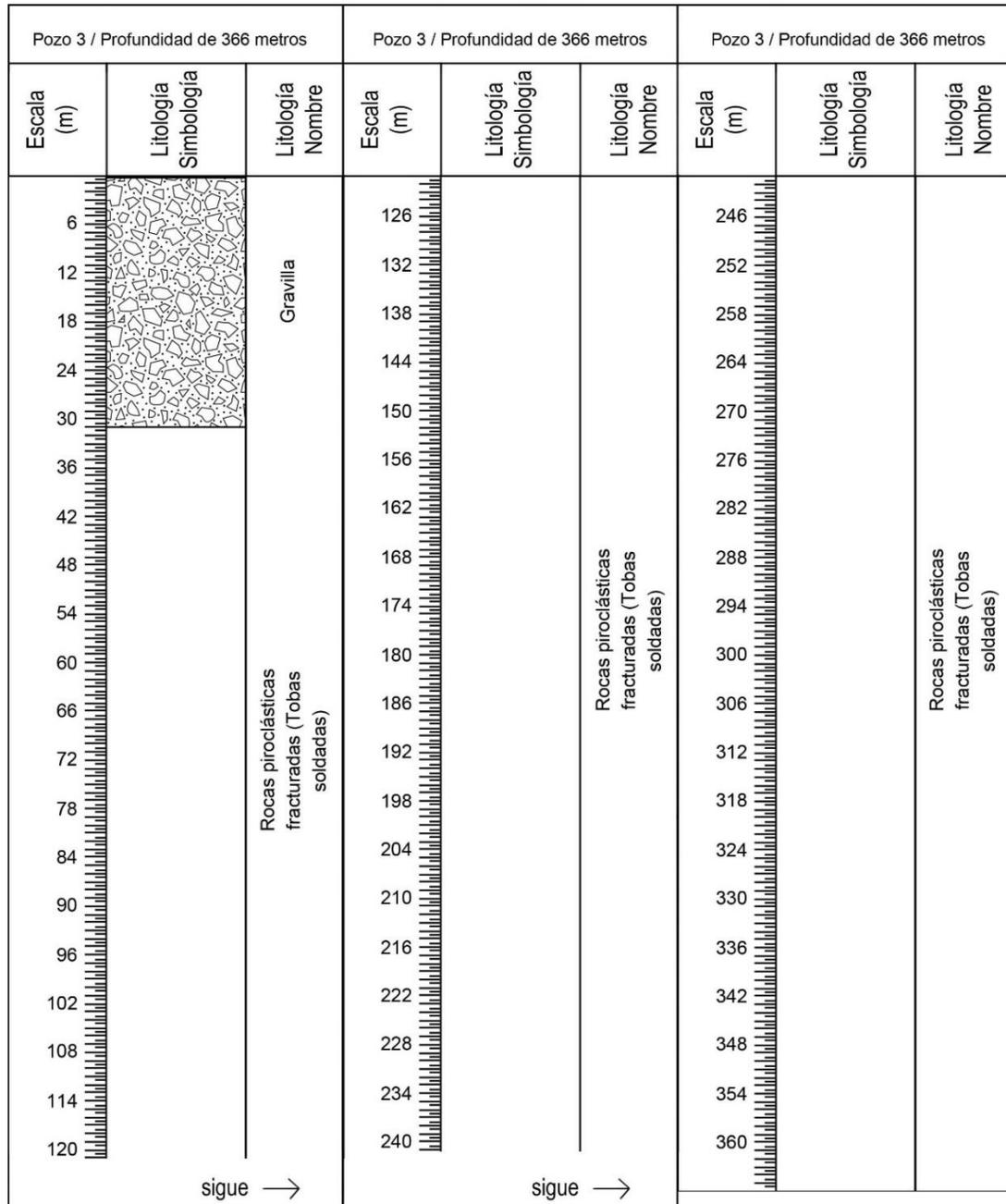
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada perfil litológico de los pozos:

Apéndice 5.1. **Perfil litológico del pozo 2 del sistema de pozos de agua potable de Canalitos**



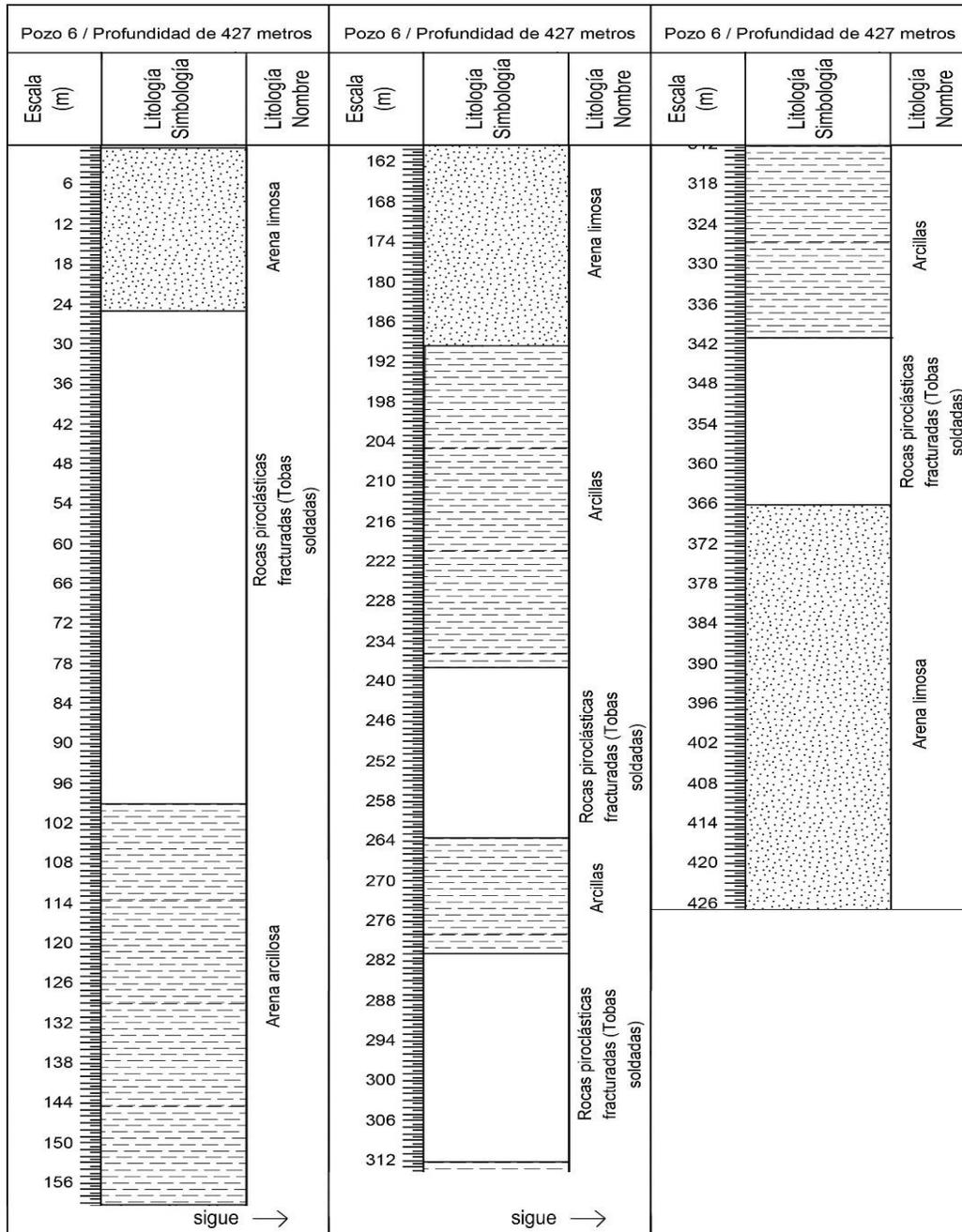
Fuente: elaboración propia, realizado con SedLog y con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 5.2. **Perfil litológico del pozo 3 del sistema de pozos de agua potable de Canalitos**



Fuente: elaboración propia, realizado con SedLog y con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 5.5. **Perfil litológico del pozo 6 del sistema de pozos de agua potable de Canalitos**



Fuente: elaboración propia, realizado con SedLog y con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 6. Recurso hídrico de la subcuenca del río Los Ocotes y resultados de la sección 2.4.1

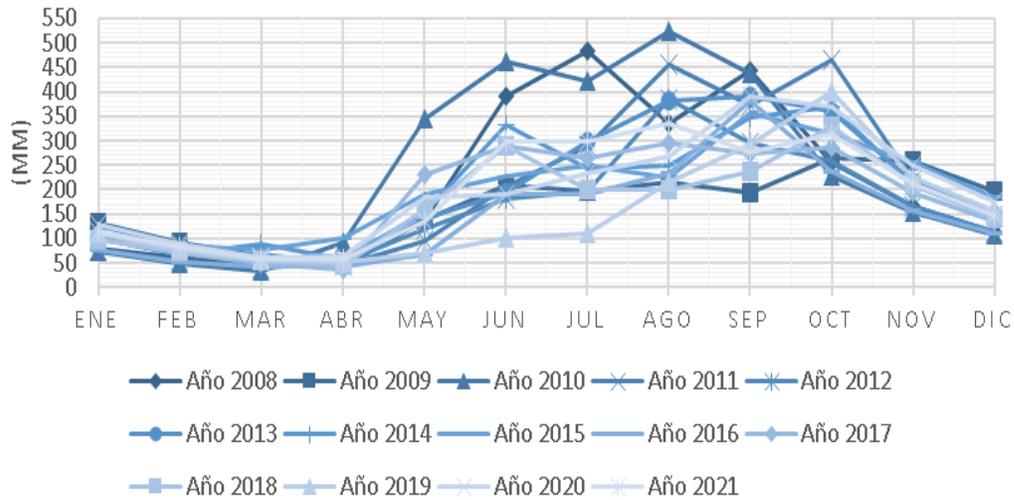
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro relacionado con el recurso hídrico de la subcuenca:

Apéndice 6.1. Humedad disponible (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	79,00	61,41	45,11	42,66	138,92	391,26	483,08	333,94	442,43	253,86	166,62	112,47	2550,79
2009	133,11	92,32	62,72	49,78	137,56	210,21	195,71	214,42	192,49	263,08	257,05	196,48	2004,94
2010	72,92	50,07	34,27	92,85	344,06	460,58	420,84	523,29	438,33	226,74	153,36	106,08	2923,39
2011	100,85	71,35	56,89	44,73	94,68	205,67	289,35	455,79	373,68	465,65	218,26	148,66	2525,56
2012	77,91	55,89	40,82	51,66	118,20	181,47	197,13	384,92	296,27	256,87	166,56	113,87	1941,56
2013	100,38	68,10	68,04	49,44	140,90	194,97	297,04	381,90	391,65	358,65	213,75	146,42	2411,23
2014	101,61	68,22	88,11	59,40	154,90	333,43	243,58	248,09	348,03	369,01	213,05	149,12	2376,54
2015	127,06	86,42	77,41	99,89	190,21	228,27	250,32	223,43	358,31	313,64	255,07	183,37	2393,38
2016	76,42	51,54	42,38	41,86	67,30	191,50	190,91	234,20	381,91	236,43	155,85	109,15	1779,44
2017	98,25	71,69	48,60	35,93	229,27	289,34	265,88	293,94	273,00	287,26	194,29	134,92	2222,35
2018	97,90	74,61	53,63	44,77	158,30	290,44	198,83	198,19	238,17	327,73	208,85	141,86	2033,28
2019	110,55	77,22	55,93	50,27	69,37	99,98	111,59	215,48	291,68	400,26	222,94	157,18	1862,46
2020	127,85	87,50	59,97	65,02	183,34	189,05	234,09	269,02	390,93	368,34	247,65	176,54	2399,30
2021	111,99	81,64	57,36	58,67	135,04	297,70	299,67	336,54	276,10	314,37	211,15	147,97	2328,19

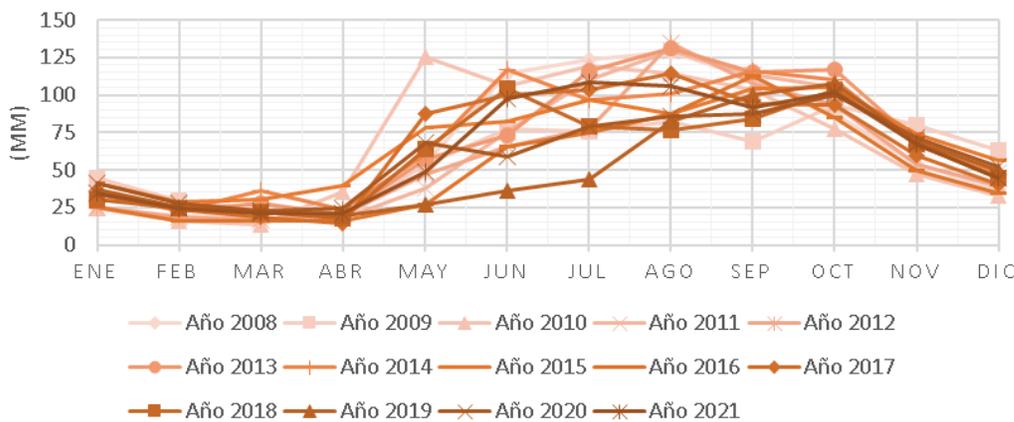
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6.2. **Gráfica de la humedad disponible (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6.3. **Gráfica de la evapotranspiración real (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



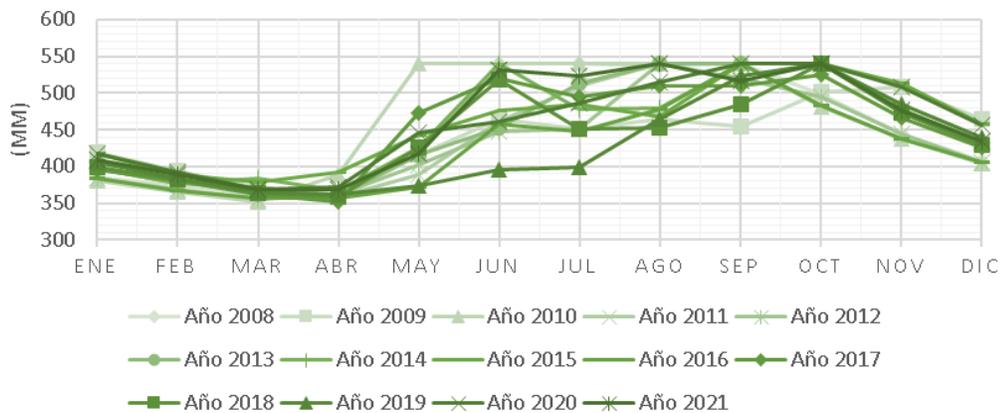
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6.4. **Humedad del suelo final (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	384,84	373,09	359,08	357,03	415,21	540,23	540,23	536,84	540,23	498,00	443,85	407,08	5395,71
2009	419,70	394,10	369,61	361,41	414,96	463,84	451,30	463,63	454,78	501,27	508,16	464,49	5267,24
2010	380,15	365,65	351,96	388,64	540,23	540,23	540,23	540,23	540,23	480,47	437,46	404,30	5509,76
2011	398,05	379,32	365,89	358,27	388,37	461,37	510,53	540,23	540,23	540,23	478,54	432,23	5393,24
2012	383,73	368,80	355,72	362,49	402,31	447,63	450,81	540,23	519,97	494,74	444,15	406,09	5176,66
2013	396,88	376,57	371,67	360,68	414,88	453,36	512,78	540,23	540,23	540,23	475,80	431,56	5414,84
2014	397,50	376,94	383,70	367,13	425,50	540,23	478,29	478,77	540,23	540,23	478,20	432,99	5439,69
2015	417,40	389,49	378,10	391,75	443,23	476,84	484,88	467,01	540,23	540,16	512,75	458,14	5499,97
2016	382,92	367,08	357,41	357,01	372,07	457,03	447,23	477,72	540,23	482,93	437,53	406,40	5085,55
2017	395,92	379,58	361,30	352,60	473,38	520,45	493,88	510,54	510,07	525,67	466,20	425,83	5415,41
2018	398,98	381,91	362,99	358,57	426,12	517,72	451,03	452,87	485,08	540,23	473,14	428,88	5277,52
2019	405,30	383,11	364,95	361,95	374,19	394,95	399,39	464,83	522,79	540,23	485,02	438,73	5135,43
2020	417,98	391,35	368,28	372,19	446,76	461,88	486,12	515,00	540,23	540,23	507,62	455,69	5503,32
2021	409,21	388,74	367,74	368,97	417,56	531,13	522,78	540,23	515,79	540,23	475,65	434,82	5512,84

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6.5. **Gráfica de la humedad del suelo final (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Zonas de recarga hídrica y resultados de la sección 2.5.1

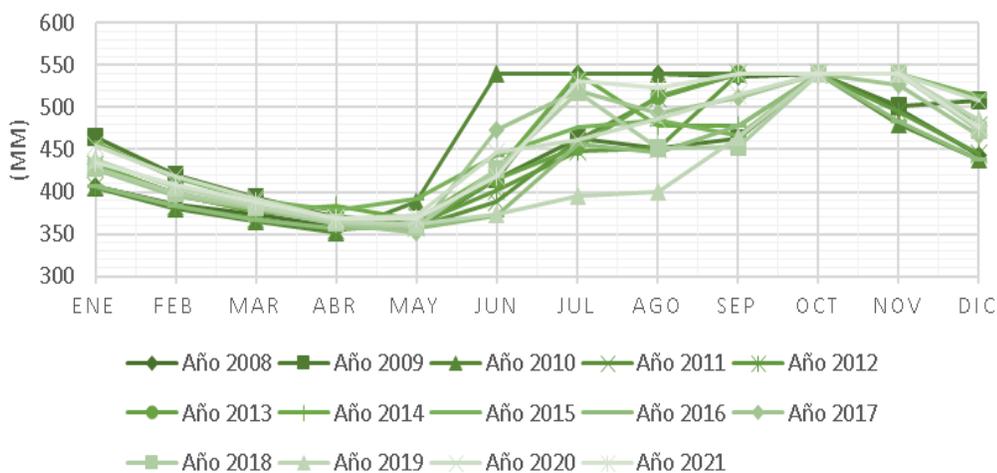
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro relacionado con la recarga hídrica:

Apéndice 7.1. Humedad del suelo inicial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	407,08	384,84	373,09	359,08	357,03	415,21	540,23	540,23	536,84	540,23	498,00	443,85	5395,71
2009	464,49	419,70	394,10	369,61	361,41	414,96	463,84	451,30	463,63	540,23	501,27	508,16	5352,69
2010	404,30	380,15	365,65	351,96	388,64	540,23	540,23	540,23	540,23	540,23	480,47	437,46	5509,76
2011	432,23	398,05	379,32	365,89	358,27	388,37	461,37	510,53	540,23	540,23	540,23	478,54	5393,24
2012	406,09	383,73	368,80	355,72	362,49	402,31	447,63	450,81	540,23	540,23	494,74	444,15	5196,91
2013	431,56	396,88	376,57	371,67	360,68	414,88	453,36	512,78	540,23	540,23	540,23	475,80	5414,84
2014	432,99	397,50	376,94	383,70	367,13	425,50	540,23	478,29	478,77	540,23	540,23	478,20	5439,69
2015	458,14	417,40	389,49	378,10	391,75	443,23	476,84	484,88	467,01	540,23	540,16	512,75	5499,97
2016	406,40	382,92	367,08	357,41	357,01	372,07	457,03	447,23	477,72	540,23	482,93	437,53	5085,55
2017	425,83	395,92	379,58	361,30	352,60	473,38	520,45	493,88	510,54	540,23	525,67	466,20	5445,57
2018	428,88	398,98	381,91	362,99	358,57	426,12	517,72	451,03	452,87	540,23	540,23	473,14	5332,66
2019	438,73	405,30	383,11	364,95	361,95	374,19	394,95	399,39	464,83	540,23	540,23	485,02	5152,87
2020	455,69	417,98	391,35	368,28	372,19	446,76	461,88	486,12	515,00	540,23	540,23	507,62	5503,32
2021	434,82	409,21	388,74	367,74	368,97	417,56	531,13	522,78	540,23	540,23	540,23	475,65	5537,28

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.2. Gráfica de la humedad del suelo inicial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021



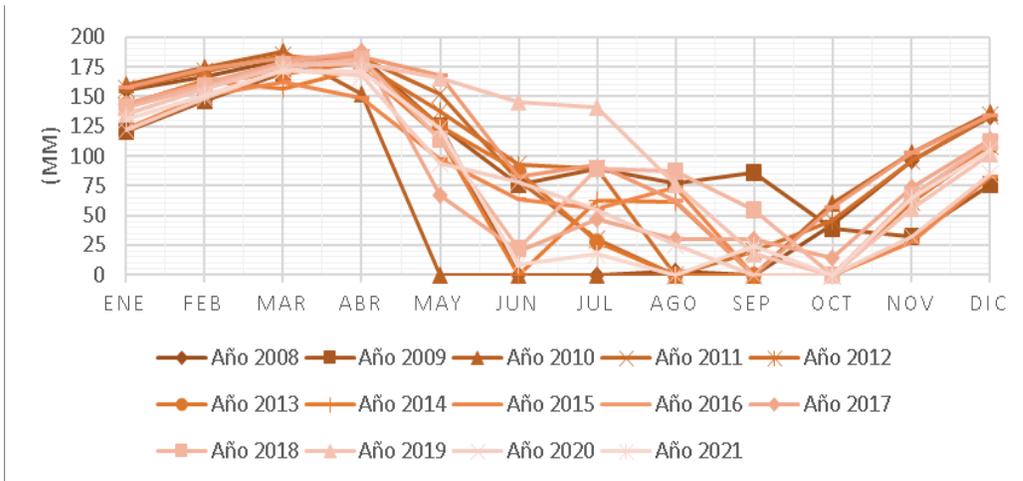
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.3. Déficit de capacidad de campo (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	155,38	167,13	181,14	183,20	125,02	0,00	0,00	3,38	0,00	42,22	96,37	133,14	1086,99
2009	120,52	146,12	170,62	178,82	125,27	76,38	88,93	76,60	85,44	38,95	32,07	75,73	1215,46
2010	160,07	174,58	188,26	151,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,76	102,76	135,93	972,94
2011	142,17	160,90	174,34	181,96	151,85	78,85	29,70	0,00	0,00	0,00	61,69	108,00	1089,46
2012	156,50	171,43	184,50	177,74	137,91	92,60	89,42	0,00	20,25	45,49	96,08	134,13	1306,04
2013	143,34	163,65	168,55	179,55	125,35	86,86	27,45	0,00	0,00	0,00	64,43	108,67	1067,86
2014	142,73	163,28	156,52	173,10	114,72	0,00	61,94	61,46	0,00	0,00	62,03	107,23	1043,01
2015	122,83	150,74	162,12	148,48	96,99	63,39	55,34	73,22	0,00	0,06	27,47	82,09	982,73
2016	157,30	173,15	182,82	183,22	168,15	83,19	93,00	62,51	0,00	57,30	102,69	133,83	1397,15
2017	144,30	160,65	178,93	187,63	66,84	19,77	46,34	29,69	30,16	14,56	74,03	114,40	1067,29
2018	141,25	158,31	177,23	181,65	114,10	22,50	89,20	87,36	55,14	0,00	67,09	111,34	1205,18
2019	134,92	157,12	175,28	178,28	166,03	145,27	140,84	75,39	17,44	0,00	55,20	101,50	1347,27
2020	122,24	148,87	171,94	168,03	93,47	78,35	54,11	25,23	0,00	0,00	32,60	84,54	979,38
2021	131,01	151,49	172,49	171,25	122,67	9,09	17,44	0,00	24,44	0,00	64,57	105,41	969,86

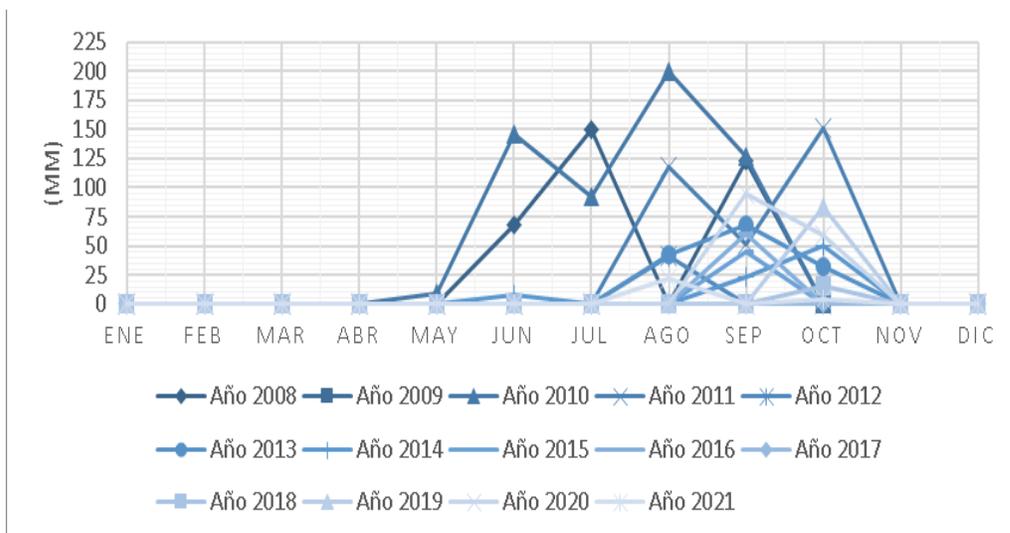
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.4. **Gráfica del déficit de capacidad de campo (mm)**
Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021



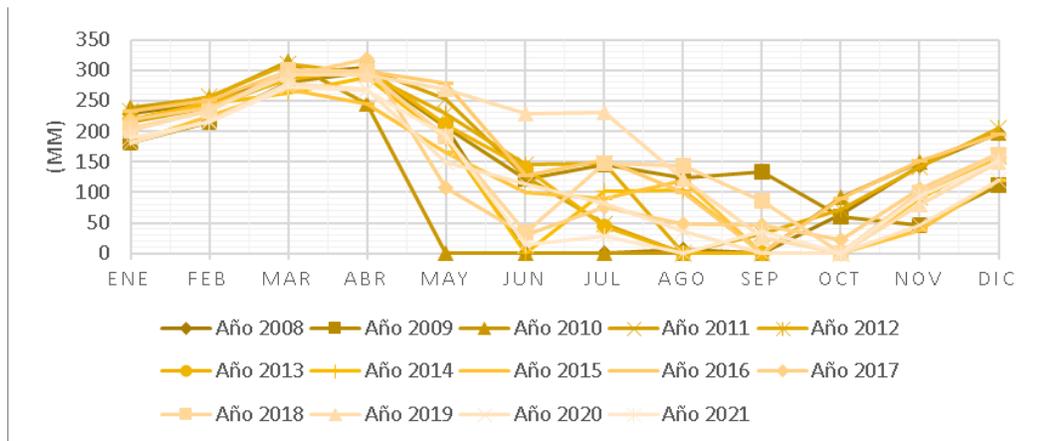
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.5. **Gráfica de recarga potencial (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.6. Gráfica de la necesidad de riego (mm) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021



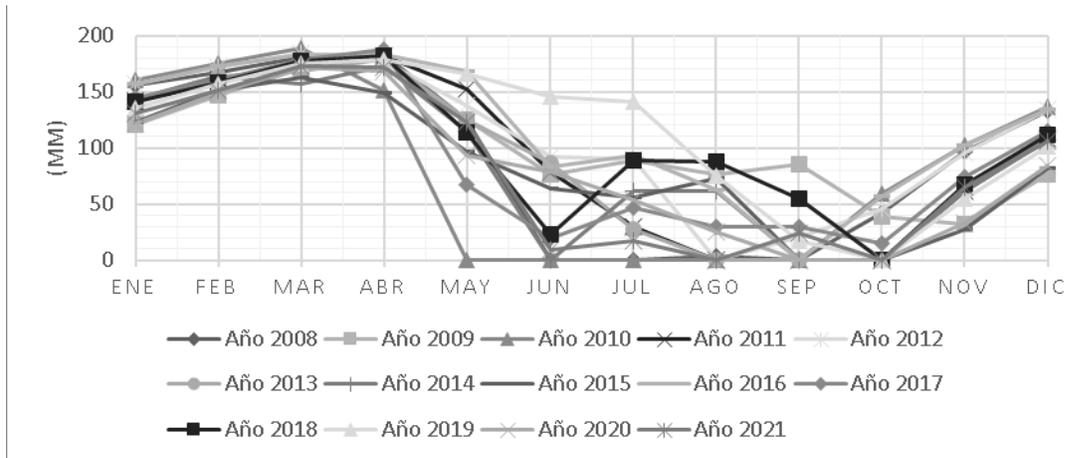
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.7. Pérdida de humedad (mm/mes) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
2008	155,38	167,13	181,14	183,20	125,02	0,00	0,00	3,38	0,00	42,22	96,37	133,14	1086,99
2009	120,52	146,12	170,62	178,82	125,27	76,38	88,93	76,60	85,44	38,95	32,07	75,73	1215,46
2010	160,07	174,58	188,26	151,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,76	102,76	135,93	972,94
2011	142,17	160,90	174,34	181,96	151,85	78,85	29,70	0,00	0,00	0,00	61,69	108,00	1089,46
2012	156,50	171,43	184,50	177,74	137,91	92,60	89,42	0,00	20,25	45,49	96,08	134,13	1306,04
2013	143,34	163,65	168,55	179,55	125,35	86,86	27,45	0,00	0,00	0,00	64,43	108,67	1067,86
2014	142,73	163,28	156,52	173,10	114,72	0,00	61,94	61,46	0,00	0,00	62,03	107,23	1043,01
2015	122,83	150,74	162,12	148,48	96,99	63,39	55,34	73,22	0,00	0,06	27,47	82,09	982,73
2016	157,30	173,15	182,82	183,22	168,15	83,19	93,00	62,51	0,00	57,30	102,69	133,83	1397,15
2017	144,30	160,65	178,93	187,63	66,84	19,77	46,34	29,69	30,16	14,56	74,03	114,40	1067,29
2018	141,25	158,31	177,23	181,65	114,10	22,50	89,20	87,36	55,14	0,00	67,09	111,34	1205,18
2019	134,92	157,12	175,28	178,28	166,03	145,27	140,84	75,39	17,44	0,00	55,20	101,50	1347,27
2020	122,24	148,87	171,94	168,03	93,47	78,35	54,11	25,23	0,00	0,00	32,60	84,54	979,38
2021	131,01	151,49	172,49	171,25	122,67	9,09	17,44	0,00	24,44	0,00	64,57	105,41	969,86

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7.8. **Gráfica de la pérdida de humedad (mm/mes) Canalitos - Método de Schosinsky desde el año 2008 hasta el 2021**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Calidad del agua, análisis fisicoquímicos y resultados de las secciones 3.3.1 y 3.4.1

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro de calidad del agua:

Apéndice 8.1. Resultados análisis fisicoquímicos del agua de los pozos del sistema Canalitos en época seca

COGUANOR NTG 29001	Pozo del sistema Canalitos Febrero del 2010			Pozo del sistema Canalitos Abril del 2011			Pozo del sistema Canalitos Diciembre del 2013			Pozo del sistema Canalitos Abril del 2014			
	PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A. L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A. L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A. L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A. L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A. L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A. L.M.P.
Temperatura	°C	--	--	23,4	...	23,3	...	22,5	...	22,8	...	22,8	...
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	1	No cumple	1	No cumple	1	No cumple	1	No cumple	1	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Clara	NR	Clara	NR	Clara	NR	Clara	NR	Clara	NR
Olor	NR/R	NR	NR	Inodora	NR	Inodora	NR	Inodora	NR	Inodora	NR	Inodora	NR
Color	Pt/Co	5	35	1	Cumple	1	Cumple	1	Cumple	2	Cumple	2	Cumple
Turbiedad	UNT	5	15	0,19	Cumple	0,81	Cumple	0,53	Cumple	0,42	Cumple	0,42	Cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	156,4	Cumple	159	Cumple	160	Cumple	154,8	Cumple	154,8	Cumple
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	7,0	Cumple	6,5	Cumple	6,6	Cumple	6,5	Cumple	6,5	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	83	Cumple	84	Cumple	85	Cumple	82	Cumple	82	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	16	Cumple	15	Cumple	19	Cumple	15	Cumple	15	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	68	Cumple	68	Cumple	88	Cumple	68	Cumple	68	Cumple
Hierro total	mg/L	0,3	--	0,05	Cumple	0,01	Cumple	0	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,008	Cumple	0,008	Cumple	0,046	Cumple	0,006	Cumple	0,006	Cumple
Nitritos	mg/L	--	3	0,007	Cumple	0,004	Cumple	0,026	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
Nitratos	mg/L	--	50	2,2	Cumple	1,76	Cumple	10,9	Cumple	10,8	Cumple	10,8	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	9	Cumple	11	Cumple	8	Cumple	12	Cumple	12	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	3	Cumple	0	Cumple	0	Cumple	2	Cumple	2	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	7	Cumple	7	Cumple	10	Cumple	7	Cumple	7	Cumple
Carbonatos	mg/L	--	0	0	...	0	...	0	...	0	...	0	...
Bicarbonatos	mg/L	--	94	94	...	92	...	90	...	78	...	78	...
Sodio	mg/L	--	14	14	...	3,1	...	...	...	...	...	...	...
Potasio	mg/L	--	8,6	8,6	...	0	...	...	...	...	...	...	...
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	--	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	--	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	--	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple

COGUANOR L.M.A. = límite máximo
L.M.P. = límite máximo

NR/R = No rechazable / Rechazable
ND = No detectable

UNT = unidades nefelométricas de turbiedad
NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.2.

Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes

(a) en época seca

COGUANOR NTG 29001		Río Los Ocotes (a) Febrero 2008			Río Los Ocotes (a) Febrero 2008			Río Los Ocotes (a) Febrero 2012			Río Los Ocotes (a) Marzo 2013		
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	
Temperatura	°C	--	--	24,7	---	---	21	---	---	19,6	---	---	
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	
Apariencia	NR/R	NR	NR	Turbio	R	R	Turbio	R	R	Turbia	R	R	
Olor	NR/R	NR	NR	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R	
Color	PCo	5	35	64	No cumple	No cumple	41	No cumple	No cumple	170	No cumple	No cumple	
Turbiedad	UNT	5	15	53	No cumple	No cumple	25,5	No cumple	No cumple	123	No cumple	No cumple	
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	352	Cumple	Cumple	358	Cumple	Cumple	353	Cumple	Cumple	
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	7,0	No cumple	Cumple	7,9	No cumple	Cumple	8,0	No cumple	Cumple	
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	187	Cumple	Cumple	190	Cumple	Cumple	36	Cumple	Cumple	
Calcio	mg/L	75	150	24	Cumple	Cumple	24	Cumple	Cumple	25	Cumple	Cumple	
Dureza total	mg/L	100	500	84	Cumple	Cumple	98	Cumple	Cumple	120	No cumple	Cumple	
Hierro total	mg/L	0,3	--	1,69	No cumple	No cumple	0,78	No cumple	No cumple	1,52	No cumple	No cumple	
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,119	No cumple	Cumple	0,039	Cumple	Cumple	0,255	No cumple	Cumple	
Nitritos	mg/L	--	3	0,072	Cumple	Cumple	0,06	Cumple	Cumple	0,88	Cumple	Cumple	
Nitratos	mg/L	--	50	18,93	Cumple	Cumple	16,28	Cumple	Cumple	26,4	Cumple	Cumple	
Cloruros	mg/L	100	250	35	Cumple	Cumple	19	Cumple	Cumple	35	Cumple	Cumple	
Sulfato	mg/L	100	250	14	Cumple	Cumple	16	Cumple	Cumple	32	Cumple	Cumple	
Magnesio	mg/L	50	100	6	Cumple	Cumple	9	Cumple	Cumple	14	Cumple	Cumple	
Carbonatos	mg/L	--	--	0	---	---	0	---	---	0	---	---	
Bicarbonatos	mg/L	--	--	145,2	---	---	135,1	---	---	148,2	---	---	
Sodio	mg/L	--	--	34,3	---	---	27,1	---	---	7,1	---	---	
Potasio	mg/L	--	--	6,8	---	---	6	---	---	1,3	---	---	
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	--	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	--	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	--	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.3.

**Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes
(b) en época seca (01/02)**

COGUANOR NTG 29001	Río Los Ocotes (b) Enero 2008			Río Los Ocotes (b) Enero 2008			Río Los Ocotes (b) Febrero 2008			Río Los Ocotes (b) Febrero 2008				
	PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO	ESTADO		
					L.M.A.	L.M.P.	L.M.A.	L.M.P.	L.M.A.	L.M.P.	L.M.A.	L.M.P.		
Temperatura	°C	--	--	21	--	--	16.2	--	--	24	--	22	--	--
Cloro Residual	mg/L	0.5	1	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	---	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Lig. Turbia	R	R	Lig. Turbia	R	R	TURBIO	R	TURBIO	R	R
Olor	NR/R	NR	NR	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R	SEPTICO	R	Mat. Org.	R	R
Color	PC/Co	5	35	22	No cumple	Cumple	34	No cumple	Cumple	75	No cumple	No cumple	36	No cumple
Turbiedad	UNT	5	15	8	No cumple	Cumple	13	No cumple	Cumple	40.6	No cumple	No cumple	19	No cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	349	Cumple	Cumple	357	Cumple	Cumple	360	Cumple	Cumple	357	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7.0-7.5	6.5-8.5	8.0	No cumple	Cumple	7.8	No cumple	Cumple	7.0	No cumple	Cumple	7.9	No cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	185	Cumple	Cumple	189	Cumple	Cumple	191	Cumple	Cumple	189	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	24	Cumple	Cumple	23	Cumple	Cumple	26	Cumple	Cumple	22	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	136	No cumple	Cumple	86	Cumple	Cumple	96	Cumple	Cumple	90	Cumple
Hierro total	mg/L	0.3	---	0.45	No cumple	No cumple	0.55	No cumple	No cumple	1.36	No cumple	No cumple	0.66	No cumple
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.047	Cumple	Cumple	0.217	No cumple	Cumple	0.580	No cumple	No cumple	0.053	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	0.066	Cumple	Cumple	0.06	Cumple	Cumple	0.01	Cumple	Cumple	0.06	Cumple
Nitratos	mg/L	---	50	14.92	Cumple	Cumple	19.8	Cumple	Cumple	10.12	Cumple	Cumple	17.38	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	29	Cumple	Cumple	31	Cumple	Cumple	30	Cumple	Cumple	30	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	16	Cumple	Cumple	15	Cumple	Cumple	16	Cumple	Cumple	14	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	19	Cumple	Cumple	0	Cumple	Cumple	8	Cumple	Cumple	8	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	136.3	---	---	139.4	---	---	141.5	---	---	137.6	---
Sodio	mg/L	---	---	30.6	---	---	30.4	---	---	34.4	---	---	29.3	---
Potasio	mg/L	---	---	6.9	---	---	6.6	---	---	7	---	---	6.1	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	No cumple	16X103	No cumple

COGUANOR L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable UNT = unidades nefelométricas de
 NTG 29001 L.M.P. = No detectable NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.4.

Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes

(b) en época seca (02/02)

COGUANOR NTG 29001	Río Los Ocotes (b) Diciembre 2008			Río Los Ocotes (b) Febrero 2009			Río Los Ocotes (b) Enero 2011			Río Los Ocotes (b) Febrero 2014					
	PARÁMETRO	DIMENSIÓN L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.			
Temperatura	°C	--	--	17	--	--	19,3	--	--	19,3	--	--	21,6	--	--
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	--	No cumple	No cumple	--	No cumple	No cumple	--	No cumple	No cumple	--	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Turbio	R	R	Turbio	R	R	Lig. Turbio	R	R	Turbia	R	R
Olor	NR/R	NR	NR	Mat. Org.	R	R	Mat. Org.	R	R	Mat. Organico	R	R	A Mat. Org.	R	R
Color	Pt/Co	5	35	25	No cumple	Cumple	42	No cumple	No cumple	19	No cumple	Cumple	50	No cumple	No cumple
Turbiedad	UNT	5	15	9,52	No cumple	Cumple	27	No cumple	No cumple	3,99	Cumple	Cumple	6,87	No cumple	Cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	333	Cumple	Cumple	371	Cumple	Cumple	218	Cumple	Cumple	375	Cumple	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	7,8	No cumple	Cumple	8,0	No cumple	Cumple	7,9	No cumple	Cumple	7,5	No cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	176	Cumple	Cumple	197	Cumple	Cumple	2	Cumple	Cumple	199	Cumple	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	22	Cumple	Cumple	22	Cumple	Cumple	30	Cumple	Cumple	26	Cumple	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	38	Cumple	Cumple	100	Cumple	Cumple	100	Cumple	Cumple	94	Cumple	Cumple
Hierro total	mg/L	0,3	--	0,38	No cumple	No cumple	0,52	No cumple	No cumple	0,18	Cumple	Cumple	0,21	Cumple	Cumple
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,089	Cumple	Cumple	0,048	Cumple	Cumple	0,048	Cumple	Cumple	0,141	No cumple	Cumple
Nitritos	mg/L	--	3	0,08	Cumple	Cumple	0,366	Cumple	Cumple	0,01	Cumple	Cumple	0,102	Cumple	Cumple
Nitratos	mg/L	--	50	12,01	Cumple	Cumple	18,92	Cumple	Cumple	14,96	Cumple	Cumple	41,6	Cumple	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	30	Cumple	Cumple	33	Cumple	Cumple	47	Cumple	Cumple	44	Cumple	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	17	Cumple	Cumple	23	Cumple	Cumple	15	Cumple	Cumple	17	Cumple	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	0	Cumple	Cumple	0	Cumple	Cumple	6	Cumple	Cumple	7	Cumple	Cumple
Carbonatos	mg/L	--	--	0	--	--	0	--	--	0	--	--	0	--	--
Bicarbonatos	mg/L	--	--	147,6	--	--	152	--	--	138,9	--	--	135,9	--	--
Sodio	mg/L	--	--	30,1	--	--	33	--	--	0	--	--	0	--	--
Potasio	mg/L	--	--	6	--	--	7,5	--	--	1,1	--	--	0	--	--
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	--	5X107	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	--	5X107	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	--	5X107	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple	16X105	No cumple	No cumple

COGUANOR L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable
 ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.5. **Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes (c) en época seca (01/02)**

COGUANOR NTG 29001	Río Los Ocotes (c) Enero 2008			Río Los Ocotes (c) Diciembre 2014			Río Los Ocotes (c) Marzo 2015			Río Los Ocotes (c) Abril 2016		
	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	--	--	16,2	--	--	23	--	--	23,7	--	22,5
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	--	No cumple	No cumple	--	Turbia	R	--	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Lig. Turbia	R	R	Turbia	R	R	Turbia	R	R
Olor	NR/R	NR	NR	Mat. Org.	R	R	Inodora	NR	NR	Inodora	NR	A Mat. Org.
Color	Pt/Co	5	35	35	No cumple	Cumple	171	No cumple	No cumple	67	No cumple	87
Turbiedad	UNT	5	15	15	No cumple	Cumple	5,02	No cumple	Cumple	8,15	No cumple	11,4
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	361	Cumple	Cumple	345	Cumple	Cumple	381	Cumple	477
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	7,8	No cumple	Cumple	7,9	No cumple	Cumple	7,6	No cumple	6,7
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	191	Cumple	Cumple	183	Cumple	Cumple	202	Cumple	253
Calcio	mg/L	75	150	24	Cumple	Cumple	30	Cumple	Cumple	30	Cumple	26
Dureza total	mg/L	100	500	84	Cumple	Cumple	110	No cumple	Cumple	142	No cumple	118
Hierro total	mg/L	0,3	--	0,57	No cumple	No cumple	0,2	Cumple	Cumple	0,21	Cumple	0,26
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,217	No cumple	Cumple	0,019	Cumple	Cumple	0,018	Cumple	0,023
Nitritos	mg/L	--	3	0,068	Cumple	Cumple	0,074	Cumple	Cumple	1,541	Cumple	3,734
Nitratos	mg/L	--	50	20,02	Cumple	Cumple	30	Cumple	Cumple	36,6	Cumple	40,1
Cloruros	mg/L	100	250	31	Cumple	Cumple	40	Cumple	Cumple	37	Cumple	49
Sulfato	mg/L	100	250	14	Cumple	Cumple	29	Cumple	Cumple	23	Cumple	24
Magnesio	mg/L	50	100	0	Cumple	Cumple	9	Cumple	Cumple	17	Cumple	13
Carbonatos	mg/L	--	--	0	--	--	0	--	--	0	--	0
Bicarbonatos	mg/L	--	--	134,7	--	--	147,1	--	--	142,8	--	144,6
Sodio	mg/L	--	--	30,4	--	--	0	--	--	0	--	0
Potasio	mg/L	--	--	6,6	--	--	0	--	--	0	--	0
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	--	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X106	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	> 16X106
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	--	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X106	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	> 16X106
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	--	> 16X103	No cumple	No cumple	> 16X106	No cumple	No cumple	16X103	No cumple	> 16X106

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.6.

Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes

(c) en época seca (02/02)

COGUANOR NTG 29001	Río Los Ocotes (c) Abril 2021			Río Los Ocotes (c) Abril 2021			Río Los Ocotes SEDACYT Abril 2010		
	ESTADO L.M.A.	RESULTADO L.M.P.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO L.M.P.	ESTADO L.M.A.	RESULTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.
Temperatura °C	---	20.9	---	22.9	---	23	---	23	---
Cloro Residual mg/L	0.5	---	No cumple	---	No cumple	---	No cumple	---	No cumple
Apariencia NR/R	NR	Turbia	R	Lig. Turbia	R	Turbia	R	R	R
Olor NR/R	NR	Lig. Septica	R	A Mat. Orga.	R	0	R	R	R
Color Pti/Co	5 35	80	No cumple	110	No cumple	0.8	Cumple	Cumple	Cumple
Turbiedad UNT	5 15	24.3	No cumple	39.2	No cumple	5	Cumple	Cumple	Cumple
Conductividad eléctrica µS/cm	750 1500	567	Cumple	416	Cumple	606	Cumple	Cumple	Cumple
Potencial de hidrógeno Unidades de pH	7.0-7.5 6.5-8.5	7.2	Cumple	7.5	Cumple	7.5	No cumple	No cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos mg/L	500 1000	301	Cumple	220	Cumple	280	Cumple	Cumple	Cumple
Calcio mg/L	75 150	38	Cumple	30	Cumple	34	Cumple	Cumple	Cumple
Dureza total mg/L	100 500	160	No cumple	174	No cumple	122.21	No cumple	No cumple	Cumple
Hierro total mg/L	0.3 ---	0.7	No cumple	1.06	No cumple	0.625	No cumple	No cumple	No cumple
Manganeso mg/L	0.1 0.4	0.014	Cumple	0.066	Cumple	0.021	Cumple	Cumple	Cumple
Nitritos mg/L	---	3 1960	No cumple	1,897	Cumple	0	Cumple	Cumple	Cumple
Nitratos mg/L	---	50 23	Cumple	44.3	Cumple	6.63	Cumple	Cumple	Cumple
Cloruros mg/L	100 250	80	Cumple	55	Cumple	80	Cumple	Cumple	Cumple
Sulfato mg/L	100 250	32	Cumple	26	Cumple	48	Cumple	Cumple	Cumple
Magnesio mg/L	50 100	16	Cumple	24	Cumple	22	Cumple	Cumple	Cumple
Carbonatos mg/L	---	0	---	0	---	0	---	---	---
Bicarbonatos mg/L	---	152.4	---	148.8	---	151.2	---	---	---
Sodio mg/L	---	0	---	0	---	0	---	---	---
Potasio mg/L	---	0	---	0	---	0	---	---	---
Coliformes totales NMP/100mL	<1.8 ---	4.8 X105	No cumple	1.7 X105	No cumple	>2400	No cumple	No cumple	No cumple
Coliformes fecales NMP/100mL	<1.8 ---	4.8 X105	No cumple	4.5 X104	No cumple	>2400	No cumple	No cumple	No cumple
E. Coli NMP/100mL	<1.8 ---	4.8 X105	No cumple	4.5 X104	No cumple	>2400	No cumple	No cumple	No cumple

COGUANOR L.M.A. = límite máximo
 NTG 29001 L.M.P. = límite máximo
 NR/R = No rechazable / Rechazable
 ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de
 NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.7. **Resultados análisis fisicoquímicos del agua de los pozos del sistema Canalitos en época lluviosa (01/02)**

COGUANOR NTG 29001		Pozo del sistema Canalitos Agosto 2010		Pozo del sistema Canalitos Agosto 2011		Pozo del sistema Canalitos Julio 2012		Pozo del sistema Canalitos Octubre 2014			
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	--	--	22,8	--	23	--	22,8	--	22,8	--
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	0,7	No cumple	0,8	No cumple	0,9	No cumple	1	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Clara	NR	Clara	NR	Clara	NR	Clara	NR
Olor	NR/R	NR	NR	Inodora	NR	Inodora	NR	Inodora	NR	Inodora	NR
Color	PfCo	5	35	1	Cumple	1	Cumple	1	Cumple	1	Cumple
Turbiedad	UNT	5	15	0,32	Cumple	0,89	Cumple	0,49	Cumple	0,33	Cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	160,4	Cumple	158,5	Cumple	176,3	Cumple	159,6	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	6,8	No cumple	6,6	No cumple	6,5	No cumple	6,8	No cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	85	Cumple	84	Cumple	94	Cumple	83	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	14	Cumple	17	Cumple	17	Cumple	14	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	56	Cumple	60	Cumple	102	No cumple	64	Cumple
Hierro total	mg/L	0,3	--	0,02	Cumple	0	Cumple	0,01	Cumple	0,01	Cumple
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,018	Cumple	0,010	Cumple	0,002	Cumple	0,009	Cumple
Nitritos	mg/L	--	3	0,004	Cumple	0,006	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
Nitratos	mg/L	--	50	1,76	Cumple	1,76	Cumple	13,2	Cumple	7,9	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	15	Cumple	6	Cumple	14	Cumple	15	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	1	Cumple	1	Cumple	0	Cumple	0	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	5	Cumple	4	Cumple	15	Cumple	7	Cumple
Carbonatos	mg/L	--	--	0	--	0	--	0	--	0	--
Bicarbonatos	mg/L	--	--	96	--	88	--	90	--	80	--
Sodio	mg/L	--	--	1,6	--	3	--	--	--	--	--
Potasio	mg/L	--	--	0	--	0,5	--	1,1	--	--	--
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	--	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	--	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	--	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable NR = No detectable NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.8. **Resultados análisis fisicoquímicos del agua de los pozos del sistema Canalitos en época lluviosa (02/02)**

COGUANOR NTG 29001		Pozo del sistema Canalitos Mayo 2015		Pozo del sistema Canalitos Junio 2017		Pozo del sistema Canalitos Junio 2017		Pozo del sistema Canalitos Septiembre 2019			
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	---	---	23,3	Cumple	24,9	Cumple	24,5	Cumple	22,8	Cumple
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	1	No cumple	1	No cumple	1	No cumple	1	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Clara	NR	Clara	NR	Clara	NR	Clara	NR
Olor	NR/R	NR	NR	Inodora	NR	Inodora	NR	Inodora	NR	Inodora	NR
Color	Pl/Co	5	35	1	Cumple	1	Cumple	1	Cumple	3	Cumple
Turbiedad	UNT	5	15	0,38	Cumple	0,11	Cumple	0,4	Cumple	0,66	Cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	158	Cumple	170	Cumple	160,6	Cumple	161,7	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	6,9	No cumple	6,7	No cumple	6,5	No cumple	6,8	No cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	84	Cumple	135	Cumple	85	Cumple	86	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	17	Cumple	14	Cumple	16	Cumple	18	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	82	Cumple	60	Cumple	90	Cumple	80	Cumple
Hierro total	mg/L	0,3	---	0,03	Cumple	0,03	Cumple	0,01	Cumple	0,02	Cumple
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,001	Cumple	0,004	Cumple	0,002	Cumple	0,005	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	0,014	Cumple	0,01	Cumple	0,002	Cumple	0,014	Cumple
Nitratos	mg/L	---	50	4,4	Cumple	10,56	Cumple	8,1	Cumple	10,4	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	7	Cumple	8	Cumple	12	Cumple	9	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	1	Cumple	4	Cumple	1	Cumple	0	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	10	Cumple	6	Cumple	12	Cumple	9	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0	---	0	---	0	---	0	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	98	---	84	---	70	---	82	---
Sodio	mg/L	---	---	0	---	0	---	0	---	0	---
Potasio	mg/L	---	---	0	---	0	---	0	---	0	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	---	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	---	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	---	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple	<1,1	Cumple

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable
 ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.9. **Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes (a) en época lluviosa**

COGUANOR NTG 29001	Río Los Ocotes (a) Agosto 2008			Río Los Ocotes (a) Junio 2010			Río Los Ocotes (a) Julio 2011			Río Los Ocotes (a) Junio 2014		
	PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A. L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	---	---	20,9	---	---	22,5	---	---	23,5	---	21
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	turbia	R	R	Turbia	R	R	Turbia	R	Turbia
Olor	NR/R	NR	NR	A Mat. Org.	R	R	Lig. A Tierra	R	R	Mat. Org.	R	A Mat. Org.
Color	PU/Co	5	35	432	No cumple	No cumple	130	No cumple	No cumple	65	No cumple	159
Turbiedad	UNT	5	15	613	No cumple	No cumple	86,9	No cumple	No cumple	53	No cumple	79,4
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	229	Cumple	Cumple	205	Cumple	Cumple	315	Cumple	228
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	8,0	No cumple	Cumple	7,5	Cumple	Cumple	7,0	Cumple	7,6
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	121	Cumple	Cumple	109	Cumple	Cumple	167	Cumple	121
Calcio	mg/L	75	150	18	Cumple	Cumple	18	Cumple	Cumple	23	Cumple	22
Dureza total	mg/L	100	500	68	Cumple	Cumple	62	Cumple	Cumple	96	Cumple	78
Hierro total	mg/L	0,3	---	8,5	No cumple	No cumple	1,18	No cumple	No cumple	0,51	No cumple	0,57
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,110	No cumple	Cumple	0,111	No cumple	Cumple	0,028	Cumple	0,066
Nitritos	mg/L	---	3	0,04	Cumple	Cumple	0,128	Cumple	Cumple	0,018	Cumple	0,829
Nitratos	mg/L	---	50	12,32	Cumple	Cumple	20,24	Cumple	Cumple	12,76	Cumple	33,5
Cloruros	mg/L	100	250	26	Cumple	Cumple	24	Cumple	Cumple	33	Cumple	27
Sulfato	mg/L	100	250	19	Cumple	Cumple	14	Cumple	Cumple	21	Cumple	24
Magnesio	mg/L	50	100	6	Cumple	Cumple	4	Cumple	Cumple	8	Cumple	6
Carbonatos	mg/L	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---	0
Bicarbonatos	mg/L	---	---	140,3	---	---	135,2	---	---	142,6	---	148,2
Sodio	mg/L	---	---	21,2	---	---	19,5	---	---	6,5	---	0
Potasio	mg/L	---	---	4,9	---	---	4,2	---	---	0,9	---	0
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	---	16X105	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	33X104
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	---	16X105	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	14X104
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	---	16X105	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	14X104

COGUANOR L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite probable
 NR/R = No rechazable / Rechazable
 ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.10.

**Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes
(a) y (b) en época lluviosa**

COGUANOR NTG 29001	Río Los Ocotes (a) Mayo 2020			Río Los Ocotes (b) Julio 2011			Río Los Ocotes (b) Mayo 2014			Río Los Ocotes (b) Mayo 2019					
	L.M.A.	L.M.P.	ESTADO	RESULTADO	L.M.A.	ESTADO	RESULTADO	L.M.A.	ESTADO	RESULTADO	L.M.A.	ESTADO			
Temperatura	---	---	---	22,4	---	---	23,5	---	---	23,7	---	---	23,6	---	---
Cloro Residual	mg/L	0,5	1	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Turbia	R	R	Turbia	R	R	Turbia	R	R	Turbia	R	R
Olor	NR/R	NR	NR	Septico	R	R	Mat.Org.	R	R	A Tierra	R	R	Inodora	NR	NR
Color	Pt/Co	5	35	29000	No cumple	No cumple	65	No cumple	No cumple	1100	No cumple	No cumple	134	No cumple	No cumple
Turbiedad	UNT	5	15	15370	No cumple	No cumple	53	No cumple	No cumple	900	No cumple	No cumple	25,4	No cumple	No cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	109,1	Cumple	Cumple	315	Cumple	Cumple	266	Cumple	Cumple	482	Cumple	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	7,4	Cumple	Cumple	7,0	Cumple	Cumple	7,4	Cumple	Cumple	7,8	No cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	58	Cumple	Cumple	167	Cumple	Cumple	141	Cumple	Cumple	256	Cumple	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	0	Cumple	Cumple	23	Cumple	Cumple	0	Cumple	Cumple	38	Cumple	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	0	Cumple	Cumple	96	Cumple	Cumple	84	Cumple	Cumple	130	No cumple	Cumple
Hierro total	mg/L	0,3	---	2,93	No cumple	No cumple	0,51	No cumple	No cumple	3,32	No cumple	No cumple	0	Cumple	Cumple
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,000	Cumple	Cumple	0,028	Cumple	Cumple	0,477	No cumple	No cumple	0,000	Cumple	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	0,103	Cumple	Cumple	0,018	Cumple	Cumple	3,595	No cumple	No cumple	0	Cumple	Cumple
Nitratos	mg/L	---	50	23,5	Cumple	Cumple	12,76	Cumple	Cumple	24,2	Cumple	Cumple	27	Cumple	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	28	Cumple	Cumple	33	Cumple	Cumple	32	Cumple	Cumple	55	Cumple	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	27	Cumple	Cumple	21	Cumple	Cumple	31	Cumple	Cumple	31	Cumple	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	0	Cumple	Cumple	8	Cumple	Cumple	8	Cumple	Cumple	8	Cumple	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	151,2	---	---	147,1	---	---	148,9	---	---	151,2	---	---
Sodio	mg/L	---	---	0	---	---	6,5	---	---	0	---	---	0	---	---
Potasio	mg/L	---	---	0	---	---	0,9	---	---	0	---	---	0	---	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	---	16X107	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	No cumple	9X106	No cumple	No cumple	9X106	No cumple	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	---	16X107	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	No cumple	9X106	No cumple	No cumple	9X106	No cumple	No cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	---	16X107	No cumple	No cumple	16X106	No cumple	No cumple	9X106	No cumple	No cumple	9X106	No cumple	No cumple

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable
 ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.11.

**Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes
(c) en época lluviosa (01/02)**

COGUANOR NTG 29001	Río Los Ocotes (c) Agosto 2012			Río Los Ocotes (c) Agosto 2013			Río Los Ocotes (c) Mayo 2014			Río Los Ocotes (c) Mayo 2014		
	PARÁMETRO	L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.P.	ESTADO L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.P.	ESTADO L.M.A.	RESULTADO	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	---	21,4	---	24,5	---	23,3	---	21,8	---	---	---
Cloro Residual	mg/L	0,5	---	No cumple	---	No cumple	---	No cumple	---	No cumple	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	Turbia	R	Turbia	R	Turbia	R	Turbia	R	Turbia	R
Olor	NR/R	NR	a Tierra	R	a Mat. Org.	R	A Mat. Org.	R	a Mat. Org.	R	a Mat. Org.	R
Color	Pt/Co	5	95	No cumple	40	No cumple	60	No cumple	560	No cumple	560	No cumple
Turbiedad	UNT	5	93,5	No cumple	26,4	No cumple	9,97	No cumple	380	No cumple	380	No cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	146	Cumple	341	Cumple	538	Cumple	473	Cumple	473	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7,0-7,5	6,5-8,5	7,7	No cumple	7,3	Cumple	7,7	No cumple	7,6	No cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	6	Cumple	181	Cumple	285	Cumple	251	Cumple	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	22	Cumple	24	Cumple	29	Cumple	16	Cumple	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	132	No cumple	92	Cumple	100	Cumple	56	Cumple	Cumple
Hierro total	mg/L	0,3	---	0,61	No cumple	0,53	No cumple	0,18	Cumple	1,75	No cumple	No cumple
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,081	Cumple	0,163	No cumple	0,017	Cumple	0,296	No cumple	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	0	Cumple	0,031	Cumple	0,063	Cumple	0,849	Cumple	Cumple
Nitratos	mg/L	---	50	7,48	Cumple	22,9	Cumple	5,1	Cumple	6,3	Cumple	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	33	Cumple	33	Cumple	93	Cumple	78	Cumple	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	31	Cumple	35	Cumple	51	Cumple	51	Cumple	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	19	Cumple	8	Cumple	7	Cumple	4	Cumple	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0	---	0	---	0	---	0	---	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	147,9	---	148,7	---	154	---	151,2	---	---
Sodio	mg/L	---	---	0	---	0	---	0	---	0	---	---
Potasio	mg/L	---	---	0	---	0	---	0	---	0	---	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1,8	> 16X104	No cumple	17 X104	No cumple	8X105	No cumple	4X106	No cumple	4X106	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1,8	> 16X104	No cumple	17 X104	No cumple	8X105	No cumple	4X106	No cumple	4X106	No cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1,8	> 16X104	No cumple	17 X104	No cumple	8X105	No cumple	4X106	No cumple	4X106	No cumple

COGUANOR L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite probable
 NR/R = No rechazable / Rechazable
 ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de NMP = número más probable

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.12.

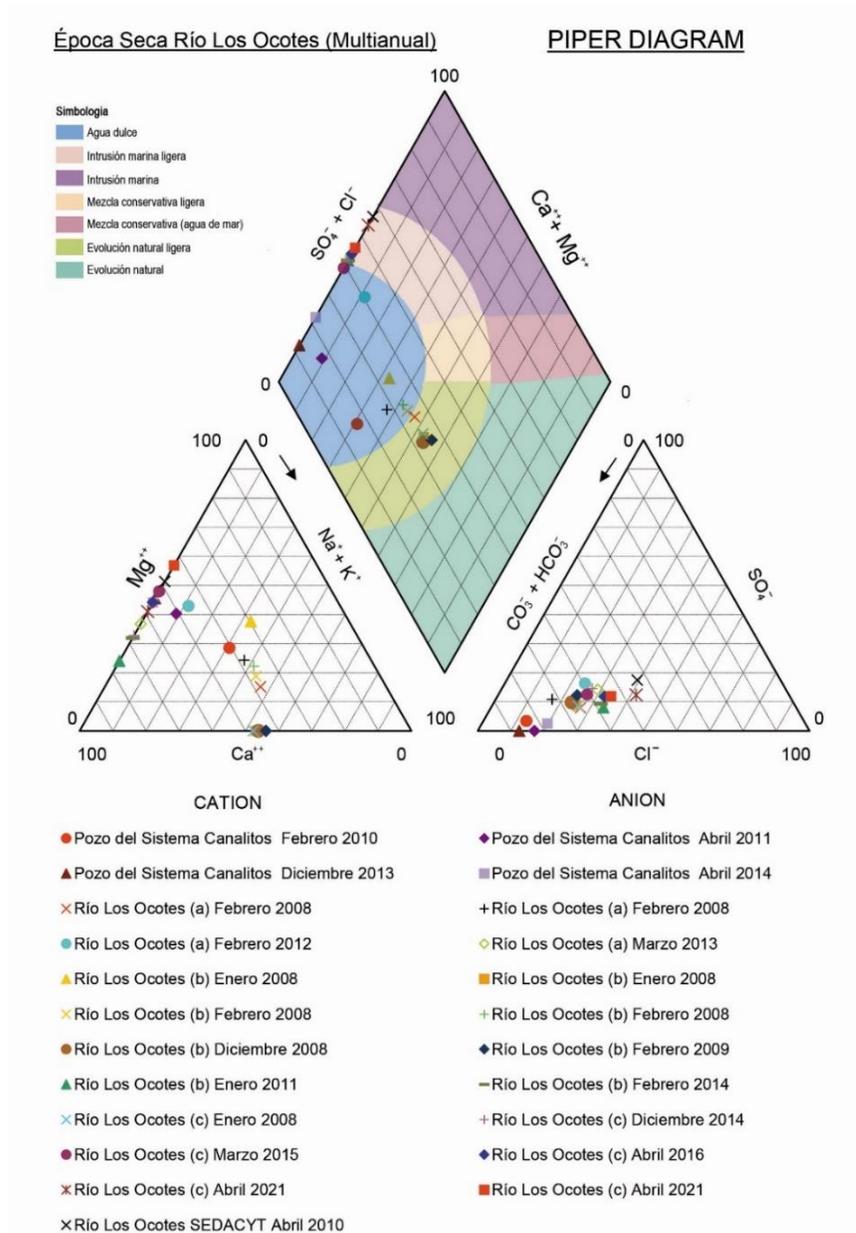
**Resultados análisis fisicoquímicos del río Los Ocotes
(c) en época lluviosa (02/02)**

COGUANOR NTG 29001			Río Los Ocotes (c) Agosto 2015			Río Los Ocotes (c) Septiembre 2016			Río Los Ocotes (c) Mayo 2019			
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	L.M.A.	L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.	RESULTADO	ESTADO L.M.A.	ESTADO L.M.P.
Temperatura	°C	---	---	23.7	---	---	21.7	---	---	22.1	---	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple	---	No cumple	No cumple
Apariencia	NR/R	NR	NR	Turbia	R	R	Turbia	R	R	Turbia	R	R
Olor	NR/R	NR	NR	A.Mat. Org.	R	R	Inodora	NR	NR	Inodora	NR	NR
Color	Pt/Co	5	35	103	No cumple	No cumple	117	No cumple	No cumple	138	No cumple	No cumple
Turbiedad	UNT	5	15	14.7	No cumple	Cumple	49.5	No cumple	No cumple	25.6	No cumple	No cumple
Conductividad eléctrica	µS/cm	750	1500	429	Cumple	Cumple	353	Cumple	Cumple	479	Cumple	Cumple
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7.0-7.5	6.5-8.5	7.3	Cumple	Cumple	7.3	Cumple	Cumple	7.7	No cumple	Cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	227	Cumple	Cumple	187	Cumple	Cumple	254	Cumple	Cumple
Calcio	mg/L	75	150	27	Cumple	Cumple	24	Cumple	Cumple	31	Cumple	Cumple
Dureza total	mg/L	100	500	130	No cumple	Cumple	102	No cumple	Cumple	142	No cumple	Cumple
Hierro total	mg/L	0.3	---	0.2	Cumple	Cumple	0.25	Cumple	Cumple	0.54	No cumple	No cumple
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.020	Cumple	Cumple	0.166	No cumple	Cumple	0.095	Cumple	Cumple
Nitritos	mg/L	---	3	0.318	Cumple	Cumple	1.921	Cumple	Cumple	1.857	Cumple	Cumple
Nitratos	mg/L	---	50	25.9	Cumple	Cumple	27.7	Cumple	Cumple	41.4	Cumple	Cumple
Cloruros	mg/L	100	250	50	Cumple	Cumple	27	Cumple	Cumple	55	Cumple	Cumple
Sulfato	mg/L	100	250	29	Cumple	Cumple	21	Cumple	Cumple	43	Cumple	Cumple
Magnesio	mg/L	50	100	15	Cumple	Cumple	10	Cumple	Cumple	16	Cumple	Cumple
Carbonatos	mg/L	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	137.4	---	---	135.6	---	---	151.2	---	---
Sodio	mg/L	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---	---
Potasio	mg/L	---	---	0	---	---	0	---	---	0	---	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	170	No cumple	No cumple	> 16X105	No cumple	No cumple	> 16X105	No cumple	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	16X103	No cumple	No cumple	> 16X105	No cumple	No cumple	> 16X105	No cumple	No cumple
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	16X103	No cumple	No cumple	> 16X105	No cumple	No cumple	> 16X105	No cumple	No cumple

COGUANOR NTG 29001 L.M.A. = límite máximo L.M.P. = límite mínimo
 NR/R = No rechazable / Rechazable NMP = número más probable
 ND = No detectable UNT = unidades nefelométricas de

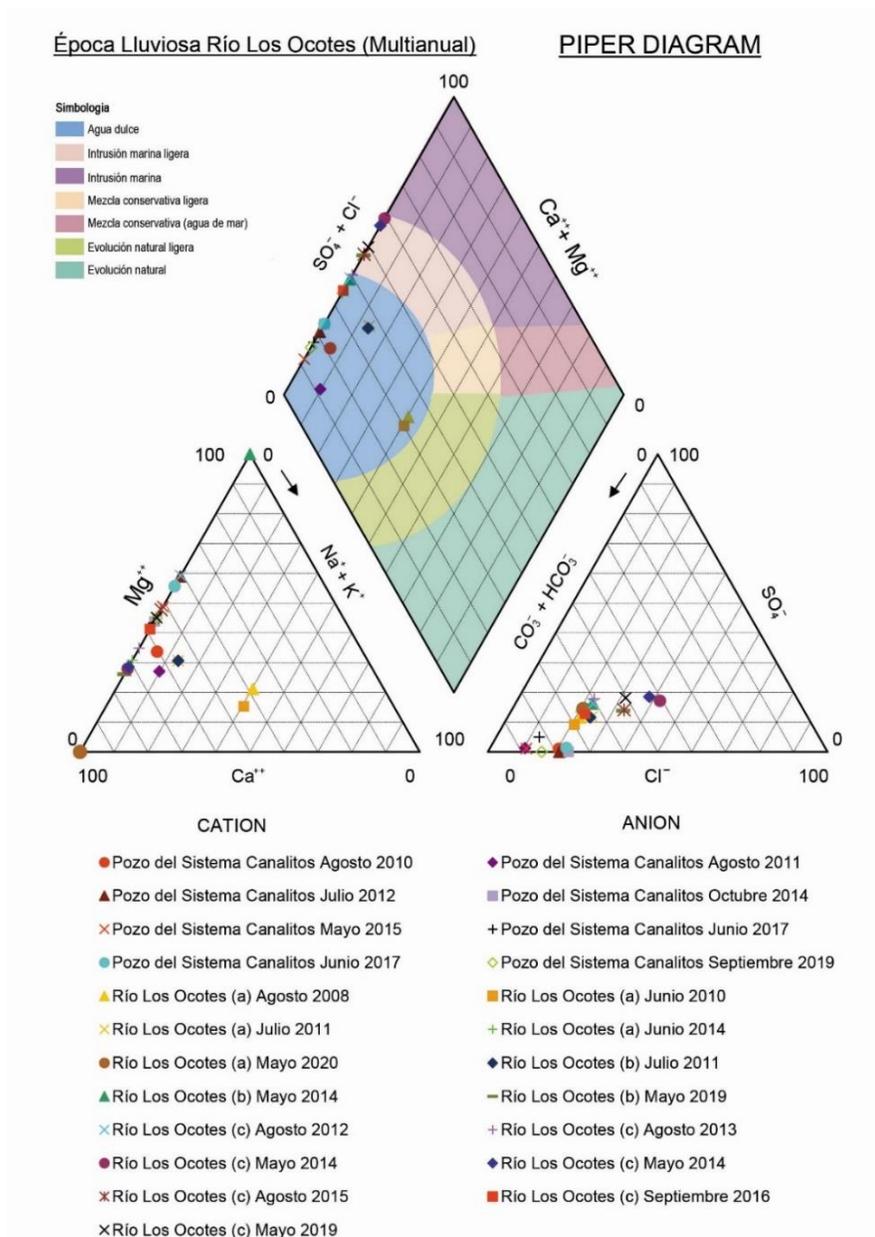
Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Apéndice 8.13. **Diagrama de Piper multianual para las muestras de agua de los pozos del sistema Canalitos y el río Los Ocotes durante la época seca, utilizando una zonificación con colores, tomado de Kelly (2005)**



Fuente: elaboración propia, realizado con Easyquim y el método de Kelly (2005).

Apéndice 8.14. **Diagrama de Piper multianual para las muestras de agua de los pozos del sistema Canalitos y el río Los Ocotes durante la época lluviosa, utilizando una zonificación con colores, tomado de Kelly (2005)**

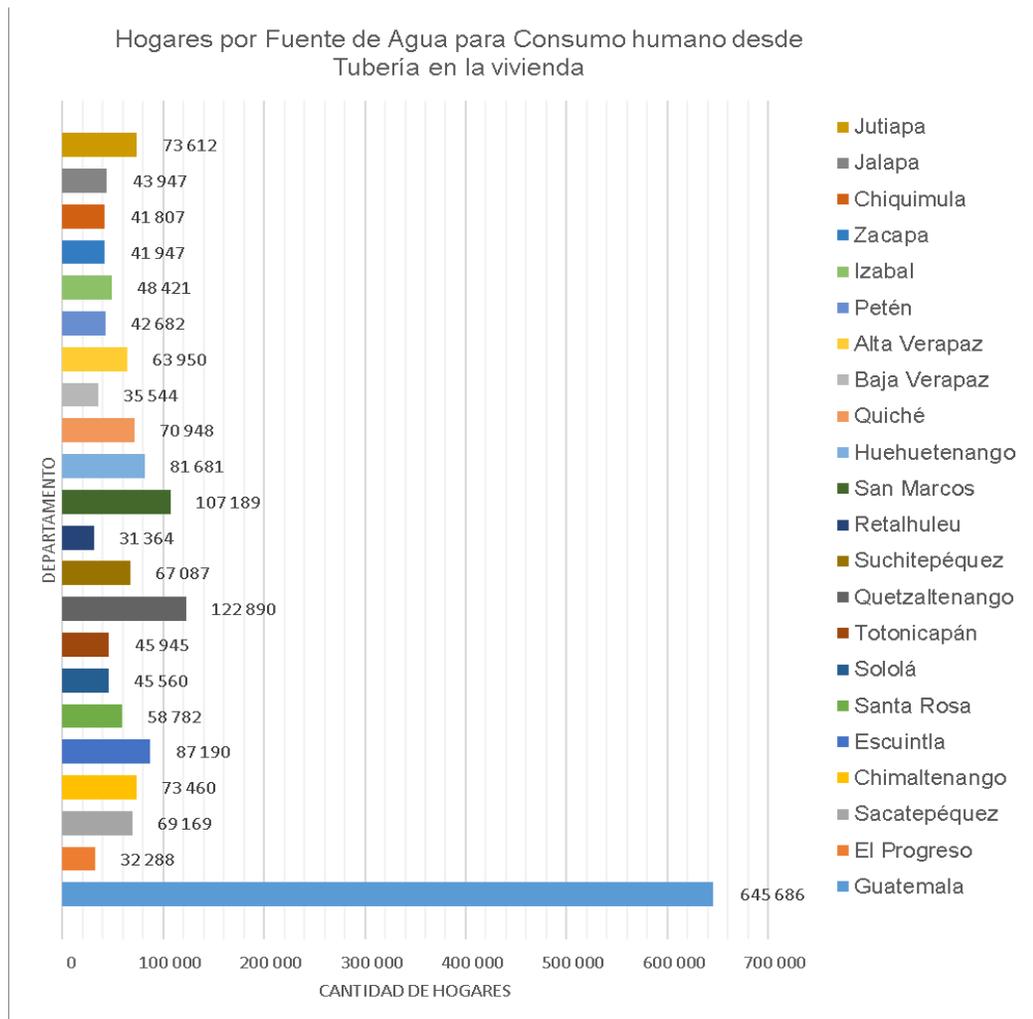


Fuente: elaboración propia, realizado con Easyquim y el método de Kelly (2005).

Apéndice 9. Hogares por fuente de agua para consumo humano

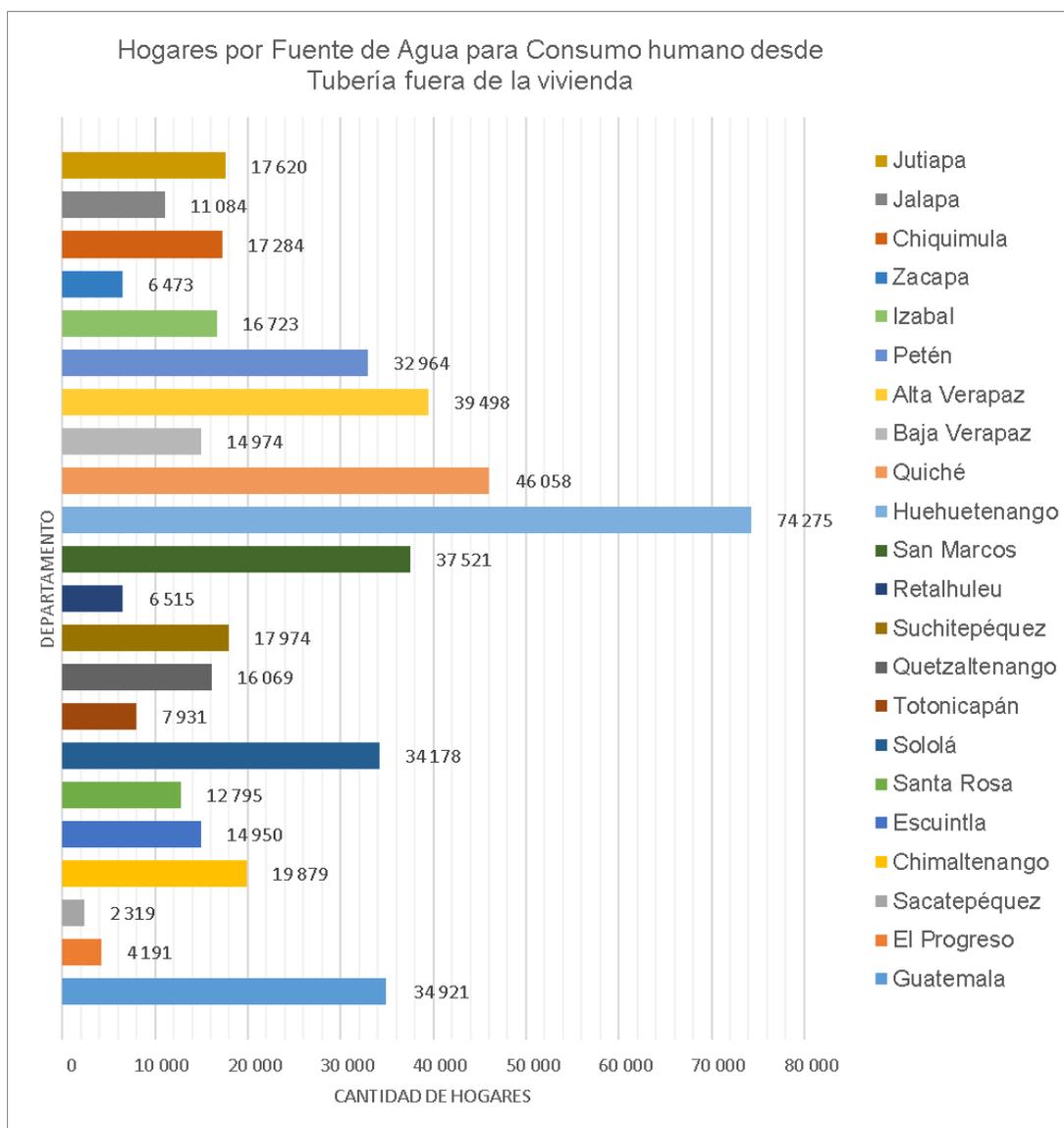
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada fuente de agua para consumo humano:

Apéndice 9.1. Hogares por fuente de agua para consumo humano desde tubería en la vivienda - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística



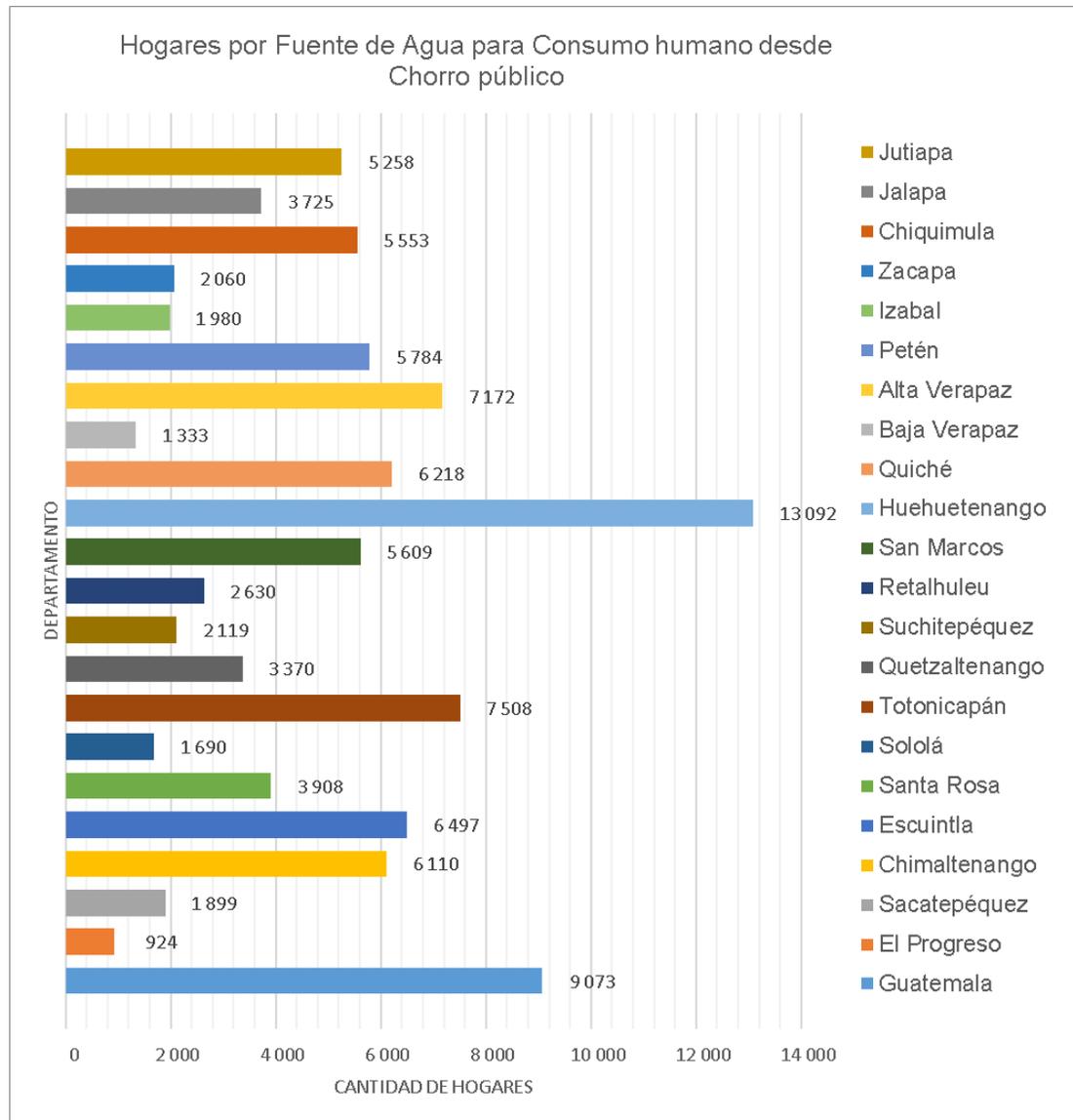
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.2. **Hogares por fuente de agua para consumo humano desde tubería fuera de la vivienda - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística**



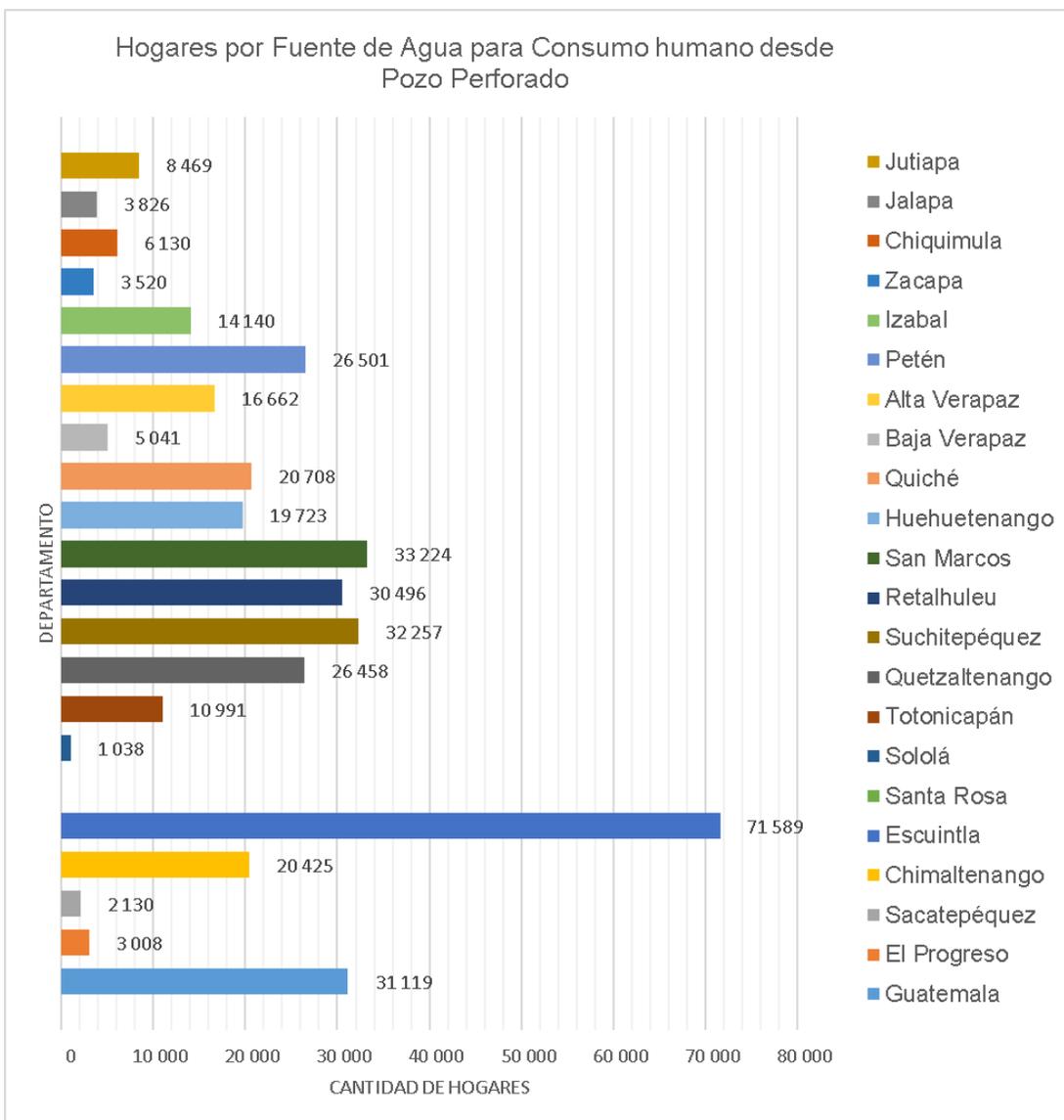
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.3. Hogares por fuente de agua para consumo humano desde chorro público - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística



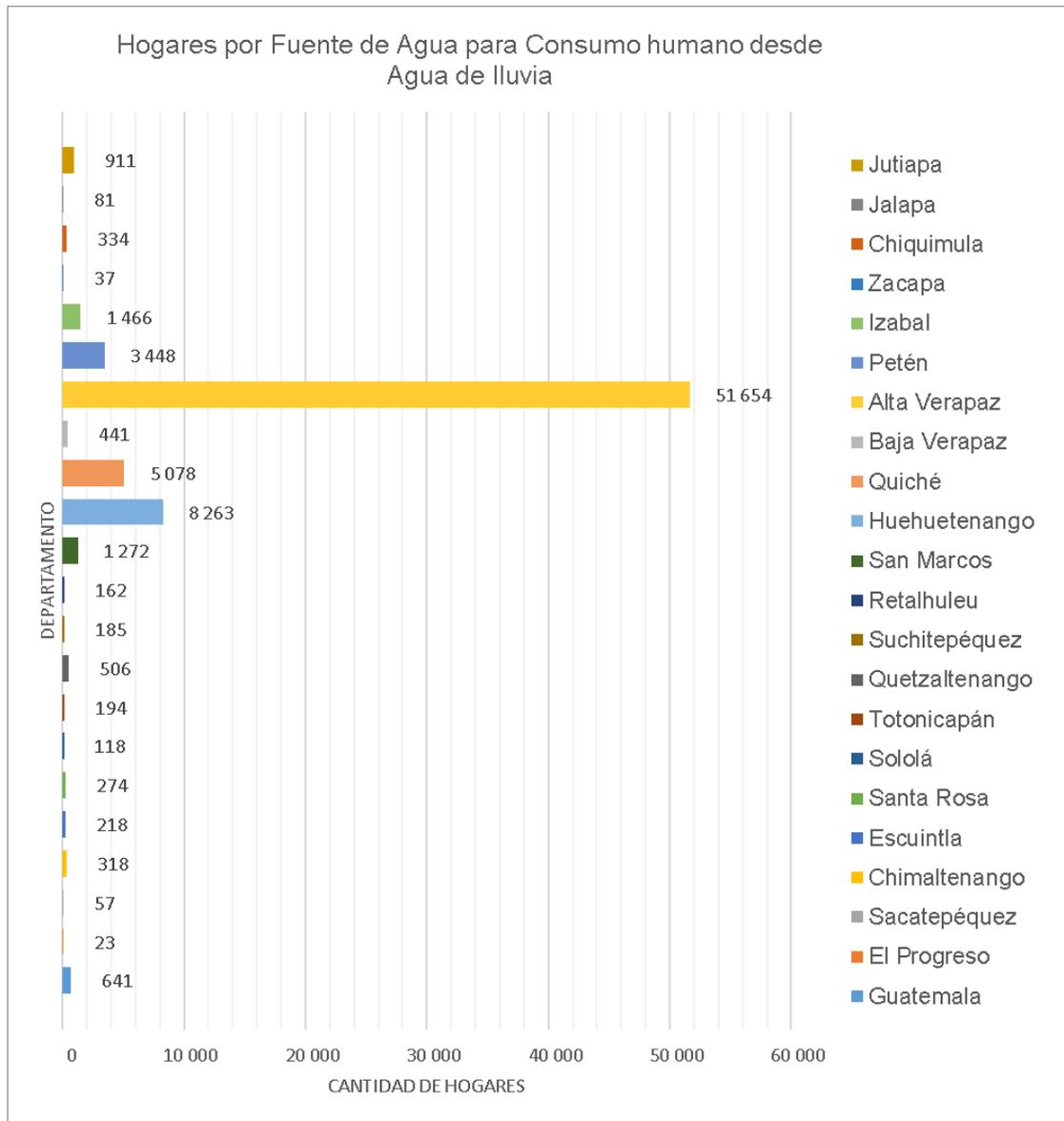
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.4. **Hogares por fuente de agua para consumo humano desde pozo perforado - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística**



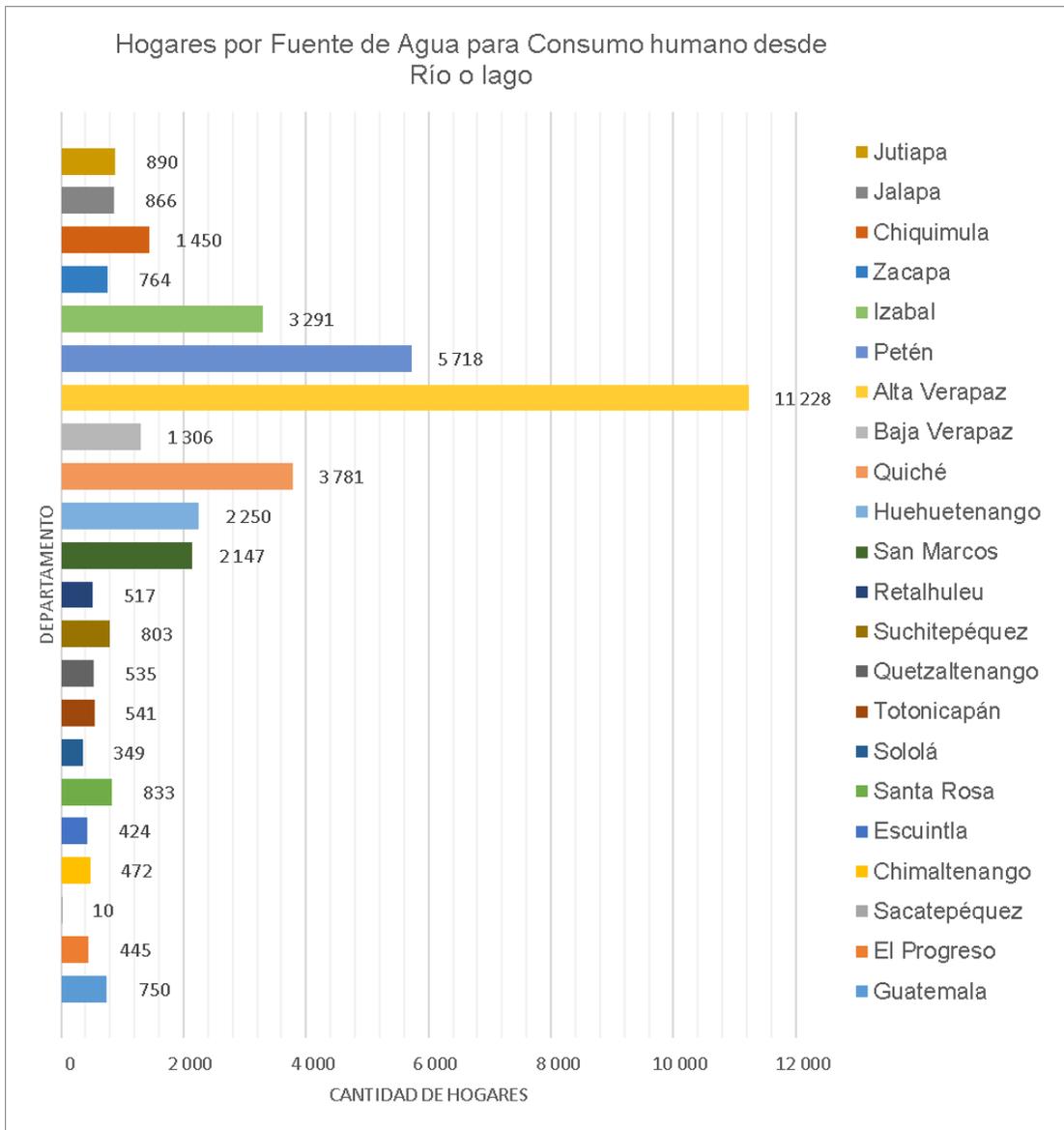
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.5. Hogares por fuente de agua para consumo humano desde agua de lluvia - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística



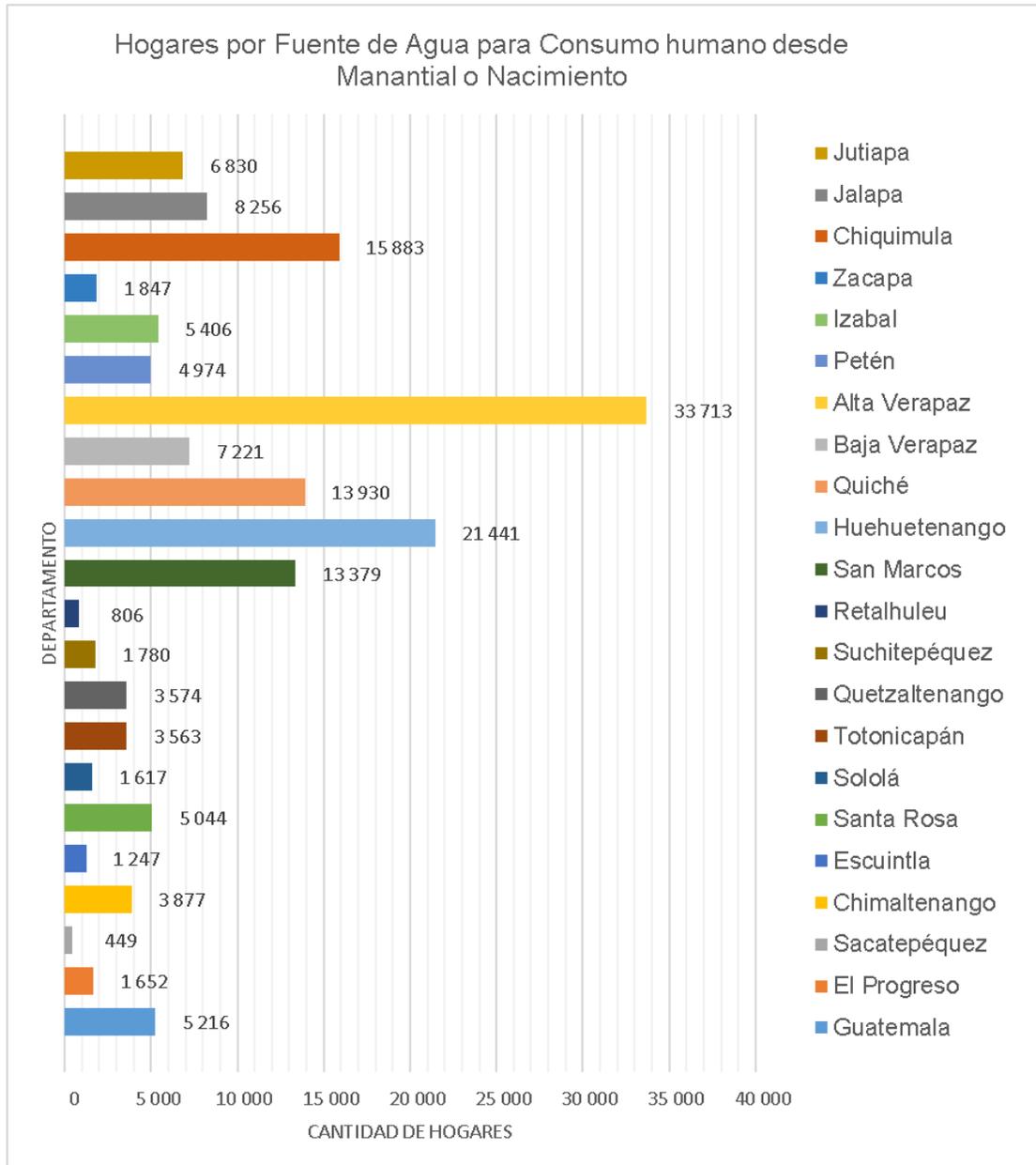
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.6. **Hogares por fuente de agua para consumo humano desde río o lago - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística**



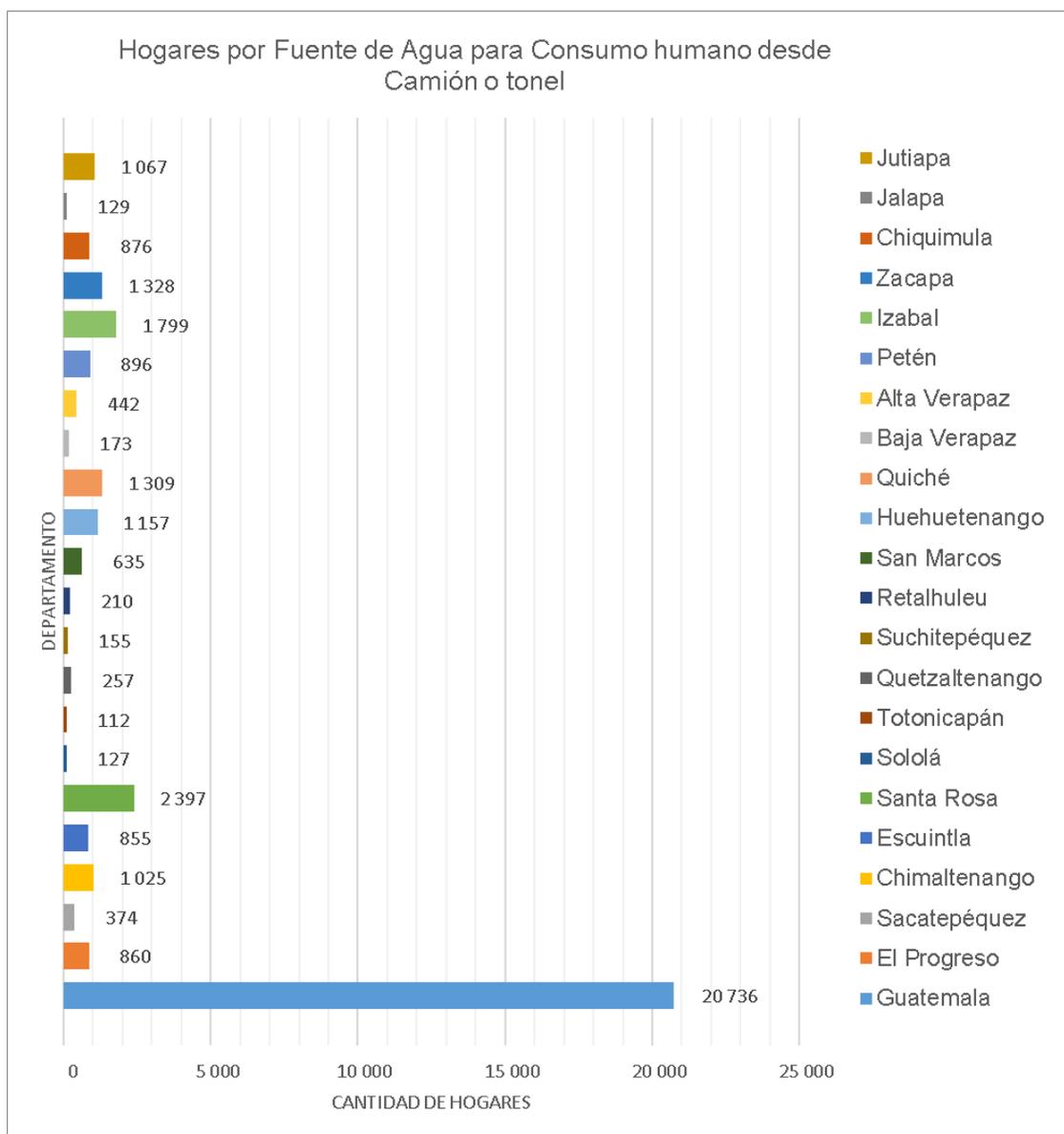
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.7. Hogares por fuente de agua para consumo humano desde manantial o nacimiento - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística



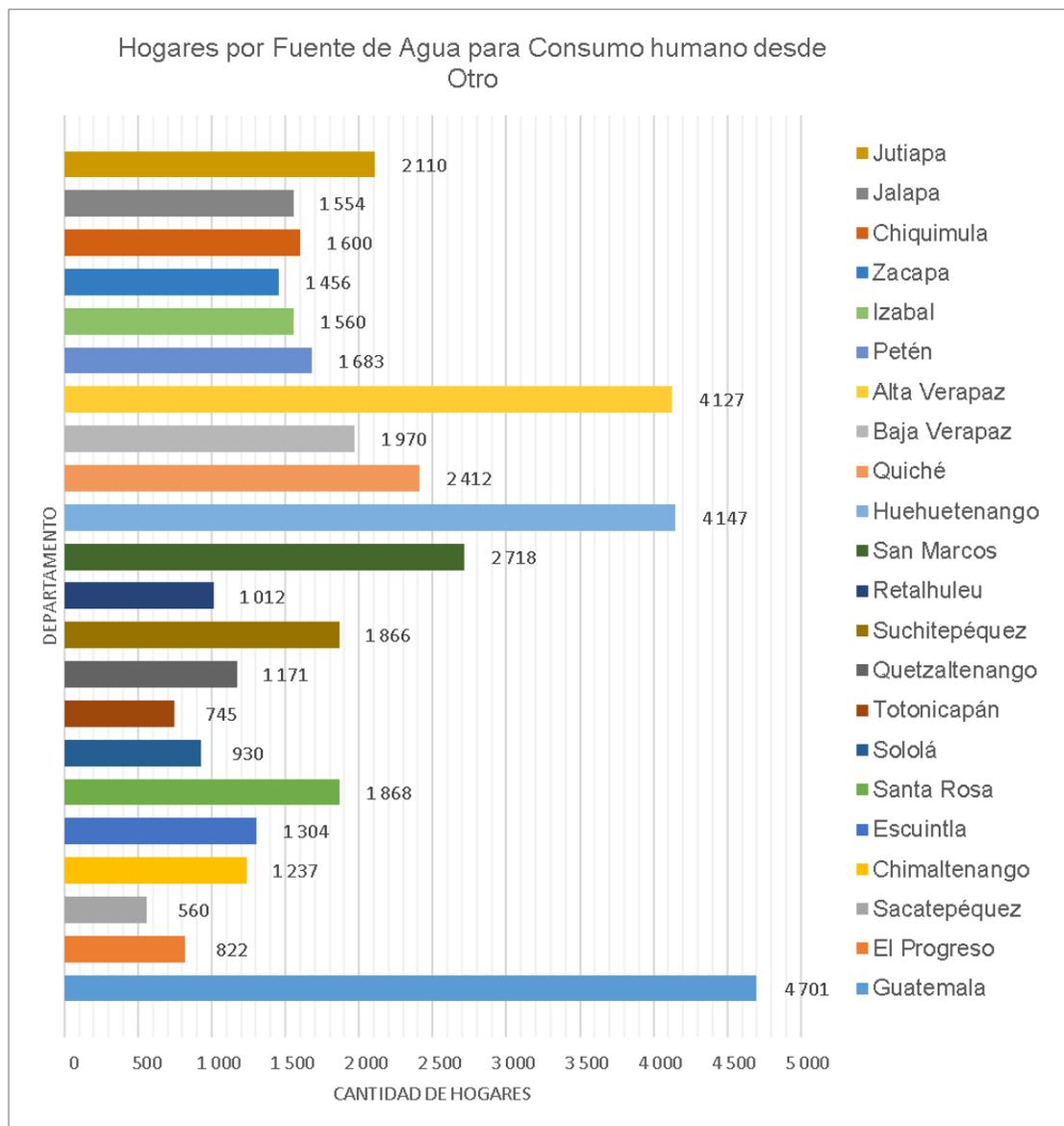
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.8. **Hogares por fuente de agua para consumo humano desde camión o tonel - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9.9. **Hogares por fuente de agua para consumo humano desde otro - XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística**



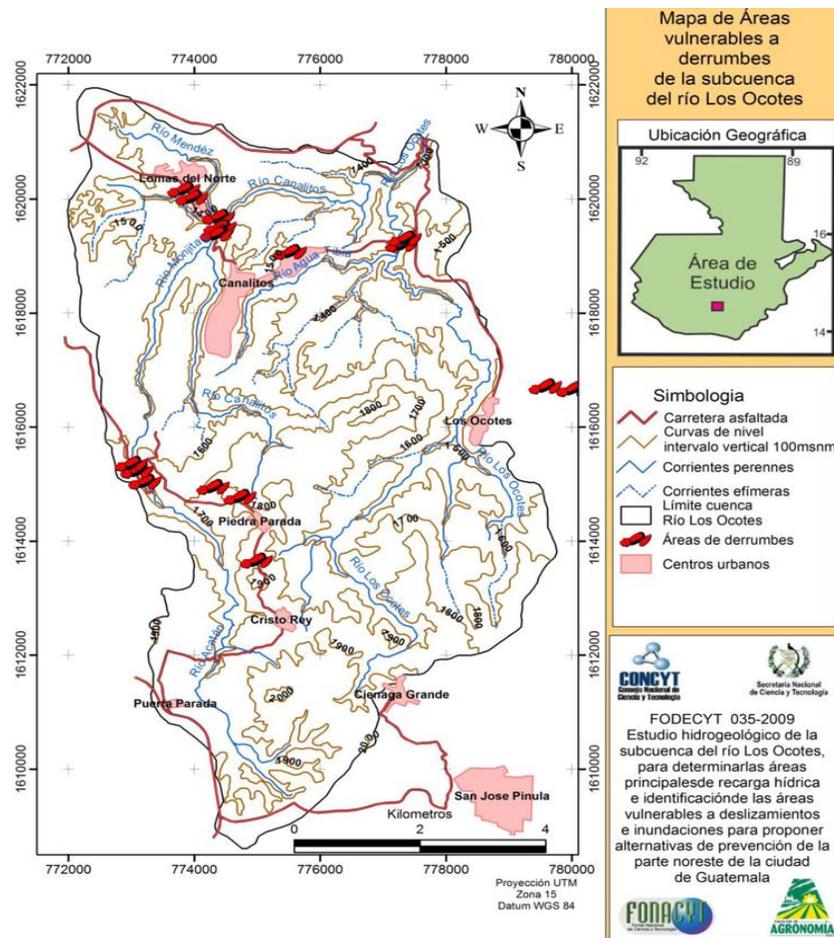
Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Mapas de la subcuenca del río Los Ocotes

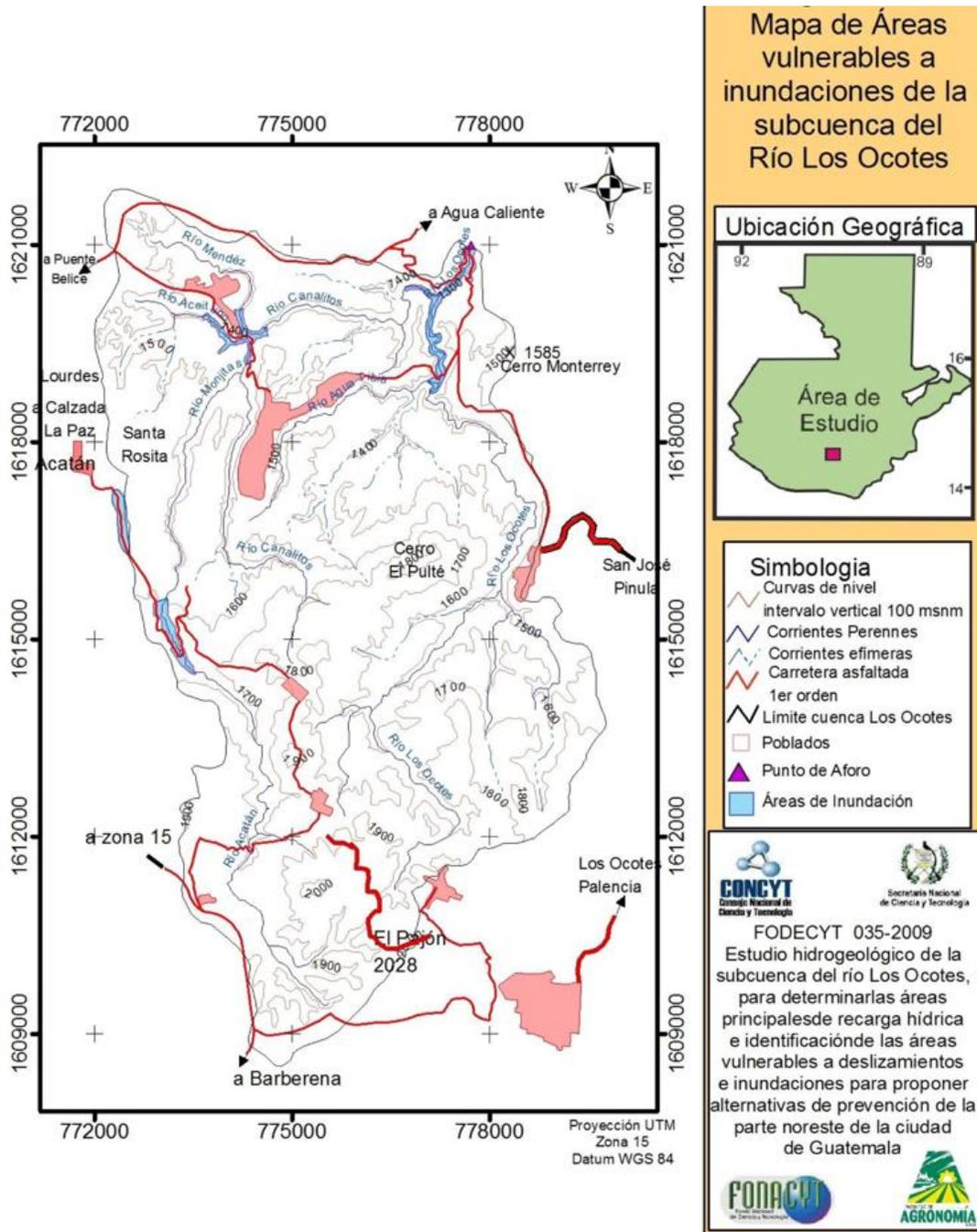
A continuación, se presentan un conjunto de mapas de la subcuenca:

Anexo 1.1. Mapa de áreas vulnerables a derrumbes de la subcuenca del río Los Ocotes



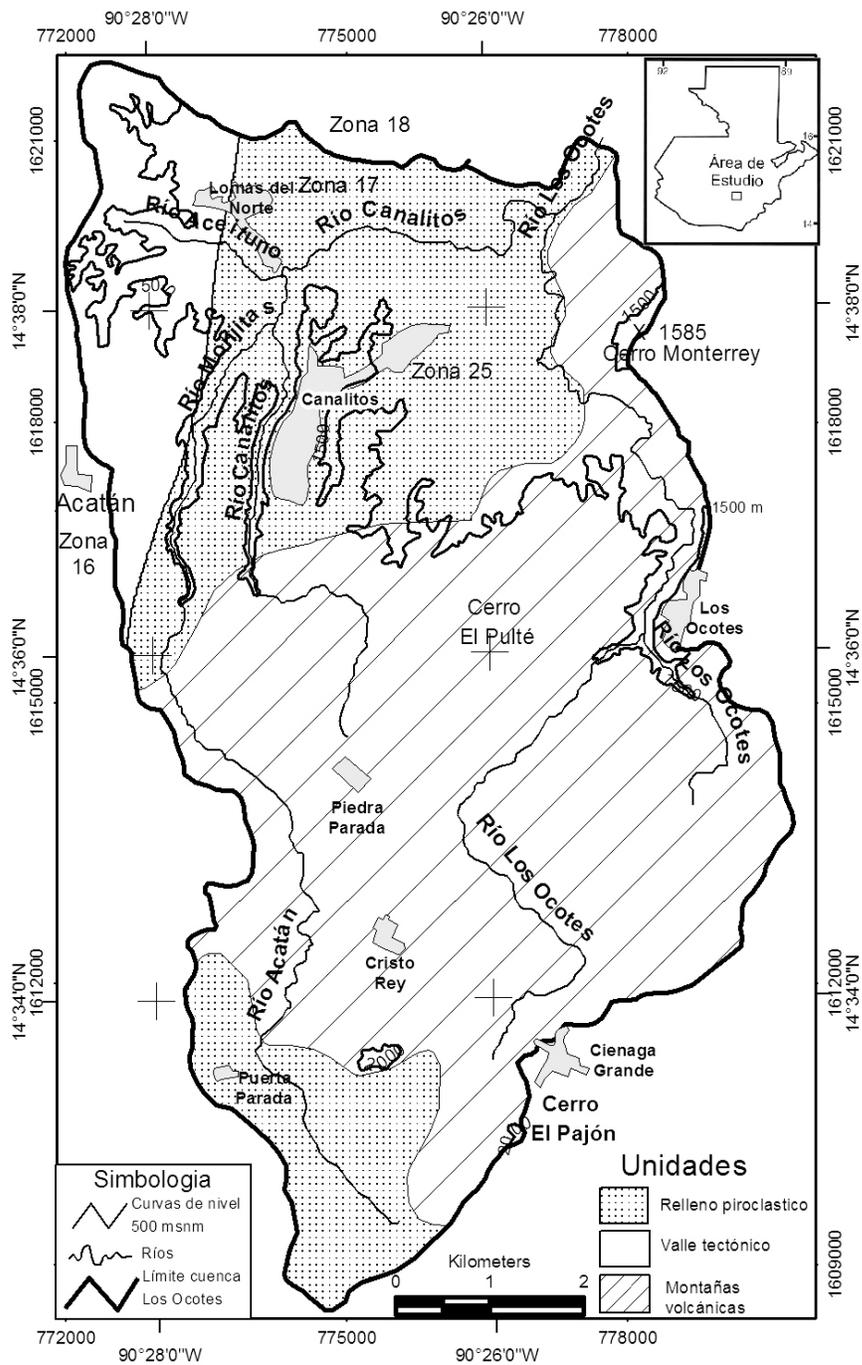
Fuente: Herrera (2012). Proyecto FODECYT 035-2009.

Anexo 1.2. **Mapa de áreas vulnerables a inundaciones de la subcuenca del río Los Ocotes**



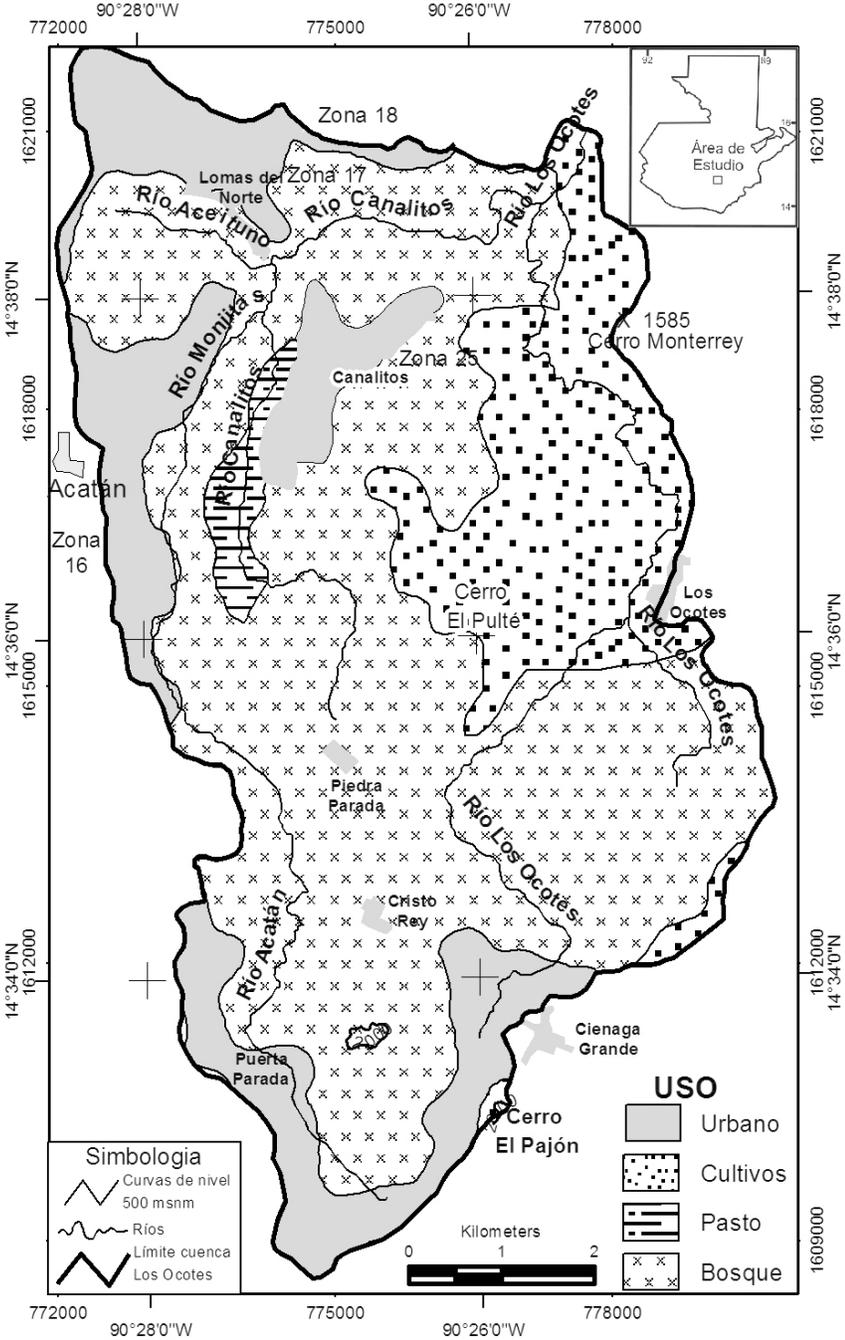
Fuente: Herrera (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009.*

Anexo 1.3. Geomorfología de la subcuenca del río Los Ocotes



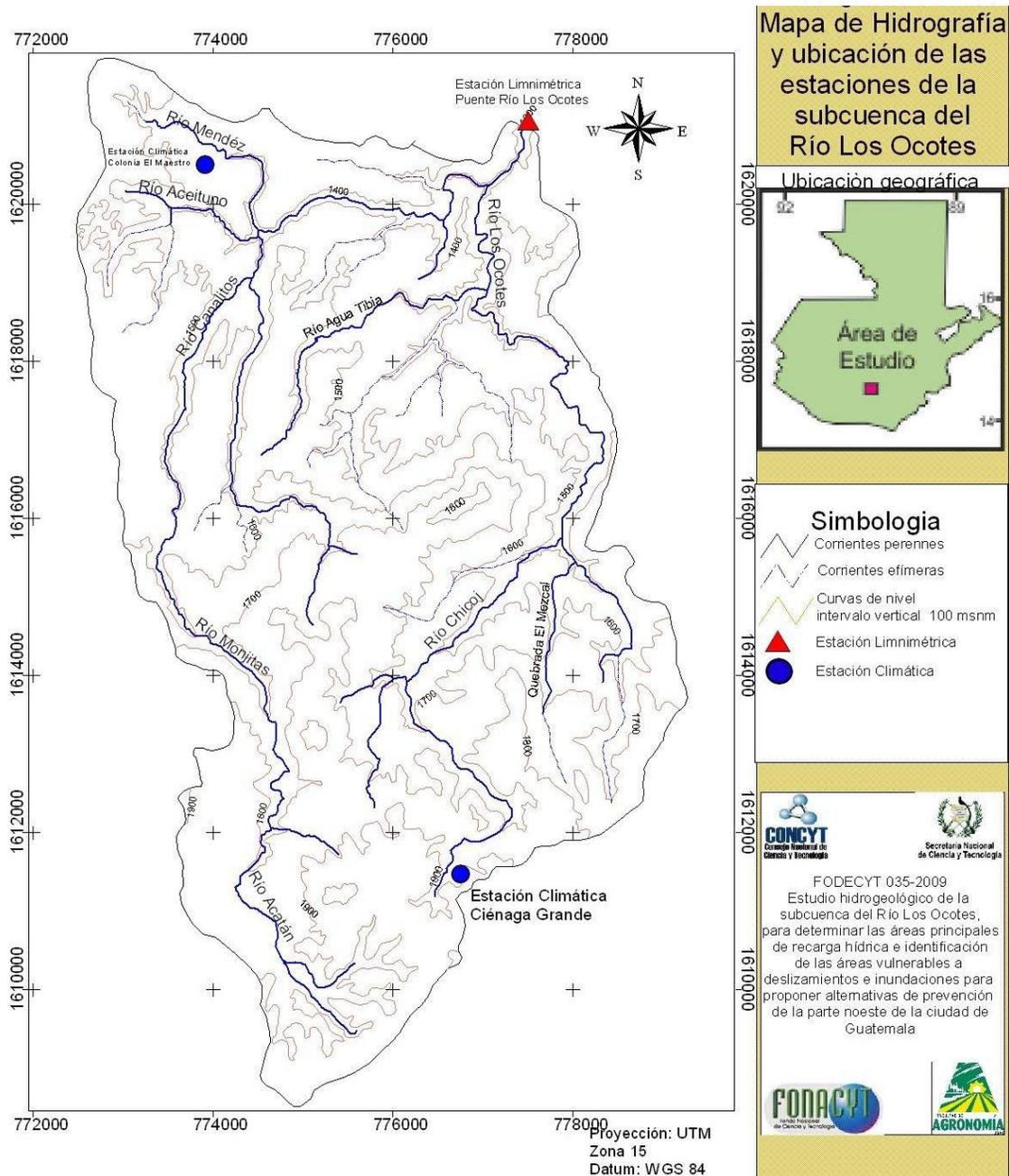
Fuente: Herrera (2016). *La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala.*

Anexo 1.4. **Uso actual de la tierra de la subcuenca del río Los Ocotes**



Fuente: Herrera (2016). *La importancia del bosque en la recarga hídrica natural del acuífero noreste de la ciudad de Guatemala.*

Anexo 1.5. **Mapa de hidrografía y ubicación de las estaciones de la subcuenca del río Los Ocotes**



Fuente: Herrera (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009.*

Anexo 2. Variables climáticas de la subcuenca

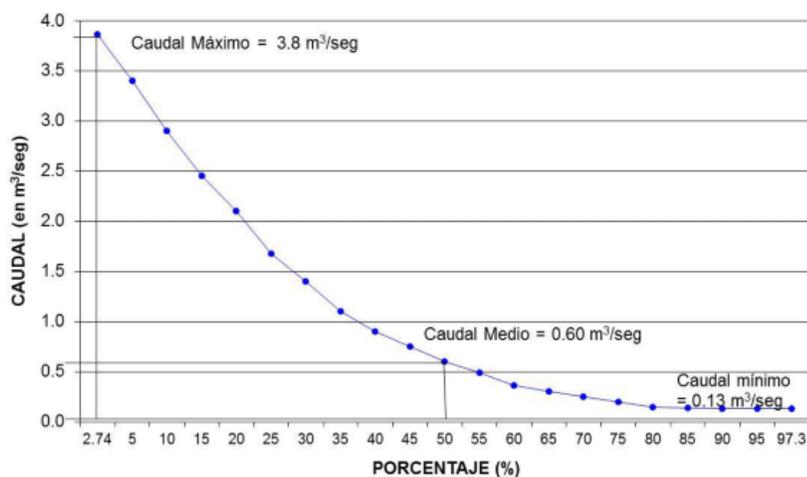
A continuación, se presentan un conjunto de variables climáticas:

Anexo 2.1. Fluctuación de los niveles de agua subterránea

Fluctuación de los niveles de agua subterránea	No confinado	Confinado	Natural	Inducido por el hombre	Corta duración	Diurno	Estacional	Largo plazo	Influencia por el clima
Recarga de agua subterránea (infiltración a la superficie freática)	Sí		Sí				Sí		Sí
Atrape de aire durante la recarga de agua subterránea	Sí		Sí		Sí				Sí
Evapotranspiración y consumo freatófítico	Sí		Sí			Sí			Sí
Almacenamiento de ribera cerca de ríos	Sí		Sí				Sí		Sí
Efectos de marea cerca de los océanos	Sí	Sí	Sí			Sí			
Efectos de la presión atmosférica	Sí	Sí	Sí		Sí	Sí			Sí
Carga externa de acuíferos confinados			Sí	Sí	Sí				
Terremotos		Sí	Sí						
Bombeo de agua subterránea	Sí	Sí		Sí					Sí
Inyección en pozos profundos		Sí		Sí					Sí
Recarga artificial, filtración de humedales, lagunas y rellenos sanitarios	Sí			Sí					Sí
Riego agrícola y drenaje	Sí			Sí					Sí
Riego geotécnico de canteras, laderas, túneles, etc.	Sí			Sí					Sí

Fuente: Freeze y Cherry. (1979). *Groundwater*.

Anexo 2.2. Curva de caudales característicos del río Los Ocotes



Fuente: Herrera (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009*.

Anexo 2.3. **Caudales diarios (m³/s) del periodo 2009 - 2010 de la estación del Puente río Los Ocotes**

Día	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1	0,49	0,49	1,11	0,49	0,49	0,30	1,31	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
2	0,49	0,49	1,11	0,49	0,49	0,30	1,51	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
3	0,49	0,49	1,11	0,49	0,49	0,30	1,31	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
4	0,49	0,49	1,11	0,30	0,49	0,22	1,31	0,13	0,13	0,13	0,13	0,49
5	0,49	0,49	1,11	0,30	0,49	0,22	1,31	0,13	0,13	0,13	0,13	0,92
6	0,49	0,49	1,11	0,30	1,11	0,22	1,51	0,13	0,13	0,13	0,13	0,49
7	0,49	0,49	1,11	0,30	1,11	0,22	1,51	0,13	0,13	0,13	0,13	0,49
8	0,49	0,49	1,11	0,30	1,11	0,22	1,51	0,13	0,13	0,13	0,13	0,92
9	0,49	0,49	1,11	0,30	1,11	0,22	1,51	0,13	0,13	0,13	0,13	0,70
10	0,49	0,49	1,11	0,30	1,11	0,22	1,31	0,13	0,13	0,13	0,22	0,70
11	1,51	0,49	1,11	0,30	1,11	0,22	1,31	0,13	0,13	0,13	0,22	0,70
12	1,51	0,49	1,11	0,30	0,49	0,22	1,11	0,13	0,13	0,13	0,22	0,70
13	1,51	0,49	1,11	0,30	0,49	0,49	1,11	0,13	0,13	0,13	0,22	1,89
14	1,31	0,49	1,11	0,30	0,49	0,49	1,11	0,13	0,13	0,13	0,22	2,52
15	1,31	1,51	0,49	0,30	0,49	0,30	0,49	0,13	0,13	0,13	0,22	2,52
16	1,11	1,51	0,49	0,30	0,49	0,30	0,49	0,13	0,13	0,13	0,22	1,89
17	1,11	1,51	0,49	1,11	0,49	0,22	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	1,63
18	1,11	1,51	0,49	1,11	0,49	0,22	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	1,63
19	0,49	1,51	0,49	0,49	0,30	0,22	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	1,40
20	0,49	1,51	0,49	0,49	0,30	0,22	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	1,12
21	0,49	1,51	0,49	0,49	0,30	0,22	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	1,12
22	0,49	1,51	0,49	0,49	0,30	0,22	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	0,92
23	0,49	1,51	0,49	0,49	0,30	0,22	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	1,12
24	0,49	1,51	0,49	0,49	0,30	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,12
25	0,49	1,51	0,49	0,49	0,30	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,70
26	0,49	1,31	0,49	0,49	0,30	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,70
27	0,49	1,31	0,49	0,49	0,30	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,70
28	0,49	1,11	0,49	0,49	0,30	0,22	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22	2,15
29	0,49	1,11	0,49	0,49	0,30	0,49	0,13	0,13	0,13		0,22	2,15
30	0,49	1,11	0,49	0,49	0,30	0,49	0,13	0,13	0,13		0,22	1,89
31	0,49		0,49	0,49		1,31		0,13	0,13		0,22	
Prom.	0,70	0,98	0,77	0,45	0,54	0,30	0,74	0,13	0,13	0,13	0,16	1,19

Fuente: Herrera (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009.*

Anexo 2.4. **Caudales diarios (m3/s) del periodo 2010 - 2011 de la estación del Puente río Los Ocotes**

Día	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1	1,89	2,52	2,52	3,00	1,89	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
2	1,89	2,52	2,52	2,52	1,89	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
3	2,15	3,00	3,00	2,52	2,52	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
4	1,89	3,00	3,00	2,15	2,52	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
5	0,92	2,52	3,00	1,89	2,15	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
6	0,92	0,49	2,52	1,89	2,15	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
7	0,92	0,49	2,15	1,89	1,89	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
8	0,92	2,52	1,89	3,00	1,89	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
9	0,92	3,88	1,89	3,88	1,89	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
10	0,92	3,88	1,89	3,00	1,51	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
11	0,92	2,52	3,88	1,89	1,51	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
12	3,88	2,52	3,88	1,89	1,11	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
13	3,43	3,88	3,88	1,89	1,11	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
14	3,00	3,43	3,43	2,15	1,11	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
15	2,52	3,43	3,00	2,52	1,11	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
16	2,52	3,00	2,52	2,52	1,11	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
17	2,52	2,15	2,52	3,88	1,11	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
18	3,00	2,15	2,52	2,52	1,11	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
19	3,00	2,15	2,52	2,52	1,51	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
20	2,52	2,15	2,15	2,52	1,51	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
21	2,52	1,89	1,89	2,52	1,51	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
22	2,52	1,89	1,89	2,52	1,51	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
23	2,52	1,89	1,89	1,89	1,51	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
24	2,52	1,89	1,89	1,80	1,51	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
25	3,88	1,89	3,88	2,52	1,51	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
26	3,88	1,89	3,88	2,52	1,31	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
27	3,00	3,43	3,43	2,52	1,31	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
28	3,88	3,00	3,43	2,52	1,31	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,22
29	3,88	3,88	3,00	2,52	1,11	0,30	0,13	0,13	0,13		0,13	0,22
30	3,88	3,00	3,88	1,89	0,49	0,30	0,13	0,13	0,13		0,13	0,22
31	3,43		3,00	1,89		0,30		0,13	0,13		0,13	
Prom.	2,47	2,56	2,80	2,42	1,52	0,41	0,28	0,13	0,13	0,13	0,13	0,16

Fuente: Herrera (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009.*

Anexo 2.5. Caudales mensuales (m3/s) del río Los Ocotes, calculados en la estación del puente río Los Ocotes, periodo 2009 - 2010

Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
2009	0,70	0,98	0,80	0,45	0,54	0,30	0,74	0,13	0,13	0,13	0,16	1,19
2010	2,47	2,56	2,80	2,42	1,52	0,41	0,28	0,13	0,13	0,13	0,13	0,16
Promedio	1,58	1,77	1,80	1,44	1,03	0,36	0,51	0,13	0,13	0,13	0,15	0,68

Fuente: Herrera (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009.*

Anexo 2.6. Caudales mensuales (m3/s) del río Los Ocotes, calculados en la estación del puente río Los Ocotes, periodo 2010 - 2011

Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
2009	0,70	0,98	0,80	0,45	0,54	0,30	0,74	0,13	0,13	0,13	0,16	1,19
2010	2,47	2,56	2,80	2,42	1,52	0,41	0,28	0,13	0,13	0,13	0,13	0,16
Promedio	1,58	1,77	1,80	1,44	1,03	0,36	0,51	0,13	0,13	0,13	0,15	0,68

Fuente: Herrera (2012). *Proyecto FODECYT 035-2009.*

Anexo 2.7. **Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día del hemisferio norte**

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0,0	1,1	4,2	9,4	14,4	17,3	16,1	11,4	6,1	2,0	0,0	0,0
68	0,0	1,5	4,8	9,8	14,4	17,1	15,9	11,7	6,6	2,4	0,3	0,0
66	0,2	2,0	5,3	10,1	14,5	16,9	15,8	12,0	7,1	2,9	0,6	0,0
64	0,6	2,4	5,8	10,5	14,7	16,8	15,8	12,2	7,5	3,5	1,0	0,2
62	0,9	2,9	6,3	10,9	14,8	16,8	15,9	12,5	8,0	4,0	1,4	0,5
60	1,3	3,4	6,8	11,2	14,9	16,8	16,0	12,8	8,4	4,4	1,8	0,9
58	1,8	3,9	7,2	11,6	15,1	16,9	16,1	13,1	8,9	4,9	2,2	1,3
56	2,2	4,4	7,7	11,9	15,3	16,9	16,2	13,3	9,3	5,4	2,7	1,7
54	2,7	4,9	8,2	12,2	15,4	16,9	16,2	13,6	9,7	5,9	3,2	2,1
52	3,1	5,4	8,6	12,6	15,6	17,0	16,4	13,8	10,1	6,4	3,7	2,6
50	3,6	5,9	9,1	12,9	15,7	17,0	16,4	14,0	10,5	6,9	4,2	3,1
48	4,1	6,4	9,5	13,1	15,8	17,1	16,5	14,2	10,9	7,4	4,7	3,6
46	4,6	6,9	9,9	13,4	16,0	17,1	16,6	14,4	11,2	7,8	5,1	4,0
44	5,1	7,3	10,3	13,7	16,0	17,1	16,6	14,7	11,6	8,3	5,7	4,5
42	5,6	7,8	10,7	13,9	16,1	17,1	16,7	14,8	11,9	8,7	6,2	5,1
40	6,1	8,3	11,1	14,2	16,2	17,1	16,7	15,0	12,2	9,2	6,7	5,6
38	6,6	8,8	11,5	14,4	16,3	17,1	16,7	15,1	12,5	9,6	7,1	6,0
36	7,1	9,2	11,8	14,6	16,3	17,0	16,7	15,3	12,9	10,0	7,6	6,6
34	7,6	9,7	12,2	14,7	16,3	17,0	16,7	15,3	13,1	10,4	8,1	7,1
32	8,1	10,1	12,5	14,5	16,3	16,9	16,6	15,5	13,4	10,9	8,6	7,6
30	8,6	10,5	12,8	15,0	16,3	16,8	16,6	15,5	13,6	11,3	9,1	8,1
28	9,1	10,9	13,1	15,1	16,3	16,7	16,5	15,6	13,8	11,6	9,5	8,6
26	9,6	11,3	13,4	15,3	16,3	16,6	16,4	15,6	14,1	12,0	10,0	9,1
24	10,0	11,8	13,7	15,3	16,2	16,4	16,3	15,6	14,2	12,3	10,4	9,5
22	10,5	12,1	13,9	15,4	16,1	16,3	16,2	15,7	14,4	12,7	10,9	10,0
20	10,9	12,5	14,2	15,5	16,0	16,1	16,0	15,6	14,6	13,0	11,3	10,4
18	11,4	12,9	14,4	15,5	15,9	16,0	15,9	15,6	14,7	13,3	11,7	10,9
16	11,8	13,2	14,6	15,6	15,8	15,8	15,7	15,6	14,9	13,6	12,1	11,4
14	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15,0	13,8	12,5	11,8
12	12,6	13,8	14,9	15,5	15,5	15,3	15,3	15,4	15,1	14,1	12,9	12,2
10	13,0	14,1	15,1	15,5	15,3	15,1	15,1	15,3	15,1	14,3	13,2	12,7
8	13,4	14,4	15,2	15,4	15,1	14,8	14,9	15,2	15,2	14,5	13,6	13,1
6	13,8	14,6	15,3	15,3	14,9	14,6	14,7	15,1	15,2	14,7	13,9	13,4
4	14,1	14,9	15,3	15,3	14,7	14,3	14,4	14,9	15,2	14,9	14,2	13,8
2	14,4	15,1	15,4	15,1	14,4	14,0	14,1	14,7	15,2	15,1	14,5	14,2
0	14,8	15,3	15,5	15,0	14,2	13,6	13,8	14,6	15,2	15,3	14,8	14,5

Fuente: Sánchez. (2021). *Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. Consultado el 25 de mayo de 2022. Recuperado de https://hidrologia.usal.es/practicass/ET/ET_Hargreaves.pdf.

Anexo 2.8. **Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día del hemisferio sur**

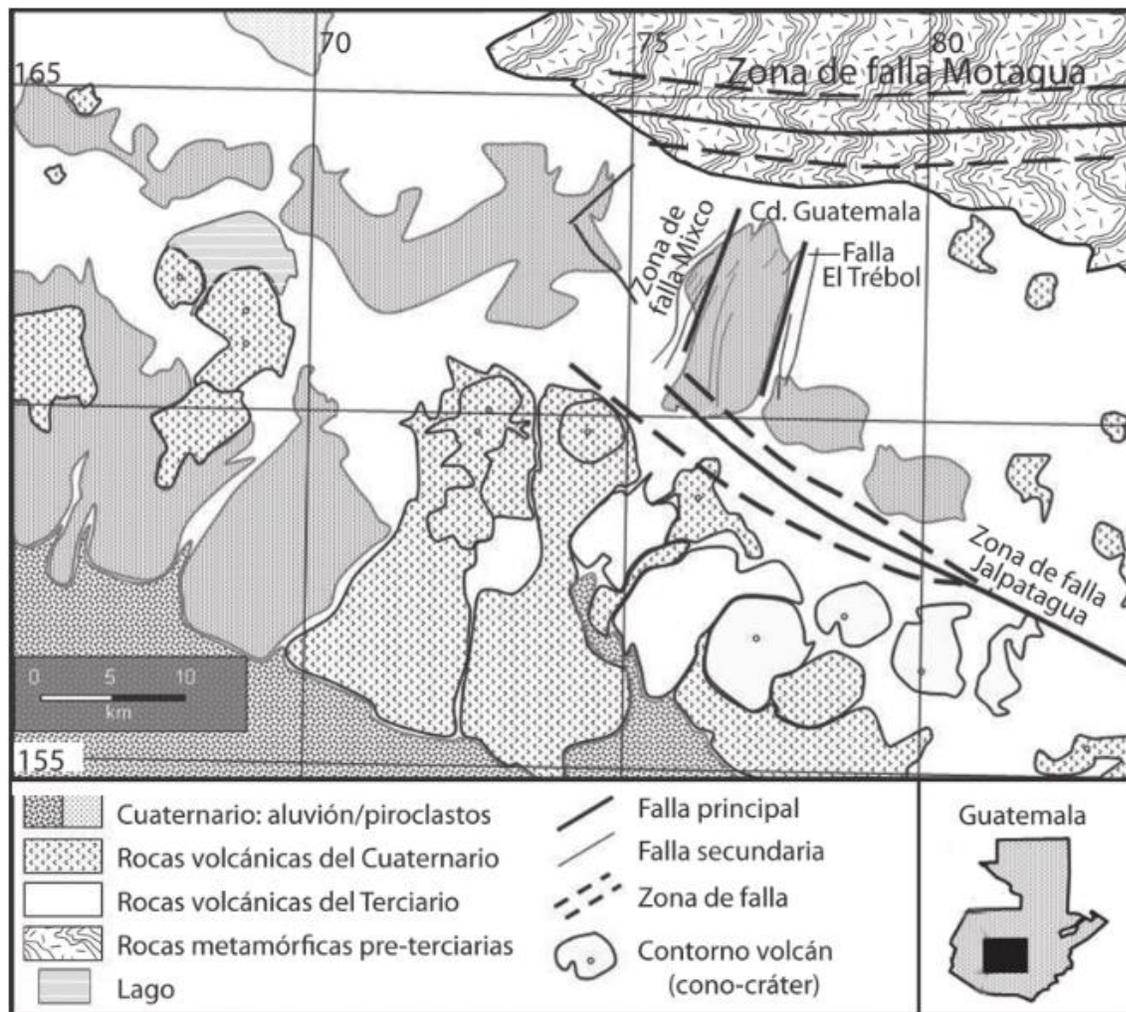
Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0,0	1,1	4,2	9,4	14,4	17,3	16,1	11,4	6,1	2,0	0,0	0,0
68	0,0	1,5	4,8	9,8	14,4	17,1	15,9	11,7	6,6	2,4	0,3	0,0
66	0,2	2,0	5,3	10,1	14,5	16,9	15,8	12,0	7,1	2,9	0,6	0,0
64	0,6	2,4	5,8	10,5	14,7	16,8	15,8	12,2	7,5	3,5	1,0	0,2
62	0,9	2,9	6,3	10,9	14,8	16,8	15,9	12,5	8,0	4,0	1,4	0,5
60	1,3	3,4	6,8	11,2	14,9	16,8	16,0	12,8	8,4	4,4	1,8	0,9
58	1,8	3,9	7,2	11,6	15,1	16,9	16,1	13,1	8,9	4,9	2,2	1,3
56	2,2	4,4	7,7	11,9	15,3	16,9	16,2	13,3	9,3	5,4	2,7	1,7
54	2,7	4,9	8,2	12,2	15,4	16,9	16,2	13,6	9,7	5,9	3,2	2,1
52	3,1	5,4	8,6	12,6	15,6	17,0	16,4	13,8	10,1	6,4	3,7	2,6
50	3,6	5,9	9,1	12,9	15,7	17,0	16,4	14,0	10,5	6,9	4,2	3,1
48	4,1	6,4	9,5	13,1	15,8	17,1	16,5	14,2	10,9	7,4	4,7	3,6
46	4,6	6,9	9,9	13,4	16,0	17,1	16,6	14,4	11,2	7,8	5,1	4,0
44	5,1	7,3	10,3	13,7	16,0	17,1	16,6	14,7	11,6	8,3	5,7	4,5
42	5,6	7,8	10,7	13,9	16,1	17,1	16,7	14,8	11,9	8,7	6,2	5,1
40	6,1	8,3	11,1	14,2	16,2	17,1	16,7	15,0	12,2	9,2	6,7	5,6
38	6,6	8,8	11,5	14,4	16,3	17,1	16,7	15,1	12,5	9,6	7,1	6,0
36	7,1	9,2	11,8	14,6	16,3	17,0	16,7	15,3	12,9	10,0	7,6	6,6
34	7,6	9,7	12,2	14,7	16,3	17,0	16,7	15,3	13,1	10,4	8,1	7,1
32	8,1	10,1	12,5	14,5	16,3	16,9	16,6	15,5	13,4	10,9	8,6	7,6
30	8,6	10,5	12,8	15,0	16,3	16,8	16,6	15,5	13,6	11,3	9,1	8,1
28	9,1	10,9	13,1	15,1	16,3	16,7	16,5	15,6	13,8	11,6	9,5	8,6
26	9,6	11,3	13,4	15,3	16,3	16,6	16,4	15,6	14,1	12,0	10,0	9,1
24	10,0	11,8	13,7	15,3	16,2	16,4	16,3	15,6	14,2	12,3	10,4	9,5
22	10,5	12,1	13,9	15,4	16,1	16,3	16,2	15,7	14,4	12,7	10,9	10,0
20	10,9	12,5	14,2	15,5	16,0	16,1	16,0	15,6	14,6	13,0	11,3	10,4
18	11,4	12,9	14,4	15,5	15,9	16,0	15,9	15,6	14,7	13,3	11,7	10,9
16	11,8	13,2	14,6	15,6	15,8	15,8	15,7	15,6	14,9	13,6	12,1	11,4
14	12,2	13,5	14,7	15,6	15,7	15,6	15,6	15,5	15,0	13,8	12,5	11,8
12	12,6	13,8	14,9	15,5	15,5	15,3	15,3	15,4	15,1	14,1	12,9	12,2
10	13,0	14,1	15,1	15,5	15,3	15,1	15,1	15,3	15,1	14,3	13,2	12,7
8	13,4	14,4	15,2	15,4	15,1	14,8	14,9	15,2	15,2	14,5	13,6	13,1
6	13,8	14,6	15,3	15,3	14,9	14,6	14,7	15,1	15,2	14,7	13,9	13,4
4	14,1	14,9	15,3	15,3	14,7	14,3	14,4	14,9	15,2	14,9	14,2	13,8
2	14,4	15,1	15,4	15,1	14,4	14,0	14,1	14,7	15,2	15,1	14,5	14,2
0	14,8	15,3	15,5	15,0	14,2	13,6	13,8	14,6	15,2	15,3	14,8	14,5

Fuente: Sánchez. (2021). *Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. Consultado el 25 de mayo de 2022. Recuperado de https://hidrologia.usal.es/practicass/ET/ET_Hargreaves.pdf.

Anexo 3. Geología y mapas de la subcuenca del río Los Ocotes

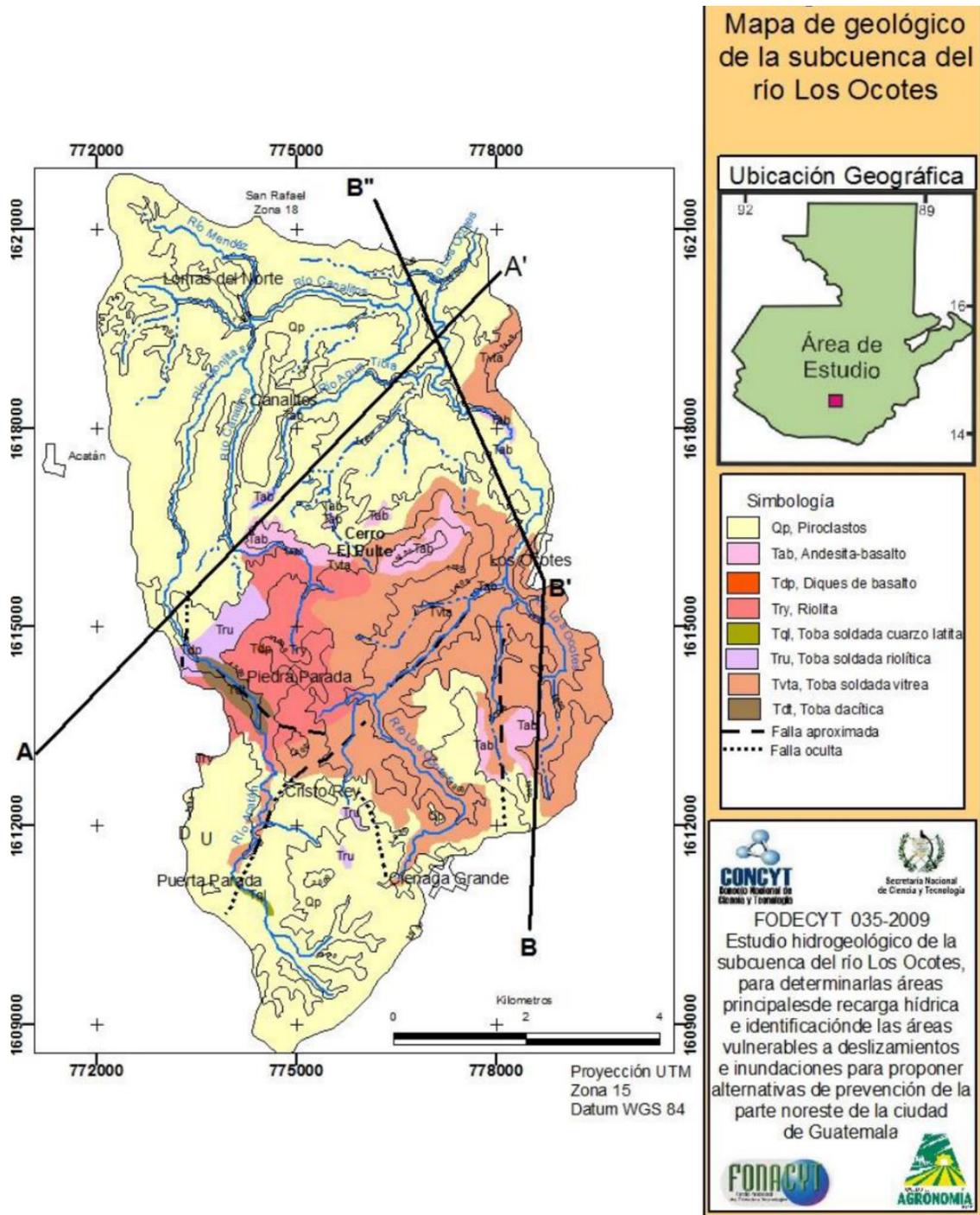
A continuación, se presentan un conjunto de mapas y perfiles:

Anexo 3.1. Mapa geológico para la ciudad de Guatemala



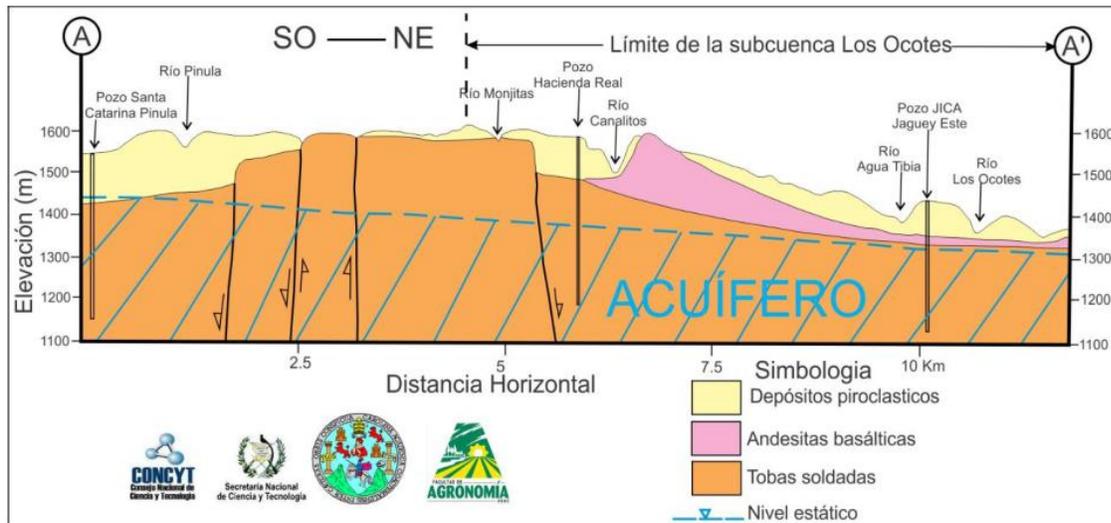
Fuente: Pérez. (2009). *Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión*. Consultado el 25 de enero de 2022. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45437348006>.

Anexo 3.2. Mapa geológico de la subcuenca del río Los Ocotes



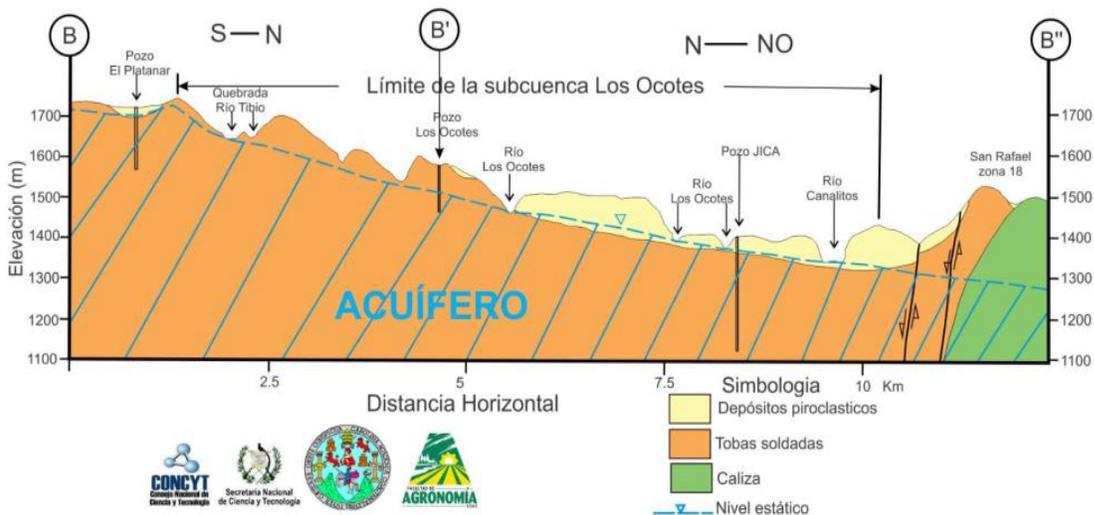
Fuente: Herrera (2012). Proyecto FODECYT 035-2009.

Anexo 3.3. Perfil geológico A-A'



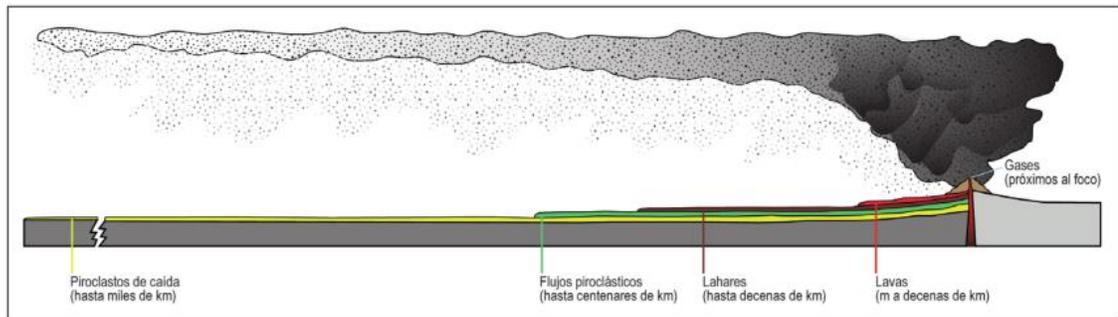
Fuente: Herrera (2012). Proyecto FODECYT 035-2009.

Anexo 3.4. Perfil geológico B-B''



Fuente: Herrera (2012). Proyecto FODECYT 035-2009.

Anexo 3.5. **Comparación entre las distancias alcanzadas por los depósitos piroclásticos y otros productos volcánicos**

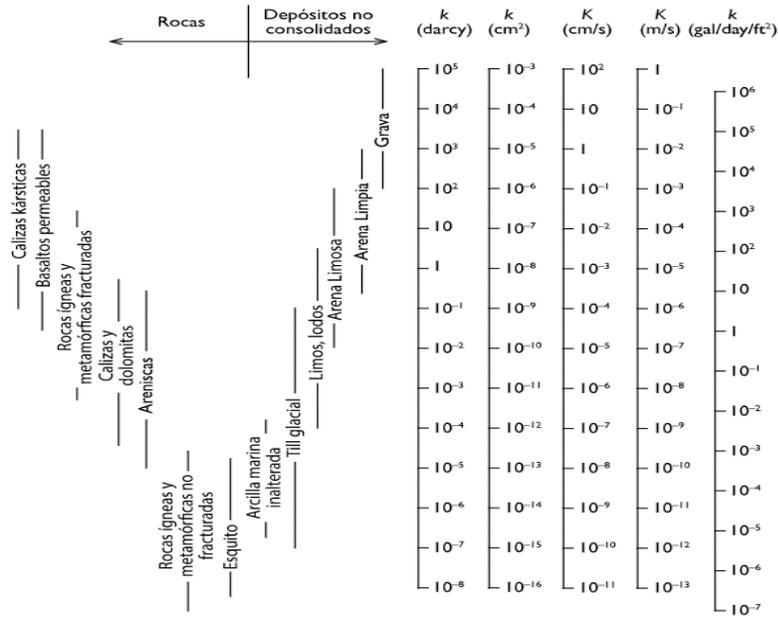


Fuente: Pérez y Fernández. (2015). *Peligros asociados a los depósitos piroclásticos*.

Anexo 4. Características del acuífero de la subcuenca

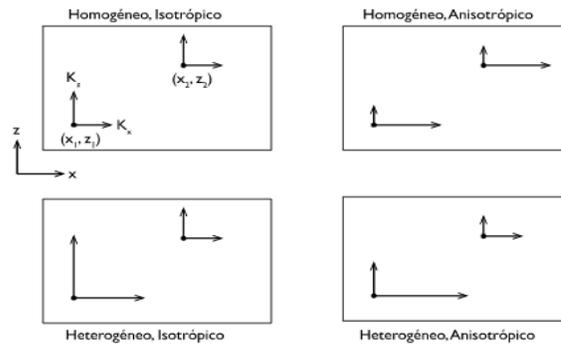
A continuación, se presentan características del acuífero de la subcuenca:

Anexo 4.1. Fluctuación de los niveles de agua subterránea



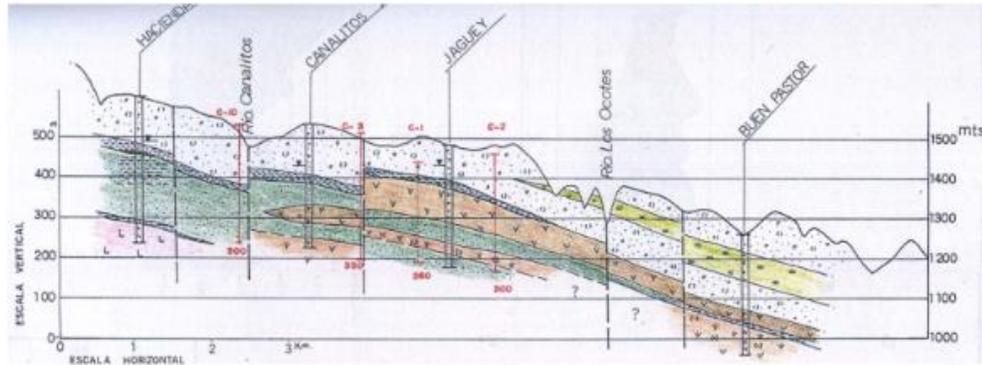
Fuente: Freeze y Cherry. (1979). *Groundwater*.

Anexo 4.2. Cuatro combinaciones posibles de heterogeneidad de capas y anisotropía



Fuente: Freeze y Cherry. (1979). *Groundwater*.

Anexo 4.3. Perfil de pozos subcuenca río Los Ocotes



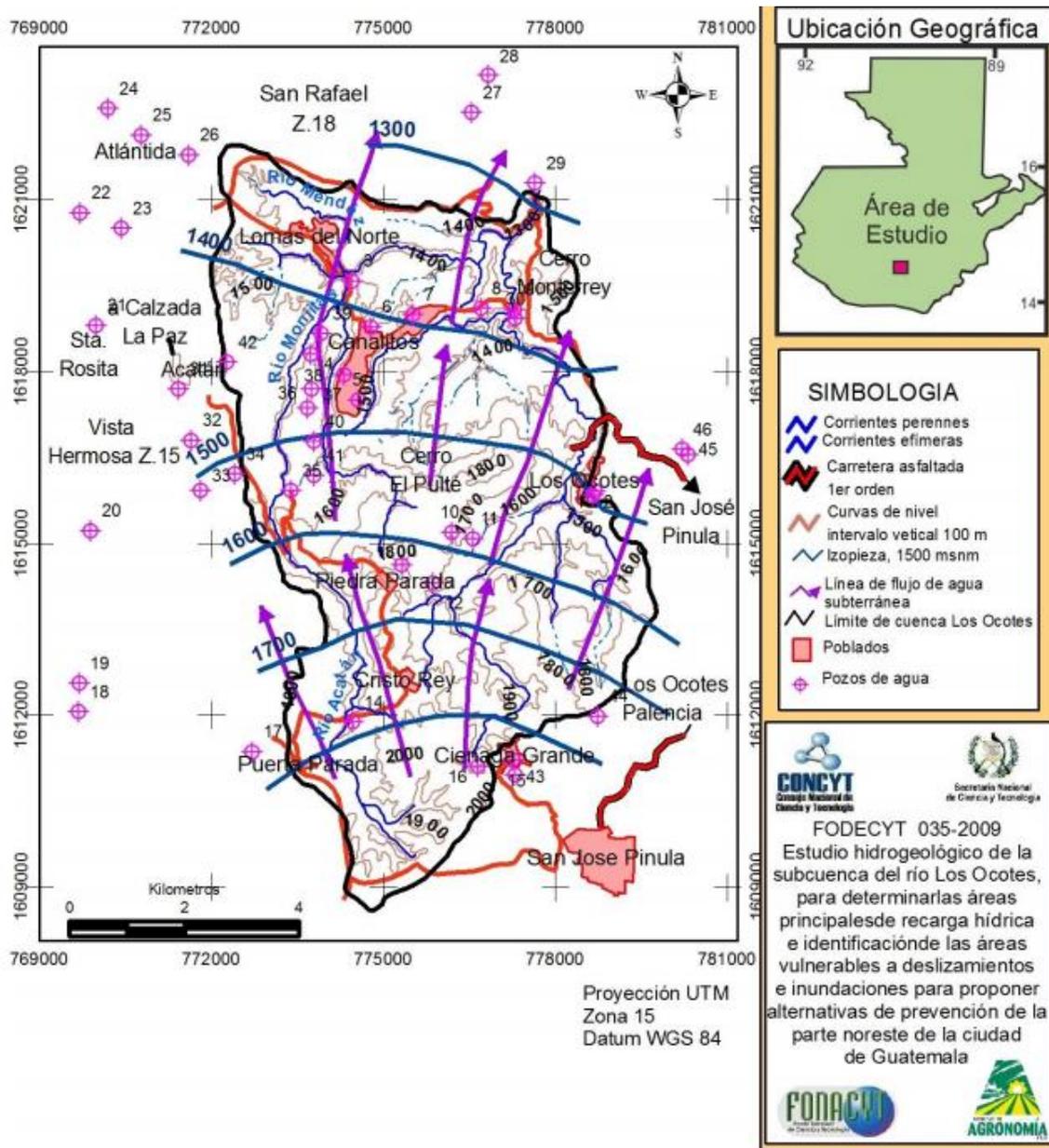
Fuente: Morales. (2012). *Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala.*

Anexo 4.4. Características de la cuenca norte de la ciudad de Guatemala

Características				
Ubicación	Acuífero	Periodo	Constituido por	Orden de aportación mm ³ /año
Norte	Rellenos volcánicos cuaternarios	Cretácico	Indicios kársticos (calizas, metamórficas)	73,27
Valle	Andesita fracturada, sedimentos fluviales y lavas volcánicas del terciario	Terciario	Lavas Coladas (andesitas, riolitas, basaltos)	46,89
Sur	Calizas del cretácico (con diferentes niveles de aguas)	Cuaternario	Sedimentos (gravas, arenas, limos, arcillas)	86,30

Fuente: Morales. (2012). *Evaluación del descenso del nivel freático en la parte norte del acuífero metropolitano en el valle de Guatemala.*

Anexo 4.5. Mapa de pozos de la subcuenca del río Los Ocotes

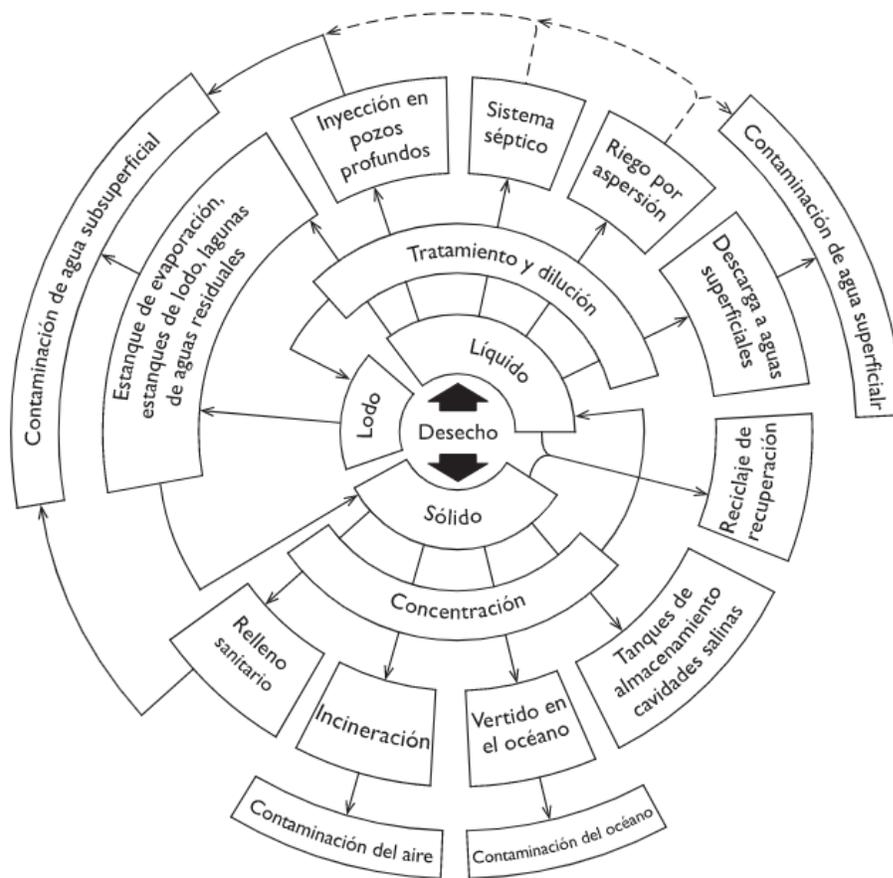


Fuente: Herrera (2012). Proyecto FODECYT 035-2009.

Anexo 5. Parámetros de la calidad del agua

A continuación, se presentan parámetros que hacen referencia a la calidad del agua:

Anexo 5.1. Espectro de alternativas de eliminación de residuos



Fuente: Freeze y Cherry. (1979). *Groundwater*.

Anexo 5.2. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u (a)
Olor Turbiedad	No rechazable	No rechazable
Conductividad eléctrica	5,0 UNT	15,0 UNT (b)
Potencial de hidrógeno	750 μ S/cm	1500 μ S/cm (d)
Sólidos totales disueltos	7,0-7,5 500,0 mg/L	6,5-8,5 (c) (d) 1000,0 mg/L
(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). (c) En unidades de pH (d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.		

Fuente: COGUANOR NTG 29001. (1999). *Agua para consumo humano (agua potable)*.

Consultado el 18 de marzo de 2022. Recuperado de http://ide.segeplan.gob.gt/ranking/ranking_portal/documentos/MunicipioSaludable/COGUANOR-NTG-29-001.pdf.

Anexo 5.3. Características químicas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) (b)	0,3	-----
a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia. b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.		

Fuente: COGUANOR NTG 29001. (1999). *Agua para consumo humano (agua potable)*.

Consultado el 18 de marzo de 2022. Recuperado de http://ide.segeplan.gob.gt/ranking/ranking_portal/documentos/MunicipioSaludable/COGUANOR-NTG-29-001.pdf.

Anexo 5.4. **Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN^-)	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Mercurio total (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO_3^-)	50,0
Nitrito (NO_2^-)	3,0

Fuente: COGUANOR NTG 29001. (1999). *Agua para consumo humano (agua potable)*.

Consultado el 18 de marzo de 2022. Recuperado de

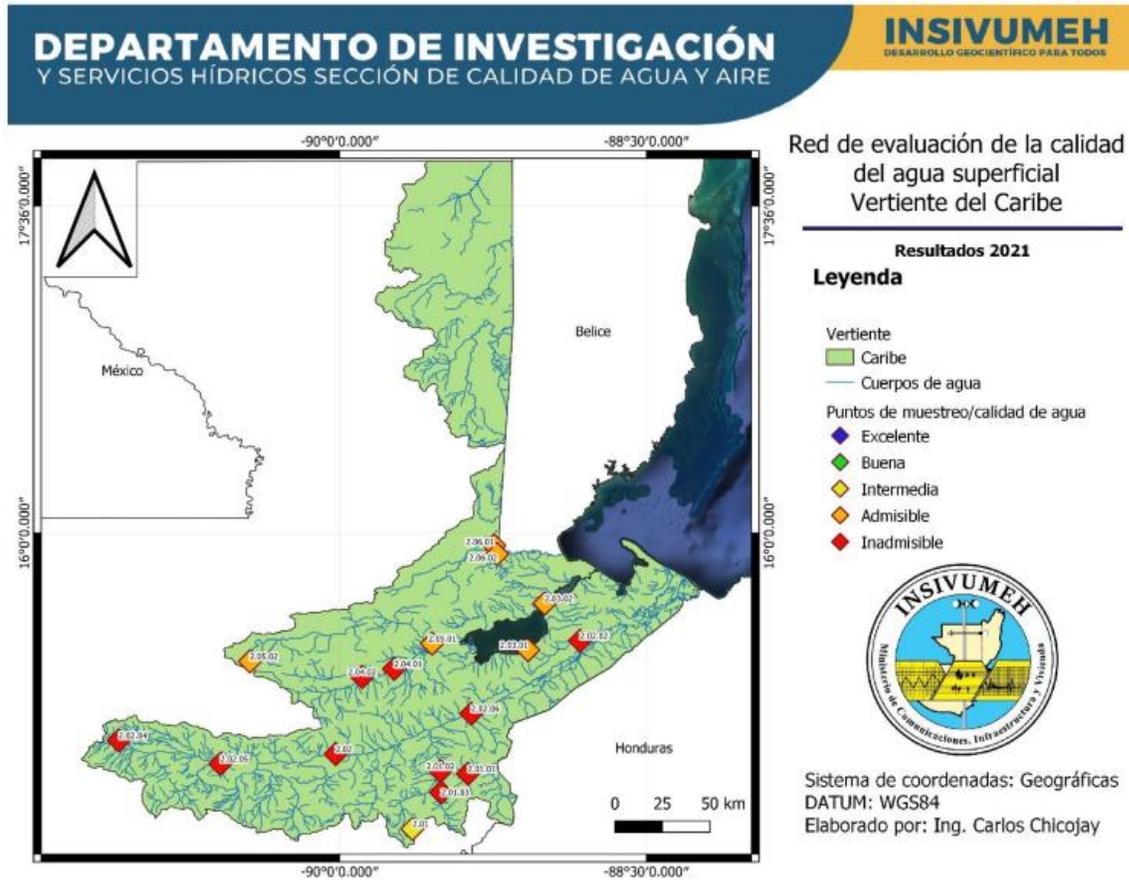
http://ide.segeplan.gob.gt/ranking/ranking_portal/documentos/MunicipioSaludable/COGUANOR-NTG-29-001.pdf.

Anexo 5.5. **Categorías según Índice Simplificado de Calidad de Agua**

ISCA	Categoría	Descripción	Posibles usos
90-100	Excelente	La calidad del agua está protegida, se da por sentado una ausencia total de amenazas; las condiciones son cercanas a los niveles naturales.	Todos los usos, contemplando tratamientos para el consumo humano para que los parámetros se encuentren dentro de la norma COGUANOR NTG29001.
80-90	Buena	La calidad del agua está protegida contra un menor grado de amenazas; las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.	Consumo humano con tratamientos convencionales para que los parámetros se encuentren dentro de la norma COGUANOR NTG29001, riego agrícola, acuicultura, recreativo.
70-80	Intermedia	La calidad del agua es ocasionalmente afectada; las condiciones a veces no cumplen con los niveles deseados.	Consumo humano con tratamientos especiales para que los parámetros se encuentren dentro de la norma COGUANOR NTG29001, riego agrícola, acuicultura, recreativo, industrial.
60-70	Admisible	La calidad del agua es frecuentemente afectada; las condiciones a menudo no cumplen con los niveles deseados.	Recreación, industrial y riego agrícola.
0-60	Inadmisible	La calidad del agua es continuamente afectada; las condiciones no cumplen con los niveles deseados por lo que las condiciones no son cercanas a los niveles naturales.	Los parámetros del recurso no facilitan su uso para una actividad específica. Por lo que para ser aprovechado el recurso, este debe ser tratado para cumplir con los parámetros necesarios según el uso que se le quiera dar.

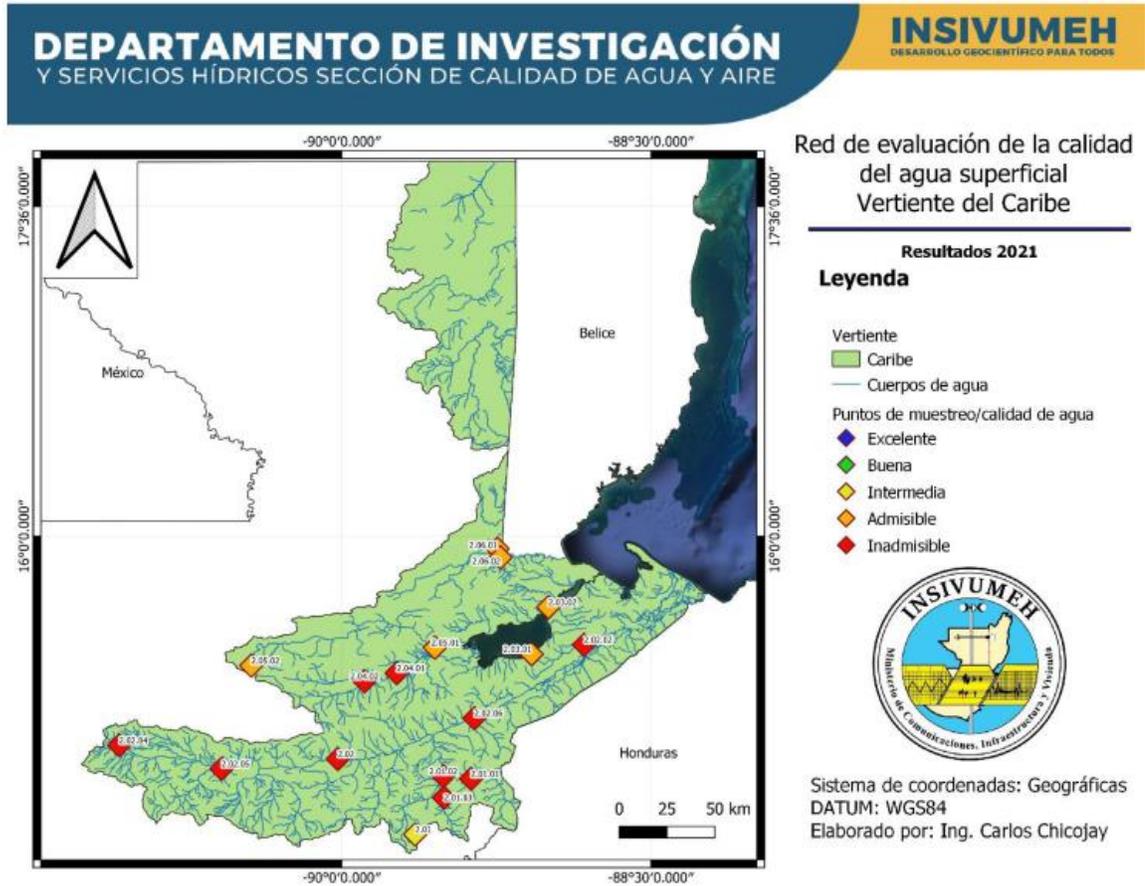
Fuente: INSIVUMEH. (2021). *Boletín anual No. 24 de calidad del agua de Guatemala*.

Anexo 5.6. **Red de evaluación de la calidad del agua superficial de la Vertiente del Caribe**



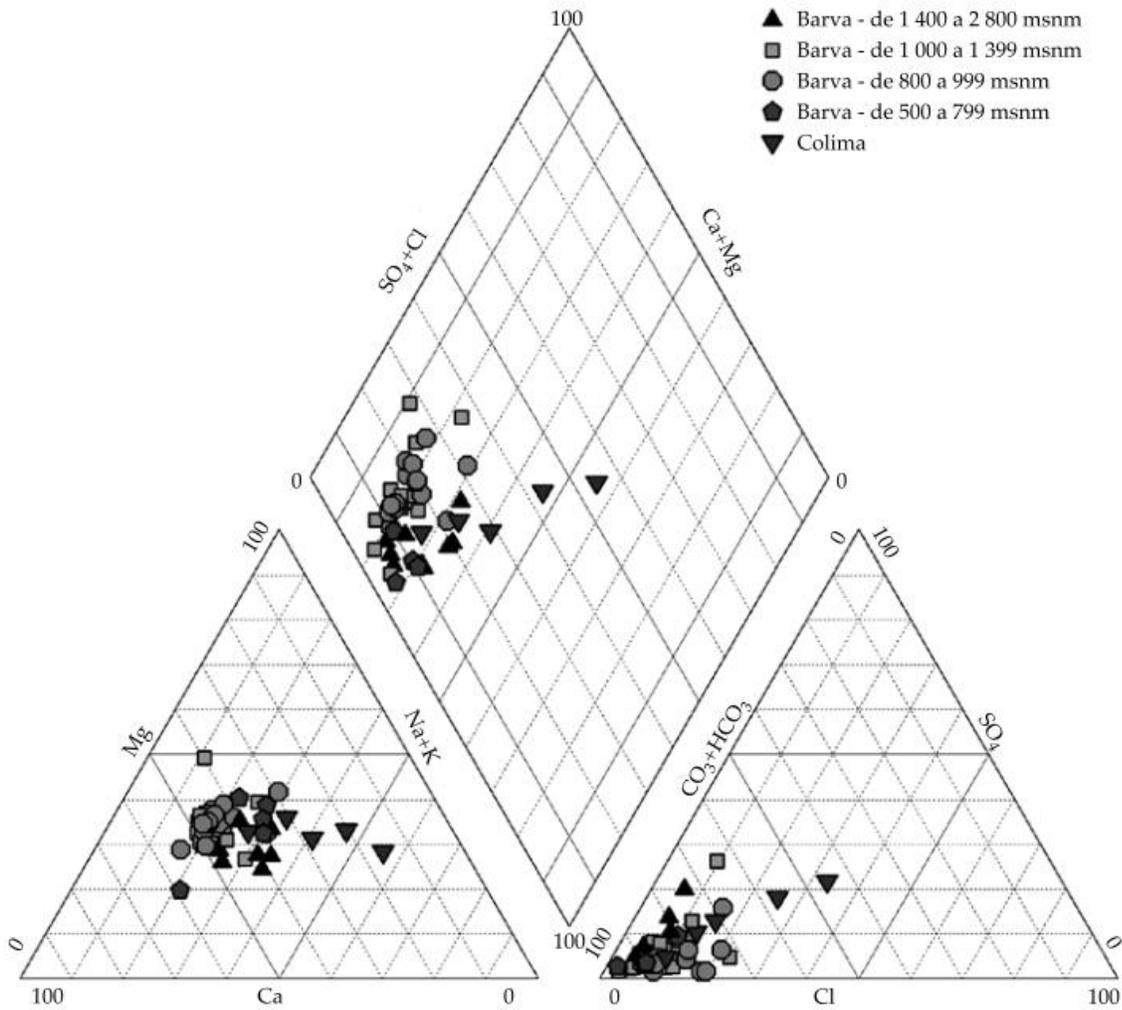
Fuente: INSIVUMEH. (2021). *Boletín anual No. 24 de calidad del agua de Guatemala.*

Anexo 5.7. **Aptitud de uso para consumo humano con previo tratamiento según ISQA**



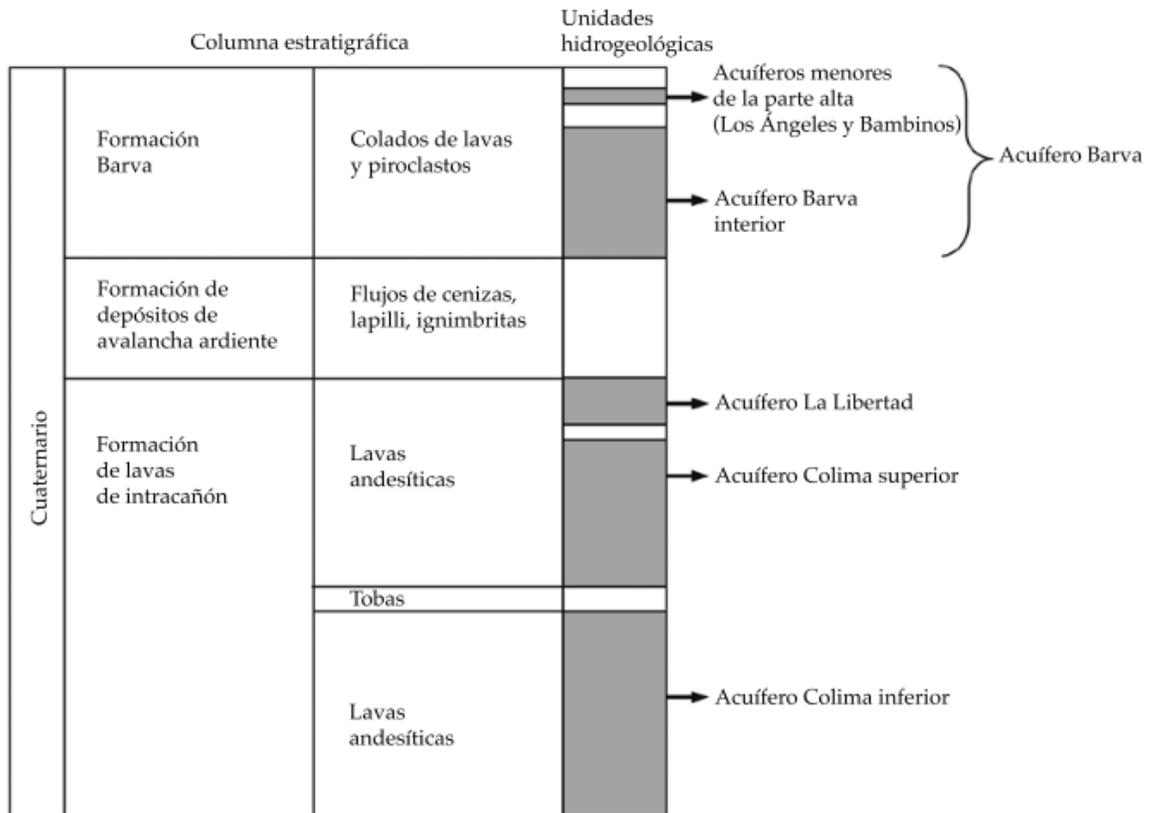
Fuente: INSIVUMEH. (2021). *Boletín anual No. 24 de calidad del agua de Guatemala.*

Anexo 5.8. **Diagrama de Piper para las aguas subterráneas de la zona estudiada en Costa Rica**



Fuente: Madrigal *et al.* (2017). *Caracterización hidrogeológica de los acuíferos volcánicos Barva y Colima en el valle central de Costa Rica.*

Anexo 5.9. **Columna geológica simplificada con las ubicaciones relativas de los miembros geológicos de la zona estudiada en Costa Rica**

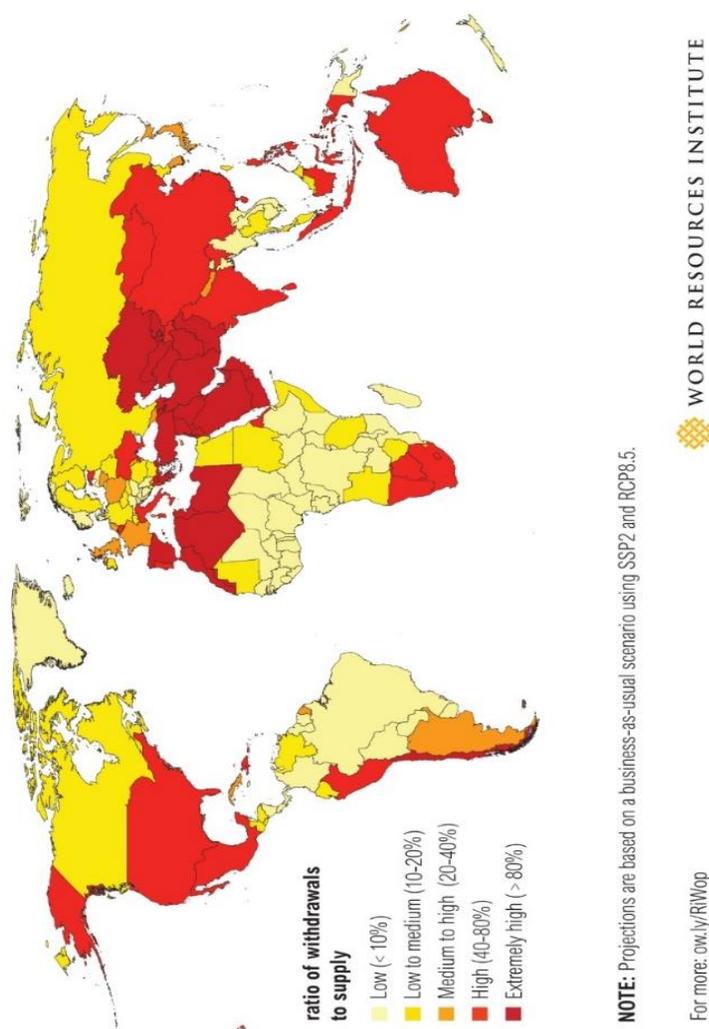


Fuente: Madrigal *et al.* (2017). *Caracterización hidrogeoquímica de los acuíferos volcánicos Barva y Colima en el valle central de Costa Rica.*

Anexo 6. Metodologías y gestión del recurso hídrico

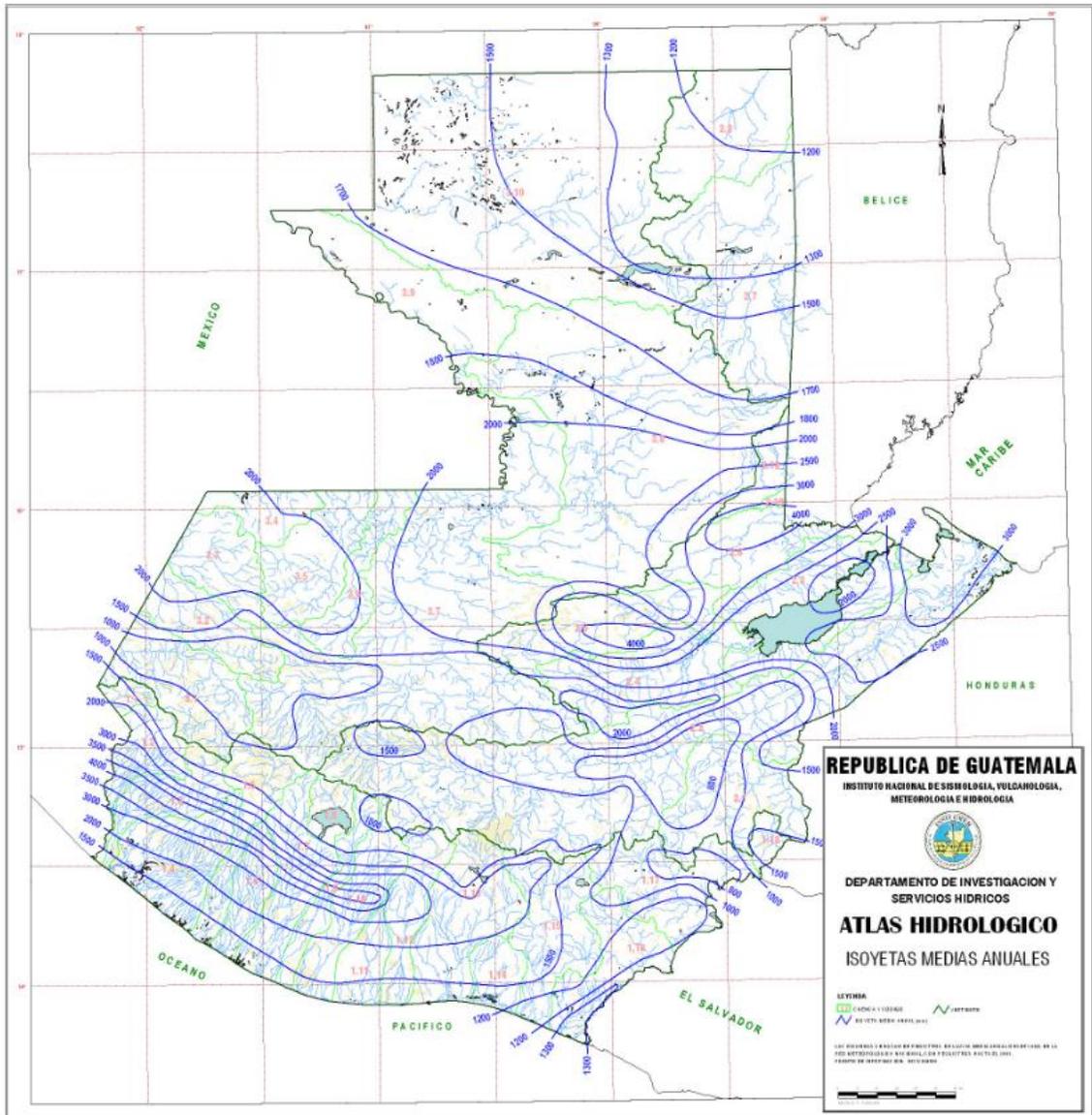
A continuación, se presentan metodologías e información para la gestión del recurso hídrico:

Anexo 6.1. Estrés hídrico por país para el año 2040



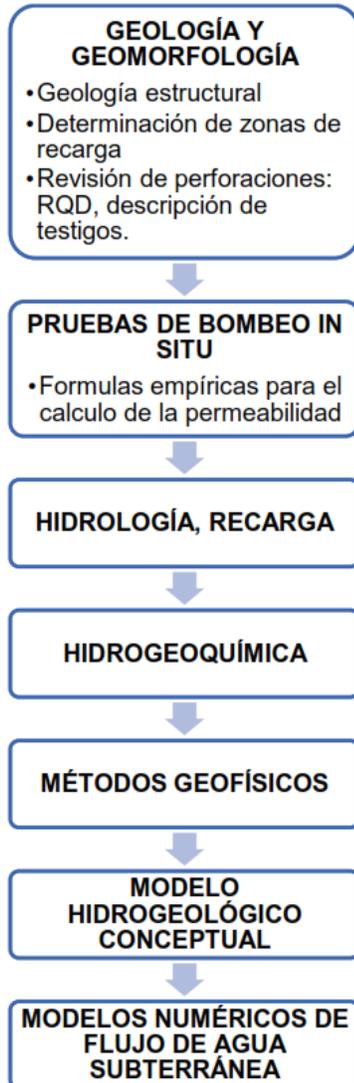
Fuente: Maddocks *et al.* (2015). *Clasificación de los países con mayor estrés hídrico del mundo en 2040*. Consultado el 15 de marzo de 2022. Recuperado de <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>.

Anexo 6.2. Atlas hidrológico de Guatemala – Isoyetas medias anuales



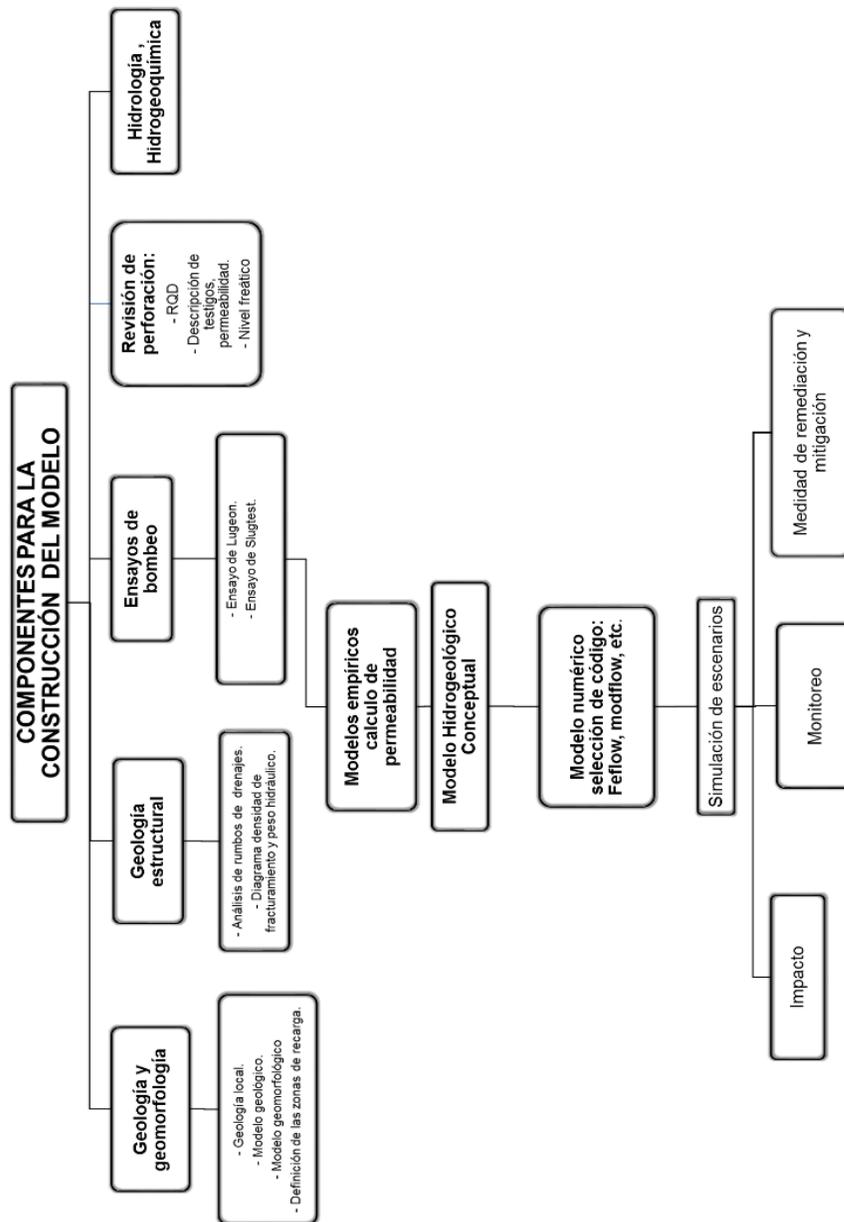
Fuente: INSIVUMEH. (2022). *Atlas hidrológico de Guatemala*. Consultado el 15 de junio de 2022. Recuperado de https://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Hidrologico/isojetas.jpg.

Anexo 6.3. **Metodología para la construcción de modelos hidrogeológicos en medios fracturados a partir de información escasa**



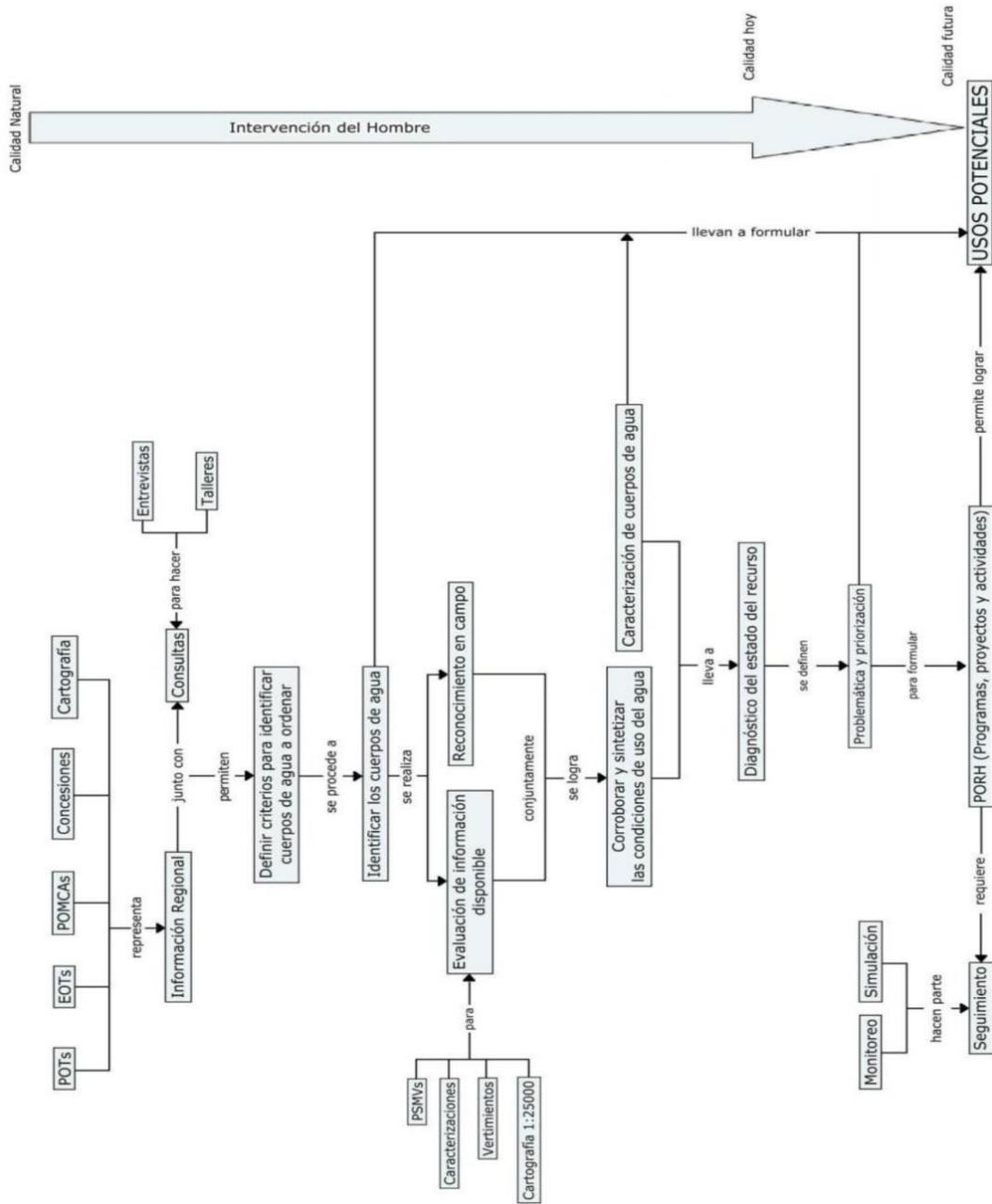
Fuente: Osorio. (2015). *Construcción de modelos hidrogeológicos en medios fracturados a partir de información escasa*. Consultado el 15 de enero de 2022. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54825/1128390968.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Anexo 6.4. **Metodología para la construcción de modelos hidrogeológicos conceptuales en medios fracturados**



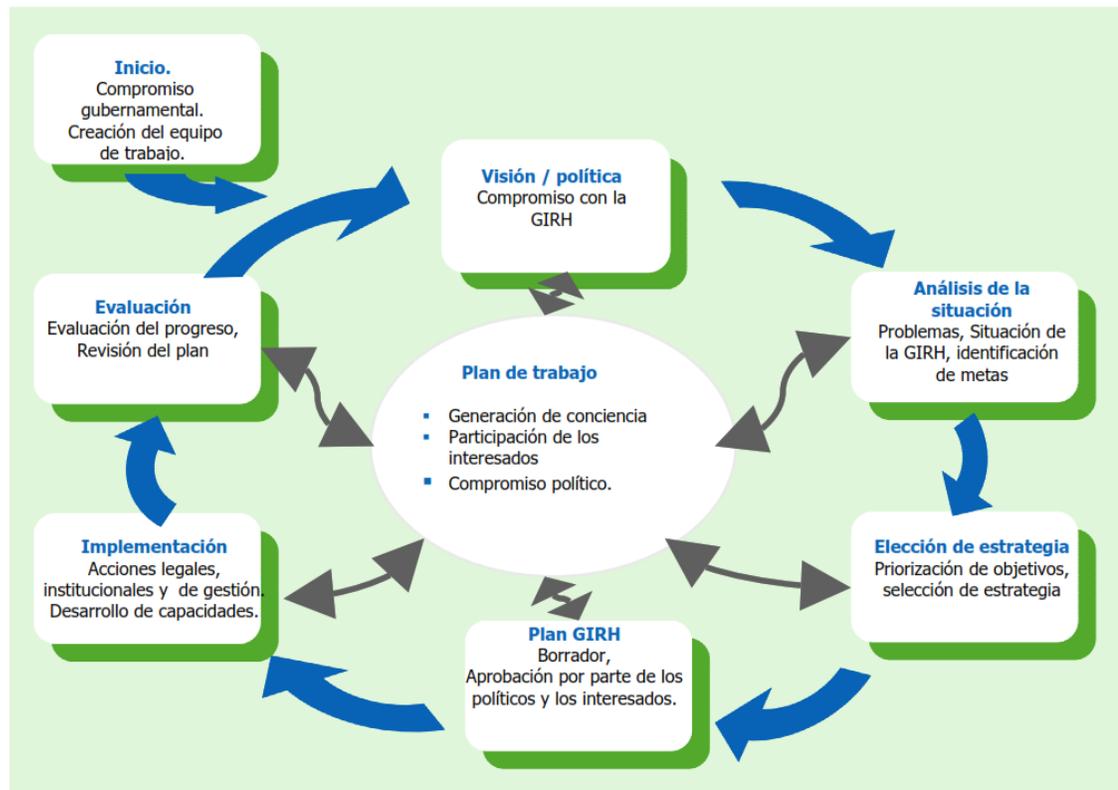
Fuente: Osorio. (2015). *Construcción de modelos hidrogeológicos en medios fracturados a partir de información escasa*. Consultado el 15 de enero de 2022. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54825/1128390968.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Anexo 6.5. **Esquema metodológico para la realización de un Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH)**



Fuente: Vargas et al. (2011). *Una metodología para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico.*

Anexo 6.6. **Esquema metodológico para la realización de un Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH)**



Fuente: GWP. (2005). *Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)*. Consultado el 17 de mayo de 2022. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/manual-planes-girh.pdf

Anexo 6.7. **Instituciones vinculadas a la gobernabilidad de agua en la región metropolitana de Guatemala (01/03)**

Institución	Funciones
<p>INSIVUMEH Instituto Nacional de Vulcanología, Meteorología e Hidrología</p>	<p>Desarrolla estudios básicos e hidrológicos de cuencas, modelaje de caudales y prevención de inundaciones, calidad de agua, monitoreo de ríos del país. Posee una base de datos meteorológicos e hidrológicos del país. Se encarga del control y medición de parámetros climáticos e hidrológicos de las cuencas hidrográficas del país y todos los eventos geológicos que ocurren a escala nacional. Actualmente se necesita fortalecer la institución para ampliar el programa de registro en casi toda la red nacional e implementar sistemas de control en otros.</p>
<p>CONRED Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.</p>	<p>Desarrolla esfuerzos para introducir el componente de prevención al nivel de cuencas hidrográficas, a pesar de que en un alto nivel sus acciones son mitigadoras o de reconstrucción rehabilitación en zonas de desastres. Implementó el sistema de alerta temprana para la Cuenca María Linda.</p>
<p>Ministerio de Salud Pública</p>	<p>Desarrolla esfuerzos para garantizar la calidad del agua para consumo humano, dan capacitación e insumos para que la población tenga agua apta para consumo.</p>
<p>Instituto de Fomento Social</p>	<p>Autónomo y descentralizado. Fue creado para apoyar el desarrollo económico-social de las municipalidades del país. Estas unidades únicamente se encargan de los estudios básicos de las fuentes de agua, detectan necesidades de dotación de agua de la población y asesoran la construcción de los proyectos de captación, conducción y distribución.</p>
<p>Municipalidades</p>	<p>Autónomas. Las Corporaciones Municipales coordinan sus funciones con el Consejo de Desarrollo Urbano y Rural que integra a todas instituciones estatales y no gubernamentales que operan dentro del Municipio. Aguas servidas, desechos sólidos, saneamiento. Las municipalidades tienen potestad de prestar y administrar los servicios públicos (agua potable, aguas servidas, electricidad, y otros) y le da competencia para establecerlos, mantenerlos, mejorarlos y regularlos.</p> <p>Bajo este principio, casi todas las municipalidades administran el abastecimiento de agua potable a su población y también se tienen ejemplos de injerencia municipal en el servicio eléctrico desde la generación hasta la distribución con el cobro de tarifas.</p> <p>Ejemplos de éstas son las Empresas Eléctricas Municipales de Zunil I y II en Quetzaltenango, Puerto Barrios en Izabal y La Castalia en San Marcos. Estos últimos desarrollan acciones de manejo de la microcuenca con el apoyo de NRECA (Programa de Apoyo para la Electrificación Rural de Centro América).</p>

Fuente: FUNCAGUA. (2018). *Plan de conservación del agua*. Consultado el 9 de abril de 2022. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/2020/04/27/2018-plan-de-conservacion-del-agua-para-la-region-metropolitana-de-guatemala-funcagua/>.

Anexo 6.8. **Instituciones vinculadas a la gobernabilidad de agua en la región metropolitana de Guatemala (02/03)**

Institución	Funciones
<p>MAGA Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación</p>	<p>Ministerio de Gobierno, rige la producción agrícola, pecuaria, hidrobiológica y el control Fito zoosanitario. Responsable de la Política, régimen jurídico, autorizaciones de uso y aprovechamiento. Debe coordinar con el MARN el ordenamiento territorial y de administración de tierras nacionales y con otras instituciones la educación agropecuaria ambientalmente compatible, política de comercio exterior agropecuario y de hidrobiológicos y Desarrollar mecanismos y procedimientos que contribuyan a la seguridad alimentaria del país.</p>
<p>MARN Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales</p>	<p>Desarrolla el Sistema Nacional de Evaluación Ambiental (Estudios de impacto ambiental, monitoreo ambiental, auditorías ambientales y riesgo ambiental), como instrumento para el ordenamiento ecológico y ambiental del país. La ley del Organismo Ejecutivo le faculta para formular la política de conservación, protección y mejoramiento de los recursos naturales, la política para el manejo del agua en materia de contaminación y la de manejo de cuencas.</p>
<p>AMSA Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (Decreto 64-96 del Congreso de la República y Acuerdo Gubernativo 186-99).</p>	<p>Depende directamente de la Presidencia de la República. Integrada por: CONAP, CONAMA (actualmente MARN), INGUAT; MAGA; ONG, conservacionistas, Gobernación Departamental, Procuraduría del Medio Ambiente, ANAM y un representante de las comunidades asentadas en la cuenca. Su fin es planificar, coordinar y ejecutar todas las medidas y acciones del sector público y privado que sean necesarias para recuperar el ecosistema de la cuenca y mejorar la calidad de vida de las poblaciones.</p>
<p>Mancomunidad Gran Ciudad del Sur</p>	<p>Creada según estructura constitución No. 36 de fecha 02 de agosto de 2012, inscrita en el registro de personas jurídicas del Ministerio de Gobernación. La conforman seis municipios del Sur del Departamento de Guatemala: Amatitlán, Ciudad de Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva. Es una entidad autónoma, de carácter no lucrativa y de naturaleza esencialmente solidaria, apolítica, subsidiaria, gremial en el ámbito municipal, que busca contribuir a dar solución a problemas de las Municipalidades afiliadas a través de suministrarles servicios profesionales y técnicos especializados en diversas materias.</p>

Fuente: FUNCAGUA. (2018). *Plan de conservación del agua. Consultado el 9 de abril de 2022. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/2020/04/27/2018-plan-de-conservacion-del-agua-para-la-region-metropolitana-de-guatemala-funcagua/>.*

Anexo 6.9. **Instituciones vinculadas a la gobernabilidad de agua en la región metropolitana de Guatemala (03/03)**

Institución	Funciones
INAB Instituto Nacional de Bosques	Regulador del manejo forestal sostenible orientado hacia un desarrollo forestal nacional. Enfoca sus políticas también a otros beneficios que genera el bosque como servicios ambientales en la protección del suelo, regulador de zonas de recarga hídrica y oferta de agua, biodiversidad y conservación del paisaje, entre otros y parte del ordenamiento de la cuenca hidrográfica.
SEGEPLAN Secretaría de Planificación y Programación	Todo proyecto de manejo de cuencas hidrográficas o iniciativas afines, deben ser avalados por esta institución para su gestión financiera y cooperación externa. El proceso también implica un análisis técnico, institucional, social y económico del proyecto.
URL Universidad Rafael Landívar	A través del IARNA, investigación técnico - científica, la capacitación y la transferencia de información en los ámbitos de la agricultura sostenible, el manejo de los recursos naturales y las condiciones ambientales.
USAC Universidad de San Carlos de Guatemala	A través de: La Dirección General de Investigación –DIGI-realiza investigación en recursos naturales, y específicamente en el tema de recursos hídricos. ERIS Monitoreo continuo de calidad y disponibilidad del agua, conservación del recurso y recarga de agua subterránea en diferentes cuencas. FAUSAC Generación de información básica para el manejo de los recursos naturales renovables en cuencas hidrográficas.
UVG Universidad del Valle de Guatemala	Estudio de recarga hídrica
Fundación solar	Políticas y legislación en tema hídrico y energía.
CONCYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	A solicitud de los centros de investigación pueden financiar investigaciones relacionadas al tema.
EMPAGUA Empresa Municipal de Agua para la Ciudad de Guatemala	Estudios y monitoreo de agua subterránea, control de calidad y cantidad de agua para la Ciudad de Guatemala y áreas aledañas.

Fuente: FUNCAGUA. (2018). *Plan de conservación del agua*. Consultado el 9 de abril de 2022. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/2020/04/27/2018-plan-de-conservacion-del-agua-para-la-region-metropolitana-de-guatemala-funcagua/>.

Anexo 6.10. **Identificación de actores y socios estratégicos (01/02)**

SECTOR GOBIERNO	
Autoridades de Cuenca	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Lago de Atilán y su entorno, AMSCLAE
	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán, AMSA
	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y del Río Dulce, AMASURLI
	Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá, AMPI
Gobierno Central (Organismo Ejecutivo)	Presidencia de la República
	Vicepresidencia de la República
Secretarías	Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP
	Secretaría de Asuntos Agrarios, SAA
	Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia, SCEP
	Secretaría de Obras Sociales de la Esposa del Presidente, SOSEP
	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, SEGEPLAN
	Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, (SESAN).
	Secretaría Presidencial de la Mujer, (SEPREM)
Ministerios	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA
	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, MARN
	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, MICIV
	Ministerio de Cultura y Deportes, MICUDE
	Ministerio de Desarrollo Social, MIDES
	Ministerio de Economía, MINECO
	Ministerio de Educación, MINEDUC
	Ministerio de Energía y Minas, MEM
	Ministerio de Finanzas Públicas, MINFIN
	Ministerio de Gobernación, MINGOB
	Ministerio de la Defensa Nacional, MDN
	Ministerio de Relaciones Exteriores, MINEX
	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, MSPAS
Institutos	Instituto Geográfico Nacional, IGN
	Instituto Guatemalteco de Turismo, INGUAT
	Instituto Nacional de Bosques, INAB
	Instituto Nacional de Estadística, INE
	Instituto Nacional de Fomento Municipal, INFOM
	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH
Comisiones	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYT
	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, CONRED
	La Comisión Presidencial coordinadora de la Política del Ejecutivo en materia de Derechos Humanos, COPREDEH
Gobierno Local	Municipalidades
Organismo Legislativo	Comisión extraordinaria de recursos hídricos
	Comisión de ambiente, ecología y recursos naturales
	Comisión extraordinaria de estudio y análisis del cambio climático
	Comisión de seguridad alimentaria
	Comisión de asuntos municipales
Organismo de Justicia	Ministerio Público, MP
	Procuraduría de Derechos Humanos, PDH
	Juzgados de Justicia
Programas de Estado	Fortaleciendo capacidades con el pueblo MAM para la gobernabilidad económica en agua y saneamiento (gobernabilidad del agua) (FAO, PUD, UNICIF, OPS, UNICEF, UNFPA)
	Mesa de Ambiente y Agua. (MARN y Vicepresidencia) Otros relacionados a la temática
	Programa de agua fuente de paz (MSPAS - INFOM)
	Programa de agua potable y saneamiento para el desarrollo humano (INFOM-BID)

Fuente: MARN. (2015). *Política Marco para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico en Guatemala.*

Anexo 6.11. **Identificación de actores y socios estratégicos (02/02)**

CENTROS ACADÉMICOS	
Públicas	Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA)
	Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)
Privadas	Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO)
	Universidad del Valle de Guatemala (UVG)
	Universidad Francisco Marroquín (UFM)
	Universidad Galileo
	Universidad Mariano Gálvez de Guatemala (UMG)
	Universidad Rafael Landívar (URL)
	Universidad Rural de Guatemala (URURAL), y otras universidades privadas
Institutos y Centros de Investigación	Centro de Estudios Conservacionistas (CECON-USAC).
	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA-URL)
	Instituto Nacional de Administración Pública (INAP)
	Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), y
	Otros institutos y centros de estudios ambientales y conservacionistas.
ACTORES RELEVANTES	
Actores Sociales relacionados con la gestión del recurso hídrico	Centro Guatemalteco de Producción más limpia, CGP+L
	Asociación Nacional del Café, ANACAFÉ
	El Comité Coordinador de Asociaciones Agrícolas, Comerciales, Industriales y Financieras, CACIF
	Organismos Internacionales de Cooperación
	Sectores relacionados con el Recurso Hídrico a nivel Nacional
	Asociaciones civiles, campesinas e indígenas
	Asociación Nacional de Municipalidades de Guatemala, ANAM
	Asociación Guatemalteca de alcaldes y autoridades Indígenas, AGAAI
	Organizaciones No Gubernamentales, ONGs vinculadas con el tema técnico científico
	Centro de Investigación Científica
	Pequeñas y medianas empresas, PYMES
	Asociaciones Comunitarias y de vecinos
	Fundación para el Desarrollo de Guatemala, FUNDESA, y,
	Otros aliados y actores sociales.

Fuente: MARN. (2015). *Política Marco para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico en Guatemala.*

Anexo 6.12. **Consumo máximo de agua en artefactos**

Artefacto	Consumo máximo
Lavamanos públicos	0,5 GPM / 1,9 LPM
Lavamanos residenciales	2,2 GPM / 8,3 LPM
Lavamanos de cierre automático (por botón o sensor)	0,95 LT/CICLO
Inodoros	1,9 GPF / 6 LPF
Duchas	2,5 GPM / 9,5 LPM
Lavaplatos residenciales	2,2 GPM / 8,3 LPM
Urinal-mingitorio	1 GPF / 3,8 LPF

Fuente: Acuerdo Número. COM-24-020. *Instalación obligatoria de artefactos ahorradores de recurso hídrico dentro de la ciudad de Guatemala.*

