



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos

**GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FINCA DE PRODUCCIÓN DE
SEMILLAS DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN**

Ing. Luis Rodolfo Castro García

Asesorado por el Ing. M.Sc. Julio Roberto Luna Aroche

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FINCA DE PRODUCCIÓN DE
SEMILLAS DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. LUIS RODOLFO CASTRO GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. M.Sc. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

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

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2021

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Wener Armando Ochoa Orozco
SECRETARIO	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:

GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FINCA DE PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN

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

Ing. Luis Rodolfo Castro García

DTG. 394.2021

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FINCA DE PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN**, presentado por el **Ingeniero Luis Rodolfo Castro García**, estudiante del programa de **Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, septiembre de 2021

AACE/cc



Guatemala, Septiembre 2021

EEPFI-1286-2021

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 y verificar la aprobación del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **"GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FINCA DE PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN"** presentado por el profesional **Luis Rodolfo Castro García** quien se identifica con carné **100021825** correspondiente al programa de **Maestría 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



Guatemala, Septiembre 2021

EEPFI-1287-2021

En mi calidad como asesor del profesional **Luis Rodolfo Castro García** quien se identifica con carné **100021825** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: "**GESTIÓN DEL RECURSOS HÍDRICO EN UNA FINCA DE PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN**" quien se encuentra en el programa de **Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Julio Roberto Luna Aroche
Asesor



Guatemala, Septiembre 2021

EPPFI-1285-2021

Como coordinador de la **Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FINCA DE PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN”** presentado por el profesional **Luis Rodolfo Castro García** quien se identifica con carné **100021825**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Julio Roberto Luna Aroche
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Todo se lo debo a Él.
Mis padres	Francisco Castro y Dilia García por su cariño y apoyo para alcanzar este triunfo.
Mis hermanos	Francisco, Digby, Marlon, Guisela, y Concepción Castro y Erika Espina por el apoyo y cariño.
Mis amigos	Por su amistad sincera y momentos que hemos compartido dentro y fuera de las aulas.
Mi asesor	Ing. Julio Luna, por su valiosa colaboración y conocimientos técnicos aportados en la realización de este trabajo.
	Y a la gloriosa y tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, mi <i>alma mater</i> .

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida, guiarme en el camino al éxito y porque de Él viene la sabiduría y el entendimiento.
Facultad de Ingeniería	Especialmente a la Escuela de Estudios de Postgrado y sus excelentes profesores que me han formado profesionalmente.
Programa Agua Futura	Por confiar en mi por medio de la beca de estudios en esta rama de la ciencia de la ingeniería.
Jardines Mil Flores	Por el apoyo e información brindada para la elaboración de este trabajo.
Mi revisor	Ing. Allan Cosillo, por sus consejos en la culminación de este trabajo.
Mi asesor	Ing. Julio Luna, por su tiempo y conocimientos compartidos en la elaboración de este trabajo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por formarme en la Ingeniería Química, Sanitaria e Hidrogeológica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS...	XV
OBJETIVOS	XVII
HIPÓTESIS.....	XVIII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Descripción de área de estudio.....	1
1.2. Microcuenca	3
1.3. Población.....	4
1.4. Abastecimiento de agua	6
1.5. Geología.....	7
1.5.1. Tectónica	7
1.5.2. Geología general.....	8
1.5.3. Geología local y estratigrafía.....	11
1.5.4. Suelos y geomorfología.....	14
1.6. Zonas de vida	16
1.7. Hidrogeología general	18
1.7.1. Climatología	18
1.7.2. Humedad relativa	19
1.7.3. Precipitación pluvial	21
1.7.4. Evapotranspiración	24

1.7.5.	Infiltración	26
1.7.6.	Escorrentía	26
1.7.7.	Área de recarga	27
1.8.	Hidrogeología regional y local	27
1.8.1.	Formaciones permeables e impermeables	31
1.8.2.	Características hidrogeológicas de los acuíferos	31
1.8.2.1.	Transmisividad.....	32
1.8.2.2.	Conductividad hidráulica	34
1.8.2.3.	Coeficiente de almacenamiento	34
1.8.3.	Unidades hidrogeológicas.....	35
1.8.3.1.	Red de flujo de agua subterránea	38
2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	41
2.1.	Normativa vigente aplicable	41
2.1.1.	Norma Técnica Guatemalteca de calidad de agua potable.....	41
2.1.2.	Reglamento de aguas residuales para Guatemala. ..	41
2.2.	Calidad del agua	42
2.2.1.	Agua de pozo	42
2.2.2.	Agua de reservorio	46
2.2.3.	Agua de oasis invernalero	48
2.2.4.	Agua para riego	52
2.2.5.	Descripción de la actividad generadora de aguas residuales	53
2.2.6.	Aguas residuales ordinarias.....	54
2.2.7.	Aguas residuales especiales	58
3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	61
3.1.	Estimación de la demanda actual y futura de agua	61

3.2.	Cuantificación del consumo de agua en la actividad productiva y otras actividades	63
3.3.	Estrés hídrico por parte del usuario	65
3.4.	Disponibilidad y escases hídrica.....	67
3.5.	Reputación y permisos del agua.....	69
3.6.	Balance hidrológico	70
	3.6.1. Precipitación	71
	3.6.2. Agua de pozos.....	72
	3.6.3. Aguas residuales	72
	3.6.4. Escorrentía	73
	3.6.5. Infiltración	73
	3.6.6. Reservorio	74
	3.6.7. Evapotranspiración	74
	3.6.8. Balance.....	74
3.7.	Relaciones hídricas de sostenibilidad	74
	3.7.1. Pérdidas indeterminadas	75
	3.7.2. Recarga hídrica.....	75
3.8.	Índice de sostenibilidad del recurso hídrico	76
4.	PLAN DE GESTIÓN PARA MEJOR APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO	81
4.1.	Minimización del consumo	81
4.2.	Reúso del agua	83
4.3.	Amenazas externas.....	85
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES.....	89

REFERENCIAS..... 91

ANEXOS 97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Flujograma proceso de abastecimiento de agua potable.....	XXI
2.	Puntos de descarga de aguas residuales	XXII
3.	Localización del proyecto	3
4.	Microcuenca del área de estudio.....	4
5.	Distribución de áreas en la finca de producción de semillas.....	5
6.	Mapa tectónico de Guatemala.....	7
7.	Mapa geológico del departamento Guatemala	10
8.	Geología local.....	12
9.	Perfil perforación pozos.....	13
10.	Zonas de vida.....	17
11.	Ciclo anual de temperatura	19
12.	Humedad relativa promedio anual	20
13.	Promedio de número de días con lluvia al año.....	22
14.	Lluvia máxima diaria período de retorno 10 años (mm)	22
15.	Precipitación media período de retorno 10 años (mm/h).....	23
16.	Ciclo anual de precipitación	23
17.	Evapotranspiración potencial promedio anual (mm/año).....	24
18.	Suelos alta permeabilidad en excavación 4 m para la PTAR	26
19.	Cuencas hidrográficas departamento de Guatemala.	29
20.	Unidades hidrogeológicas cuenca sur ciudad de Guatemala	36
21.	Perfiles hidrogeológicos cuenca sur ciudad de Guatemala	37
22.	Red de flujo agua subterránea cuenca sur ciudad de Guatemala	39
23.	Flujograma actividad generadora de las aguas residuales.....	53
24.	Cuantificación del consumo de agua por área.	65
25.	Escalas de estrés hídrico.	66

TABLAS

I. Metodología demanda de agua (m ³).....	XIX
II. Metodología consumo mensual de agua (m ³) por usos.....	XX
III. Metodología de análisis de laboratorio.....	XXIV
IV. Modelo del índice de sostenibilidad del recurso hídrico.....	XXVII
V. Características de los afluentes (pozos) en la finca.	6
VI. Ciclo anual de humedad relativa	20
VII. Cálculo de evapotranspiración potencial.	25
VIII. Caracterización agua pozo No. 1	44
IX. Caracterización agua pozo No. 2	45
X. Caracterización agua reservorio.....	47
XI. Caracterización del agua de la oficina Administración.....	49
XII. Caracterización del agua de la cafetería 1	50
XIII. Caracterización del agua de la bodega de semillas	51
XIV. Caracterización del agua del depósito biológico	52
XV. Caracterización aguas residuales efluente PTAR No.1.....	55
XVI. Caracterización aguas residuales efluente PTAR No.2.....	56
XVII. Caracterización aguas residuales efluente PTAR No.3.....	57
XVIII. Caracterización aguas residuales efluente PTAR fisicoquímica.....	59
XIX. Bombeo mensual (m ³) durante primer semestre del 2015 a 2020	61
XX. Demanda de agua	62
XXI. Consumo mensual de agua (m ³) por usos en diferentes áreas.....	64
XXII. Evaluación del nivel de estrés	67
XXIII. Coeficiente de escorrentía	73
XXIV. Matriz de evaluación índice de sostenibilidad del recurso hídrico	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Caudal
C	Coefficiente de escorrentía
EVT	Evapotranspiración
Ha	Hectárea
I	Infiltración
m	Metro
N	Norte
W	Oeste
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
P	Precipitación
s	Segundo

GLOSARIO

Acuífero	Formación geológica que permite la circulación y almacenamiento del agua por sus poros y/o grietas.
Afluente	Volumen de agua que ingresa a un sistema por unidad de tiempo.
Aluvión	Sedimentos arrastrados por una corriente de agua, que quedan depositados en un terreno.
Caudal	Volumen de fluido que se desplaza en un tiempo determinado.
CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Coliformes fecales	Bacterias en forma de bastón encontradas en el intestino de seres humanos y animales de sangre caliente, indicadoras de contaminación fecal.
Cuenca	Territorio cuyas aguas fluyen hacia un único sistema de drenaje natural.

Demanda bioquímica de Oxígeno	Parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido para degradar la materia orgánica de una muestra líquida.
Desinfección	Proceso químico que elimina los microorganismos que pueden provocar infección en un cuerpo o un lugar.
Efluente	Volumen de agua que egresa de un sistema por unidad de tiempo.
Estratigrafía	Parte de la geología que estudia la disposición y las características de las rocas sedimentarias y los estratos.
Estrés hídrico	Situación en la que la demanda de agua es más alta que la cantidad de agua disponible para su consumo en un período de tiempo.
Evapotranspiración	Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración vegetal.
FAO	Food and Agriculture Organization.
Geomorfología	Rama de la geografía y geología que estudia las formas de la superficie terrestre y la formación de los relieves.

Hidrogeología	Rama de la geología que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado a su origen, circulación, interacción con los suelos, rocas, propiedades y captación.
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
ICC	Instituto de Cambio Climático
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INE	Instituto Nacional de Estadística
ISRHSA	Índice de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector Agrícola
INSIVUMEH	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
MAGA	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
NTG	Norma técnica guatemalteca

Planta de tratamiento	Conjunto de tratamientos físicos, químicos y biológicos para la eliminación de contaminantes de las aguas.
Potencial de hidrógeno	Medida de la acidez o alcalinidad de una disolución por medio de la concentración de iones hidronio presentes en determinada sustancia.
Recarga	Zona de una cuenca hidrográfica donde gran parte de las precipitaciones se infiltran desde el suelo hasta el acuífero.
SMWW	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
Sostenibilidad	Preservación y conservación de los recursos naturales satisfaciendo las necesidades actuales sin poner en riesgo las necesidades futuras.
Sustentabilidad	Que es compatible con los recursos naturales de los que dispone una sociedad.
WRI	World Resources Instituto

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa la sostenibilidad a través de la gestión del recurso hídrico en una finca de producción de semillas del municipio de Amatlán. Para ello se realiza la evaluar la calidad del agua extraída de los pozos y el agua residual descargada hacia al subsuelo, basado en la norma Coguanor NTG 29001 y el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 respectivamente.

Con el objeto de determinar la sustentabilidad del recurso, se realiza una descripción hidrogeológica de los 2 pozos mecánicos existentes, estimando la demanda actual y futura del suministro agua. Se calcula el nivel de estrés hídrico con base la demanda máxima reportada y la capacidad de los pozos durante el período 2015 – 2020. Se realiza una cuantificación del consumo de agua según su uso durante los meses del presente año 2020, dictaminar medidas para la minimización y mejor aprovechamiento.

Como parte de la investigación se realiza un balance hidrológico estimándose la precipitación por el método racional, calculando la escorrentía e infiltración en función al coeficiente de infiltración de las diferentes áreas de la finca y estimando la evapotranspiración.

Finalmente se realiza el cálculo del índice de sostenibilidad según la escala de evaluación ISRHA (índice de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola), en el cual se pondera el estado de cumplimiento de los indicadores relacionados con los factores biofísico, tecnológico, socioeconómico y político para la finca de producción de semillas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

- Problema

Se desconoce el estado de la sostenibilidad del recurso hídrico en una finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán.

- Formulación de preguntas orientadas al planteamiento:

- Principal:

¿Es sostenible el uso del recurso hídrico en la finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán considerando los factores biofísico, tecnológico, socioeconómico y político?

- Secundarias:

- ¿Cumple con la norma COGUANOR NTG 29001 y Acuerdo Gubernativo No? 236-2006 el agua potable extraída de los pozos y aguas residuales descargas al subsuelo respectivamente?

- ¿El uso del agua en la finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán es sustentable?

- ¿Cómo se comportan la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración en el área de la microcuenca donde se localiza la finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán?
- ¿En la finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán existe escasez y estrés hídrico?
- ¿Qué medidas deben implementarse para la mejorar la gestión del recurso hídrico en la finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán?

OBJETIVOS

General

Evaluar la situación actual de recurso hídrico y gestión para la sostenibilidad en una finca de producción de semillas del municipio de Amatitlán.

Específicos

- Evaluar la calidad del agua en una finca de producción de semillas del municipio de Amatitlán, durante los años 2019 a 2020.
- Evaluar la sustentabilidad de los usos que se tiene para el agua en una finca de producción de semillas del municipio de Amatitlán, durante el primer semestre 2015 a 2020.
- Calcular del balance hidrológico en el área donde se ubica la finca de producción de semillas del municipio de Amatitlán, las pérdidas indeterminadas durante los años 2019 a 2020.
- Determinar el índice de sostenibilidad del recurso hídrico del sector agrícola para una finca de producción de semillas del municipio de Amatitlán, durante los años 2019 a 2020.
- Proponer acciones para una adecuada gestión del recurso hídrico en una finca de producción de semillas del municipio de Amatitlán a partir del año 2020.

HIPÓTESIS

El índice de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola (ISRHSA) del año 2020 evaluado para la finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán es mayor que tres (>3) en la escala ISRHSA para los factores biofísico, tecnológico, socioeconómico y político, lo cual indica que se tiene una buena gestión en el uso del agua para la actividad productiva.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Metodología de campo

Se realizan visitas al sitio de estudio, recopilando datos de la demanda de consumo de agua según la siguiente tabla para el primer semestre de los años 2015 al 2020, utilizando la estadística para determinar los valores promedio. Se analizan únicamente los meses de enero a junio debido a que el estudio se desarrolla durante el primer semestre de 2020 en temporada alta de producción de la finca.

Tabla I. **Metodología demanda de agua (m³)**

AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO	m ³ /DÍA	GAL/DÍA
2015									
2016									
2017									
2018									
2019									
2020									

Fuente: elaboración propia.

Se toman los datos de consumo de agua (m³) en cada una de las áreas principales de la finca, tabulando los datos en la siguiente tabla en los meses de junio 2019 a mayo 2020, utilizando la estadística para determinar los valores promedio:

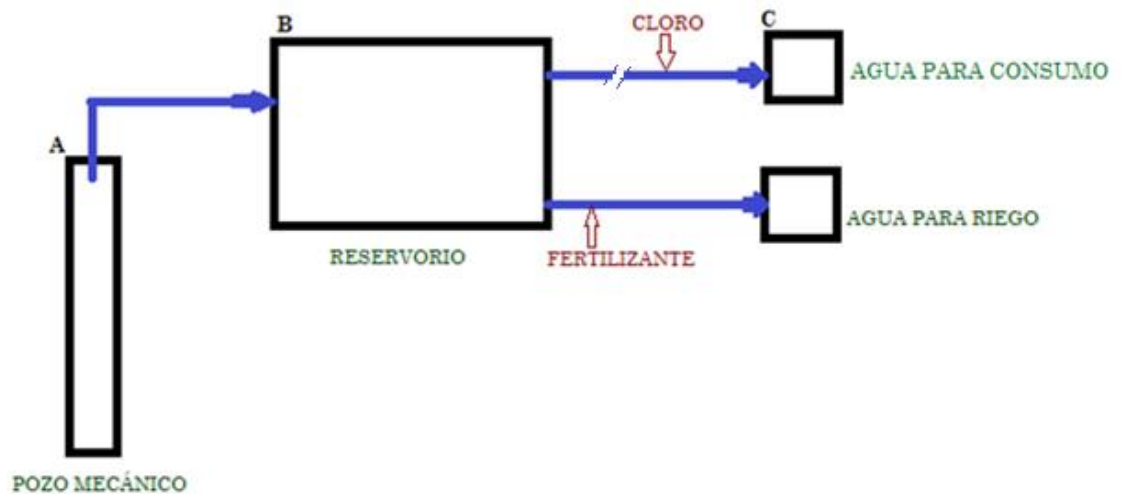
Tabla II. Metodología consumo mensual de agua (m3) por usos

MES	Total Pozo	Baños	Duchas	Calderas	Laboratorios	Administración	Lavandería	Proceso	Riego Producción	Riego Calles	Otros	Reservorio
jun-19												
jul-19												
ago-19												
sep-19												
oct-19												
nov-19												
dic-19												
ene-20												
feb-20												
mar-20												
abr-20												
may-20												
Total (m3)												
Promedio												
Porcentaje												

Fuente: elaboración propia.

Durante las visitas de campo se realiza la toma de muestras de agua potable por medio de un laboratorio externo, en los puntos A, B y C aleatoriamente, según el flujograma de la figura 1 para poder evaluar la variación de la calidad fisicoquímica y microbiológica desde la captación (pozo mecánico) almacenamiento (reservorio) y su filtración para ser apta para el consumo humano.

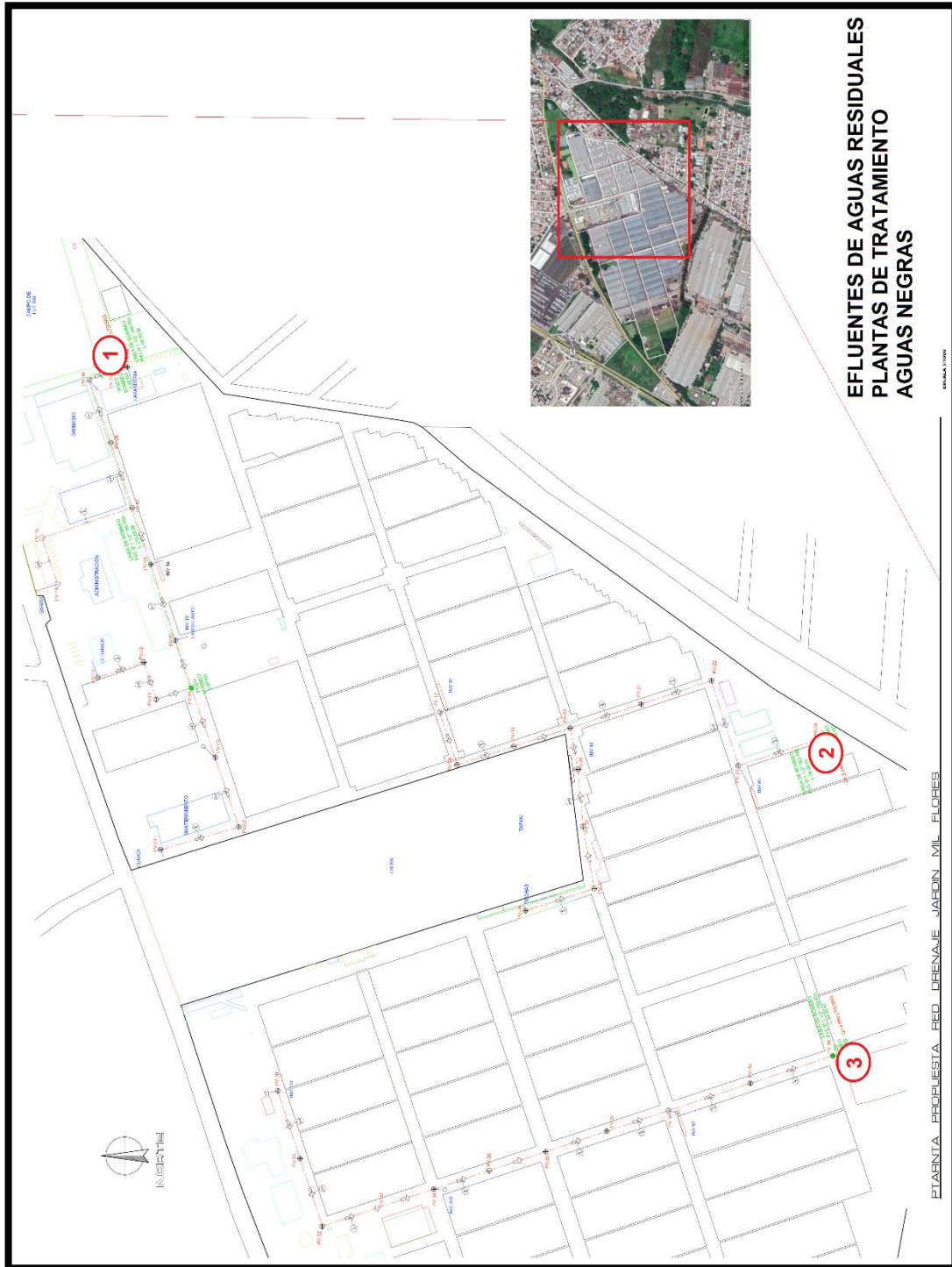
Figura 1. **Flujograma proceso de abastecimiento de agua potable**



Fuente: elaboración propia.

Las aguas residuales son también muestreadas por un laboratorio externo en los puntos de descarga a la salida de las plantas de tratamiento, haciendo un total de 3 puntos de descarga como se muestra en la figura 2; estos efluentes corresponden a las aguas de tipo ordinaria que han sido depuradas por tratamiento biológico de tipo aeróbico para cumplir con los parámetros de vertido hacia el subsuelo por medio de zanjas de infiltración considerados potenciales puntos de recarga.

Figura 2. Puntos de descarga de aguas residuales



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Metodología de laboratorio

Se realiza el análisis de agua potable por medio de un laboratorio externo, analizando los parámetros establecidos en la NORMA COGUANOR 29001, según el programa de análisis mínimo. Los análisis en esta etapa de control son: a. Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; b. Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro y manganeso totales (COGUANOR, 1999, p. 7).

De igual manera los análisis de aguas residuales, son determinados según los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 16: Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes: a) Temperatura, b) Potencial de hidrógeno, c) Grasas y aceites, d) Materia flotante, e) Sólidos suspendidos totales, f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius, g) Demanda química de oxígeno, h) Nitrógeno total, i) Fósforo total, j) Arsénico, k) Cadmio, l) Cianuro total, m) Cobre, n) Cromo hexavalente, o) Mercurio, p) Níquel, q) Plomo, r) Zinc, s) Color y t) Coliformes fecales.

Dicho laboratorio trabaja los análisis de acuerdo con la metodología estándar establecida en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), 22st Edition, 2012. En la tabla III se especifican las metodologías de cada tipo de muestra tanto microbiológico, fisicoquímico de agua potable y fisicoquímico de aguas residuales.

Tabla III. Metodología de análisis de laboratorio

TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCION ANÁLISIS	MÉTODOS	
Análisis Microbiológicos de Aguas	Coliformes totales	SMWW Standard Methods for the examination of water and wastewater 22th Edition 2012	
	<i>E. coli</i>		
	Cloro residual		
Análisis Físicoquímico de Agua	Temperatura	SMWW 2550 B, digital	
	Cloro residual	Rainbow test OTO1	
	Apariencia	Visual	
	Olor	Organoléptico	
	Color	Merck SQ 118 análogo a SMWW 2120B, DIN 53409	
	Turbiedad	Merck SQ 118 análogo a SMWW 2120C, EN ISO 7027	
	Conductividad	WTW LF 330 análogo a SMWW 2510B	
	pH	SMWW 4500 H+ B	
	Sólidos totales Disueltos	SMWW 2510 A, WTW LF 330	
	Calcio	Merck Aquamerck 11110	
	Dureza total	Hach 1453-00	
	Hierro total	Hach 8008	
	Magnesio	Merck Spectroquant 14770	
	Nitritos	Merck Spectroquant análogo a EPA 354.1 y SMWW 4500NO2- B	
	Nitratos	Hach 8039 espectrofotométrico	
	Cloruros	Merck Spectroquant análogo a EPA 325.1 y SMWW 4500 Cl- E	
	Sulfato	Merck Spectroquant 14815, 14815	
	Magnesio	Hach 1453-00	
	Análisis de Aguas Residuales del Acuerdo Gubernativo 236-2006	Temperatura	SMWW 2550 B digital
		Potencial de hidrógeno	SMWW 4500 H+ B
Grasas y aceites		SMWW 5220 B	
Materia flotante		Visual	
Sólidos suspendidos		SMWW 2540 D	
Demanda bioquímica de oxígeno 5 días		OXITOP-WTW análogo a SMWW 5210 D	
Demanda química de oxígeno		Merck SQ análogo a SMWW 5220	
Nitrógeno total		Merck SQ análogo a SMWW 4500 N-B	
Fósforo total		Merck SQ análogo a SMWW 4500 P-E	
Color aparente		Merck SQ análogo a SMWW 2120 C	
Sólidos sedimentables		SMWW 2540 F	
Arsénico		SMWW 3114 C	
Cadmio		SMWW 3111 B	
Cianuro		SMWW 3111 B	
Cobre		SMWW 3111 B	
Cromo hexavalente		Merck SQ 14552	
Mercurio		SMWW 3112 B	
Níquel		SMWW 3111 B	
Plomo		SMWW 3111 B	
Zinc		SMWW 3111 B	
Coliformes fecales		SMWW 9221 E	

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio externo.

Métodos estándar para la examinación del agua potable y las aguas residuales

Los procedimientos descritos en estas normas están diseñados para inspeccionar ampliamente la calidad del agua, incluida el agua que es adecuada para el suministro doméstico e industrial, agua superficial, agua subterránea y aguas residuales urbanas o industriales con o sin tratamiento químico. La unidad entre el alcance del control de calidad, el tratamiento y descarga de aguas residuales se refleja en la introducción del método de análisis para cada parámetro en todos los tipos de agua.

Los métodos de aplicación están descritos de la manera más general posible. Si se requieren métodos alternativos para muestras con diferentes composiciones, se elige la opción más adecuada que debe indicarse claramente tanto como sea viable. Sin embargo, las muestras que contienen concentraciones extremadamente altas o que presentan una composición anormal pueden causar dificultades o impedir el uso directo de estos métodos. Para ellos, es posible que ciertos procedimientos deban modificarse en determinadas circunstancias. Siempre que se modifique uno de estos procedimientos, el analista debe indicar claramente la naturaleza de la modificación en el informe de resultados.

La mayoría de los métodos tratados han sido refrendados por organismos de control. De hecho, las modificaciones de métodos realizados sin aprobación formal pueden resultar inaceptables para un organismo de este tipo. Un procedimiento estándar de funcionamiento para el procedimiento analítico describe el método con tal grado de detalle que un analista inexperto, incluso no familiarizado con el método, puede obtener resultados aceptables. El número de análisis requeridos y la incerteza en los resultados varía en función del tipo de método, de los tipos de la muestra y de la experiencia del analista.

El procedimiento descrito para evaluar la exactitud del análisis es particularmente aplicable a las muestras de agua que se han analizado completamente. Estos incluyen potencial de hidrógeno, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y los principales componentes catiónicos y aniónicos, que son indicadores de la calidad usual del agua.

Desde la recolección y toma de la muestra hasta la emisión del informe, asegurar la integridad de la muestra es de vital importancia. Esto significa que, desde la toma de la muestra hasta el análisis y la disposición final, se deben llevar a cabo los procedimientos de posesión y manipulación de la muestra. Para minimizar la volatilización o biodegradación entre el proceso de recolección y análisis, la muestra debe mantenerse a la temperatura más baja posible sin congelarse. Los métodos de almacenamiento se limitan a la refrigeración, el control del potencial de hidrógeno, la adición ácidos y bases, el uso de recipientes opacos o color ámbar y el filtrado (APHA, 1992, p. 103).

Metodología de gabinete

Se procede a la elaboración de una matriz de ponderación de indicadores relacionados con la sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola, abarcando los factores Biofísico: calidad del agua y oferta hídrica; tecnológico: sistema de tratamiento de agua, agua para riego, suministro de agua; socioeconómico: demanda de agua, personal de la finca; político: permisos y legislación vigente aplicable.


Los cálculos y parámetros recopilados son tabulados de acuerdo con el modelo de la tabla IV para el índice de sostenibilidad del recurso hídrico en el

sector Agrícola (ISRHA), que según su promedio ponderado podrá encontrarse entre un límite inferior de uno para una muy mala sostenibilidad, y un límite superior de cinco para una excelente sostenibilidad.

Tabla IV. **Modelo para indicador del Índice de sostenibilidad del recurso hídrico**

Base de datos de indicadores del ISRHA								
Índice de sostenibilidad de uso y manejo del recurso hídrico en el sector agrícola								
Componente	Factor de análisis	Tema de evaluación	Código	Nombre del indicador	Definición - descripción	Unidad de medición	Institución encargada	Indicadores relacionados
Presión Daño ambiental	Biofísico							
	Tecnológicos							
	Socioeconómico							
	Político e institucional							
Estado Servicio ambiental	Biofísico							
	Tecnológicos							
	Socioeconómico							
	Político e institucional							
Respuesta Reducción de problemáticas y fortalecimiento de potencialidades	Biofísico y tecnológico							
	Socioeconómico							
	Político e institucional							

Figura 3. Esquema general de la Base de datos Indicadores.
Fuente: elaborado por Loaiza 2011, 32.

Plan de monitoreo de los indicadores del ISRHA					
		Universidad del Valle			
		Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos – IREHISA Santiago de Cali			
Información general					
Nombre	Componente	Factor de Análisis	Tema de evaluación	Temporalidad del monitoreo	
Ph - Potencial de Hidrógeno	Estado	Biofísico	Calidad de agua	Semestral	
Monitoreo y Seguimiento					
Zona de estudio*	Línea base		Avance		
	Valor del indicador		Año	Valor	Año
Sector La Virgen	5		2009	5	2010
Unidad Aguas Calientes	5		2009	5	2010
Sector Centella	5		2009	5	2010
Datos básicos del Indicador					
Método para obtener datos			Tendencia espacial		
Campaña de aforos de calidad del agua y análisis microbiológico de laboratorio					
Puntos de medición					
Vertiente La Virgen: Bocatomas El Palmarcito, Las Brisas, El Palmar Vertiente Centella: Bocatomas Centella Alta y Villa Hermosa. Sistema de riego Finca El Brillante (Eduardo Díaz)					
Escala de evaluación en el ISRHA					
< 5 ó > 8,4 (Muy mala)		1			
5,1 - 6,4 ó 8,1 - 8,4 (Permisible)		3			
6,5 a 8 (Excelente)		5			

Fuente: Loaiza *et al.* (2011) *Base de datos del ISRHA*.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el aprovechamiento del agua y su gestión han sido un factor esencial para aumentar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es esencial para el aprovechamiento del potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos. Al incrementar la productividad, la gestión sostenible del agua, especialmente si va unida a una gestión adecuada del suelo, contribuye a asegurar una mejor producción tanto para el consumo directo como para el comercio, favoreciendo así la producción de los excedentes económicos necesarios para elevar las economías (FAO, 2002).

El agua es imprescindible para la vida y se deben poner todos los medios al alcance para protegerla y preservar su calidad. Dentro del sitio de estudio cuya actividad principal es la producción de semillas de plantas ornamentales para su exportación, se demuestra día a día el compromiso en este sentido a través de numerosos programas para concientizar, formar y suministrar a los agricultores y personal técnico los medios y conocimientos necesarios para realizar su trabajo de manera responsable con el agua.

En el presente estudio se determinará el índice de sostenibilidad del recurso hídrico en una finca de producción de semillas ubicada en el municipio de Amatitlán considerándose las características de los pozos existentes y el aprovechamiento actual que se tiene del agua dentro del sitio. La sostenibilidad es la rentabilidad a largo plazo, es la capacidad de existir en el futuro yendo

mucho más allá de proteger el agua, encontrando soluciones en cuatro ejes:
biofísico, tecnológico, socioeconómico y político.

1. ANTECEDENTES

1.1. Descripción de área de estudio

El sitio de estudio se localiza en el km. 28.5 carretera a El Pacífico, Cantón el Ingeniero, municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, como se muestra en la figura 3, encontrándose actualmente en fase de operación con un área total de 29.06 Ha. El proyecto cuenta con procesos registrados y estandarizados, iniciando su proceso operativo a través de las órdenes de producción desde la casa matriz ubicada en el extranjero, por lo que una vez se determina la cantidad asignada a Guatemala, se realiza la planificación de producción, y posteriormente se desarrolla el aprovechamiento de insumos, mano de obra, y se realizan los pronósticos de producción de semilla de flores para 6 meses de temporada alta.

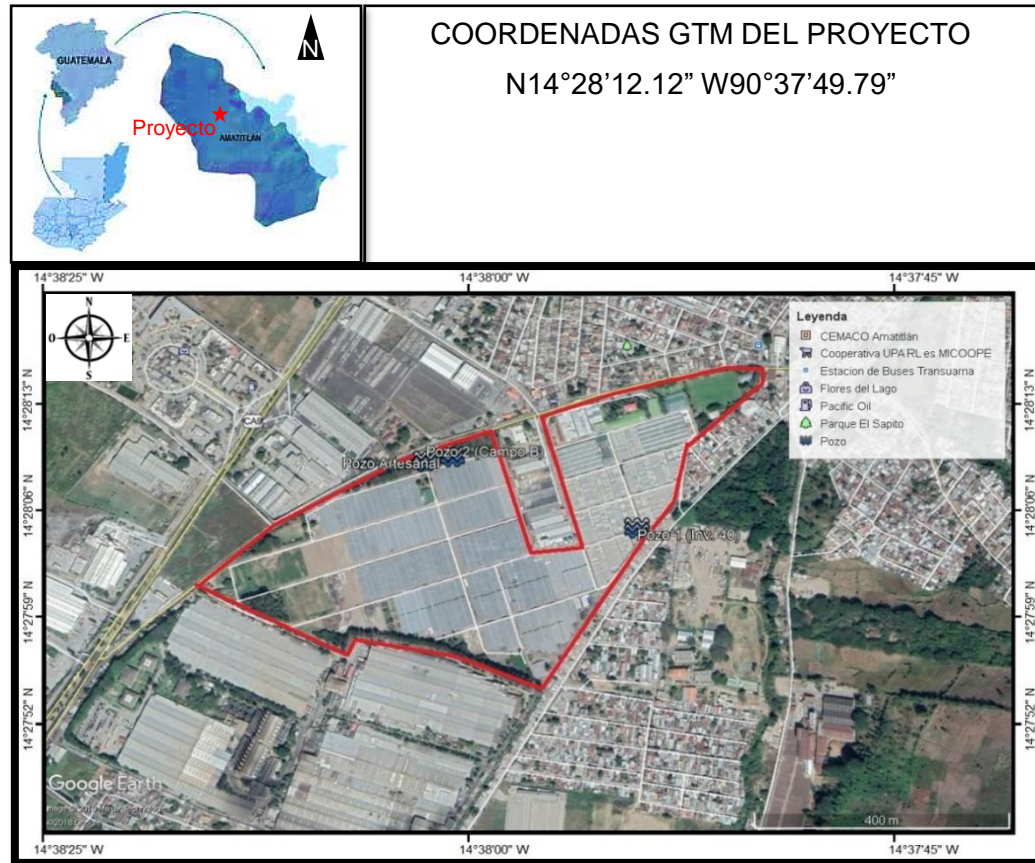
El proceso productivo inicia al asignarse las cantidades de especies y variedades a producirse de semillas de flores, para cumplir con el presupuesto de venta anual. Se asigna al proyecto su cuota y se inicia la planificación de las cantidades de invernaderos, insumos, mano de obra, propagación y un pronóstico de semilla como producto terminado a lograr. La planificación de siembra abarca dos tipos de siembra que pueden darse para cumplir la siguiente etapa de propagación, sin embargo, se planifica los tipos de especies y sus variedades ya que la mayoría manejan tiempos de cosecha y de vida distintos.

En los invernaderos de propagación es donde se realizan las etapas de siembra y trasplante de plántula en unas bases plásticas llamadas “bandejas”, seguidamente se llevan a cultivo. Se realiza el proceso de cultivo colocando a las

plantas en bancas respectivas de forma estandarizada. Todas cuentan con sistema de riego por goteo derivado de la acción del fertirriego, y actualmente se cuenta con una parte con un sistema de riego autocompresionado, para optimización del recurso agua. Se controlan las plagas y se realiza la producción y cosecha de semilla de flores, polinización y elección de plantas diferentes, etiquetado por lotes, emasculación de flores, polinización y cosecha.

En la etapa postcosecha se hace la recepción de semilla de flores en área de secado, clasificación, limpieza, pesado y almacenamiento en cuarto seco. Previo a ser exportadas, las semillas llevan un control de calidad en donde se evalúa la vigorosidad y porcentaje de germinación. Finalmente, se exportan las semillas a la Casa Matriz en donde son empacadas como producto terminado para su posterior distribución y venta. Se manejan las especies de aquenios lineares, glabros o hispídulos y vilano de escamas acuminadas y escamas romas.

Figura 3. Localización del proyecto

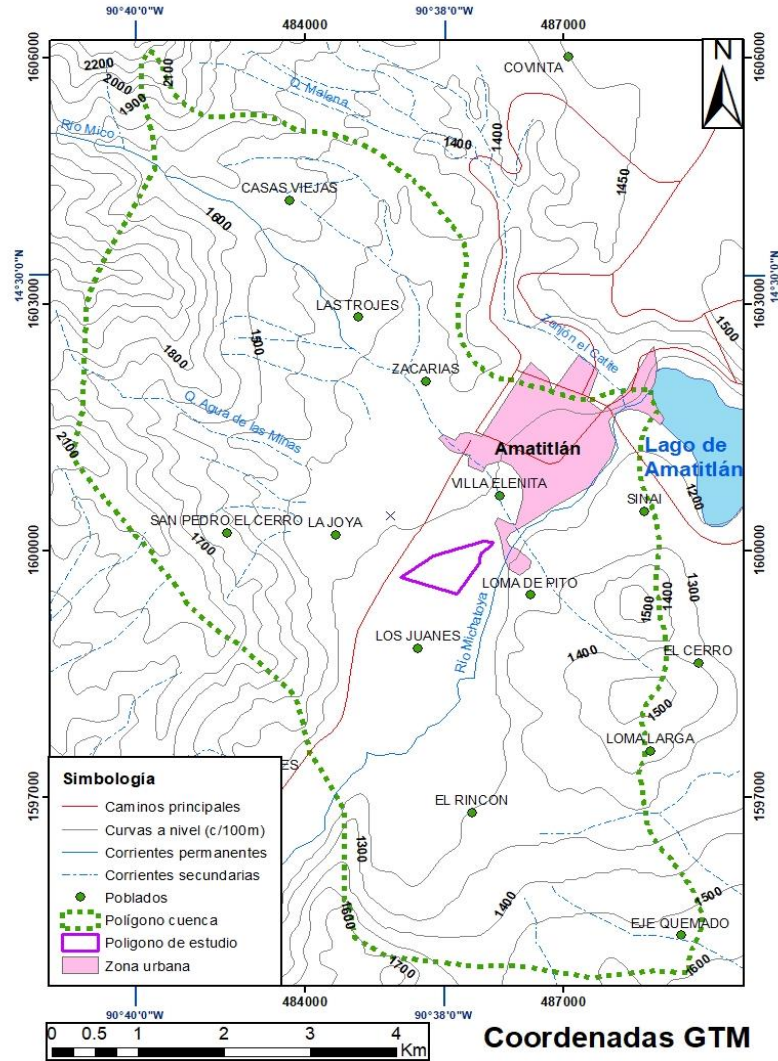


Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth.

1.2. Microcuenca

El área de estudio se ubica cercana al área urbana del municipio de Amatitlán en la microcuenca mostrada en la figura 4 que es parte de la subcuenca del río Mico, drenaje del río Michatoya, colindante al este con el lago de Amatitlán y el zanjón Malena. Se estima un área de 47.15 km² y una longitud perimetral de 33.74 km.

Figura 4. Microcuenca del área de estudio



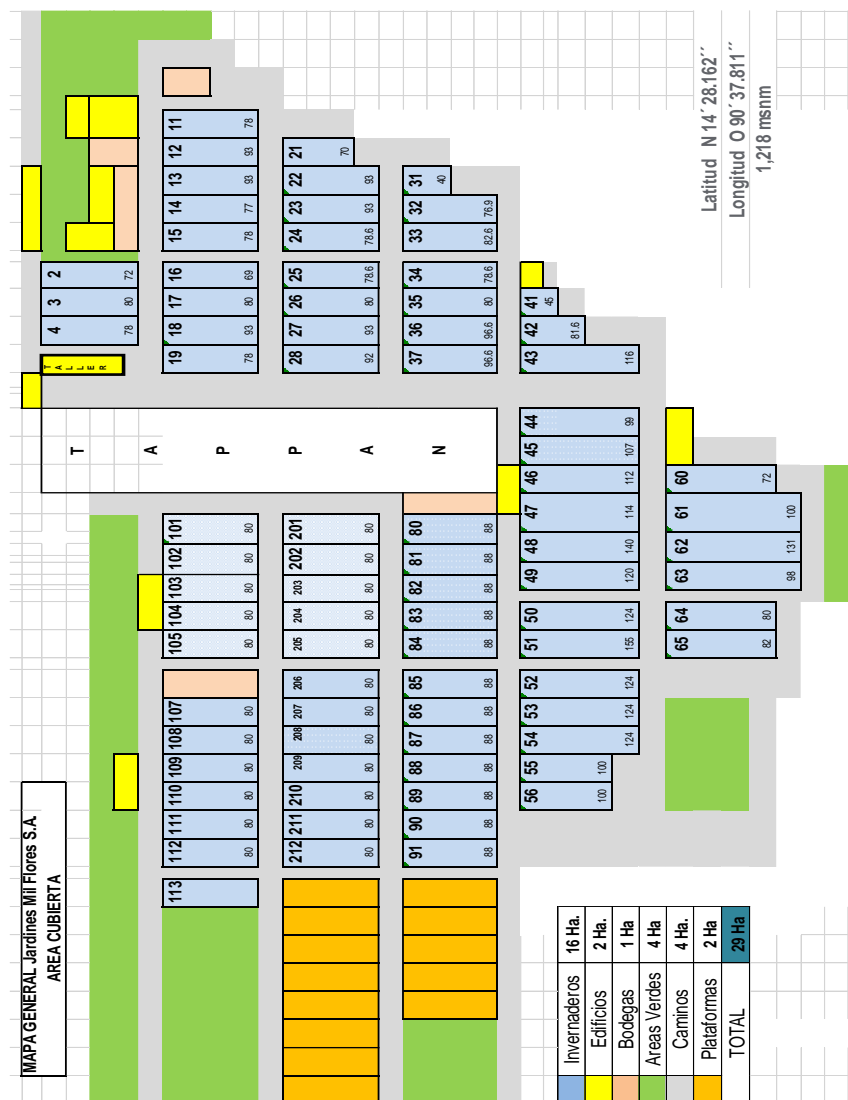
Fuente: elaboración propia, utilizando ArcGIS.

1.3. Población

El proyecto brinda un aproximado de 600 puestos de trabajo, en su mayoría, a los habitantes del municipio de Amatitlán y sus aldeas aledañas. El sitio de estudio cuenta con un área de 290,595.75 m² (29.06 Ha), incluyendo áreas de invernaderos, área de oficinas, área de bodegas, áreas recreativas, caminos

pavimentados y área libre. Cada invernadero cuenta con 1,500 m² con 80 bancas, donde se colocan 100 a 200 plantas por banca; actualmente se cuenta con 84 invernaderos distribuidos como se muestra en la figura 5, los caminos en su mayoría son de terracería y el área verde suman una porción importante en la finca desde el punto de vista de infiltración en el ciclo hidrológico.

Figura 5. **Distribución de áreas en la finca de producción de semillas**



Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

1.4. Abastecimiento de agua

La finca se ubica en un área de desarrollo de diversos usos, especialmente de tipo habitacional, industrial y agrícola, todas ellas con una gran demanda de abastecimiento de agua para consumo humano. El municipio de Amatlán tiene una población estimada de 110,566 habitantes, para el año 2012 de acuerdo con las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística. (INE, 2002, pág. 93). La mayor parte de sus habitantes del área alrededor del proyecto tienen como principal fuente de suministro de agua la perforación de pozos, tanto manuales como mecánicos.

El suministro de agua o fuente de abastecimiento dentro del sitio, son 2 pozos mecánicos y 1 pozo artesanal (para riego) con las siguientes características:

Tabla V. **Características de los afluentes (pozos) en la finca**

POZO	No.1 (Invernadero 40)	No.2 (Campo B)	Artesanal
Coordenadas	14°28'03.60"N, 90°37'49.60"W	14°28'7.90"N, 90°38'2.90"W	14°28'08.20"N, 90°38'01.20"W
m.s.n.m	1190	1197	1197
Profundidad	220 pies	220 pies	93.5 pies
Producción	550 gpm	275 gpm	25 gpm
Nivel estático	30 pies	44 pies	---
Nivel dinámico	38 pies	53 pies	---
Columna agua	62 pies	107 pies	---
Bomba	20 HP	20 HP	---
Diámetro	8 pulg	8 pulg	---
Fecha	1987	2017	---

Fuente: elaboración propia.

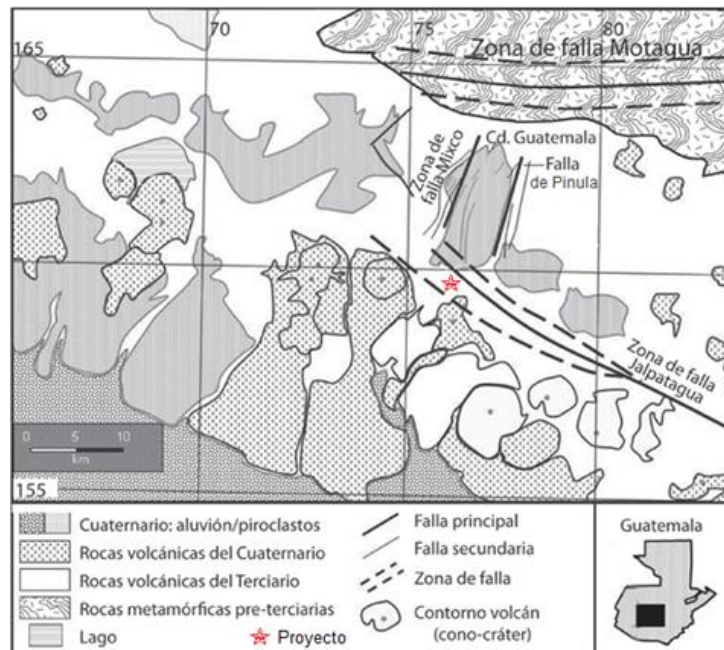
1.5. Geología

La geología del área del proyecto se describe en cuanto a su tectónica, estratigrafía y geomorfología de la siguiente manera:

1.5.1. Tectónica

El área del proyecto señalada en la figura 6, se encuentra en la zona correspondiente al extremo sur de la zona de falla y tectonismo de Mixco, que constituye el margen oeste del graben que formó el valle de Ciudad Guatemala y se extiende hasta Palín (Perez, 2009). De acuerdo con el mapa geológico la zona se encuentra inmersa dentro del sistema de fallas semicirculares correspondientes con depresiones morfológicas como consecuencia de eventos caldéricos.

Figura 6. **Mapa tectónico de Guatemala.**



Fuente: Bonis, (1993). *Mapa Geológico de Guatemala, Escala 1:250,000.*

1.5.2. Geología general

La geología global planteada para Centro América se basa fundamentalmente en la presencia de 3 placas importantes; específicamente para Guatemala la tectónica global se lleva a cabo en una zona de triple unión placas: la de América del Norte al Norte de Guatemala, la del mar Caribe hacia el Sur y de Cocos en el fondo oceánico del Océano Pacífico.

En la zona de límite de placas de Norteamérica y el Caribe se presentan grandes fallamientos conocidos como Chixoy – Polochic, Motagua, y Jocotán – Chamelecón y su movimiento predominante es de tipo sinistral ocasionando una zona de gran actividad sísmica. La parte Sur en donde se ubica la zona de subducción, por interacción entre las placas Caribe y Cocos, ocasiona en el continente una segmentación o escalonamiento de la cadena volcánica (Falla de Jalpatagua de dirección N45W) y fallamientos transversales con direcciones Noroeste y Noreste de tipo sinistral.

Las rocas de origen volcánico con datación al período Terciario se extienden entre la cadena volcánica del período Cuaternario y la montaña de Chuacús. Debido a la poca investigación geológica en esta región, Sapper, en 1937 (Weyl, 1980, pág. 98) consideró que el conocimiento del vulcanismo del período paleolítico Terciario de Guatemala es insuficiente. Por otra parte, Williams (Weyl, 1980, pág. 99) indica que dichos materiales geológicos se han formado gracias a erupciones por fisuras, además este tipo de fenómenos volcánicos también son característicos del período Terciario en Estados Unidos y México. Dengo (1978) señaló en su estudio sobre el marco estructural del Caribe que el fenómeno dentro de la placa aún debe resolverse, y lo más destacado es la formación geológica de la ciudad de Guatemala. El mapeo geológico existente 1: 250,000 de la figura 6 Bonis (1993) destaca las estructuras volcánicas cuaternarias,

incluidos los conos volcánicos, el área afectada por lavas y los productos en forma de abanico relacionados con la estructura de dichas rocas. En discordancia, las rocas del vulcanismo del período Terciario se presentan como extensas áreas en las que la estructura geológica de los materiales tiene una baja circunscripción o definición geológica.

En un estudio geológico reciente, se construyeron modelos de cuencas a partir de evidencia geológica y geomorfológica dispersa (Pérez, 2009), se encontró una pequeña unidad de sedimentos en el Sureste de Guatemala; estos sedimentos se depositaron por flujo de lavas, y escombros, llenando barrancos y depresiones existentes. Esta unidad se llama abanico lobular de Fraijanes, y está compuesta de tierra de grano fino (arcilla limosa), combinada con algunas partículas del tamaño de grava.

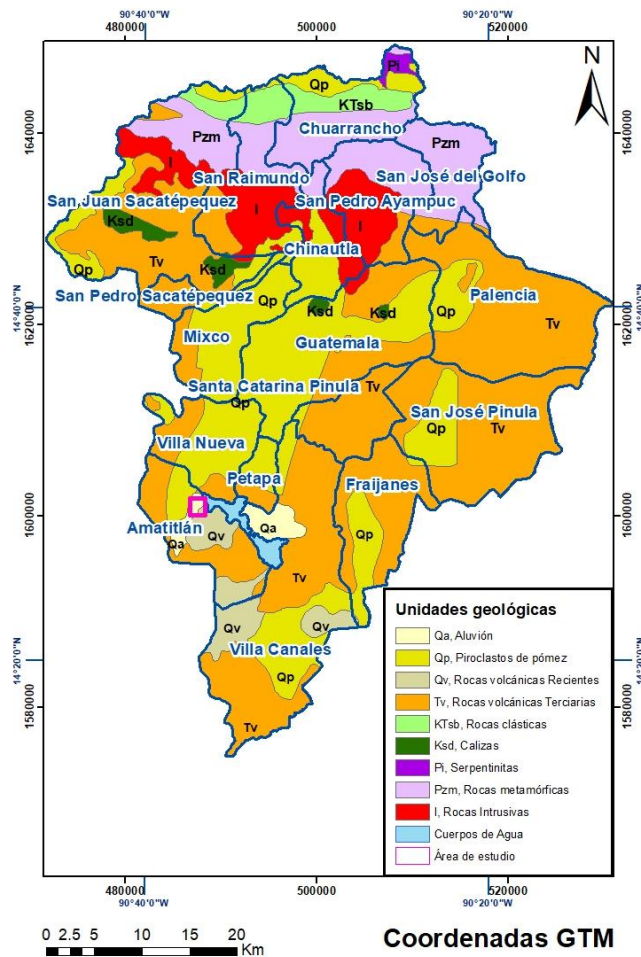
El área Centro-Oeste del departamento de Guatemala está caracterizada por rocas volcánicas con supremacía de piroclastos, almacenes pumíticos, basaltos y andesitas que conforman las tierras volcánicas parte mayoritaria de la cuenca que atraviesa el Río Michatoya y en la parte mayor altitud se intersecta el Río María Linda, 30 km en dirección Sur de la cabecera de Escuintla, siendo una parte de esta gran cuenca. Las formaciones preponderantes son rocas de origen recientes, mayoritariamente del período Cuaternario que muestran intensas actividades volcánicas y tectonismo particulares de las tierras de alto relieve volcánico de Centro América.

También afloran de forma subordinada rocas ígneas Terciarias principalmente granitos y granodioritas, así como sedimentos lacustres relacionados con la caldera de Amatitlán. Como aspectos más relevantes, a aproximadamente 2 km en dirección al Noreste del área de estudio se localiza el complejo reciente de domos de El Limón y La Mariposa y 8 km al Noroeste el

complejo de la montaña Carmona que parece ser un paleovolcán, 7 km en dirección al Sureste se encuentra el volcán de Pacaya; como se muestra en la figura 7 dentro del mapa geológico del departamento de Guatemala.

La caldera de Amatitlán, en cuya parte Oeste se encuentra el área de estudio, es una estructura de grandes dimensiones producto de la erupción y colapso del paleovolcán de Amatitlán y está constituido por rocas volcánicas Cuaternarias. Como consecuencia de las recientes actividades volcánicas del Pacaya y el desvío del cauce del Michatoya los suelos ha sido erosionados.

Figura 7. **Mapa geológico del departamento Guatemala**



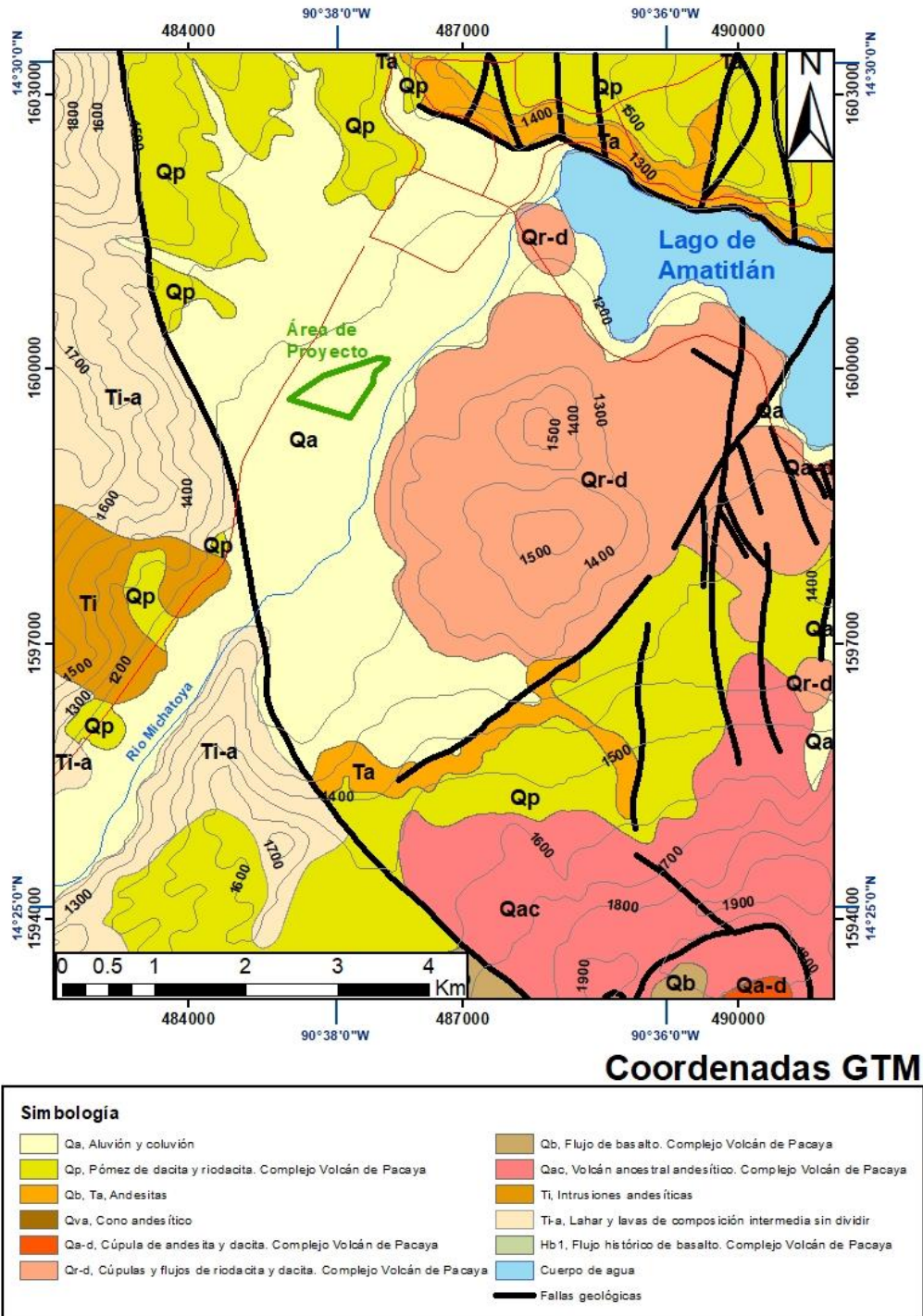
Fuente: MAGA, (2007). *Generalidades sobre las cuencas hidrográficas.*

1.5.3. Geología local y estratigrafía

El área de estudio (finca de producción de semillas) se encuentra ubicada en la zona volcánica de Guatemala, localmente se encuentran rocas de aluvión y coluvión que es material detrítico transportado y depositado por una corriente de agua. Se encuentra entre una zona de lahar e intrusiones andesíticas al oeste y una zona de cúpulas y flujos de riolacita al este, colindante con el lago de Amatitlán y el río Michatoya, como se muestra en la figura 8 dentro del área geológica local.

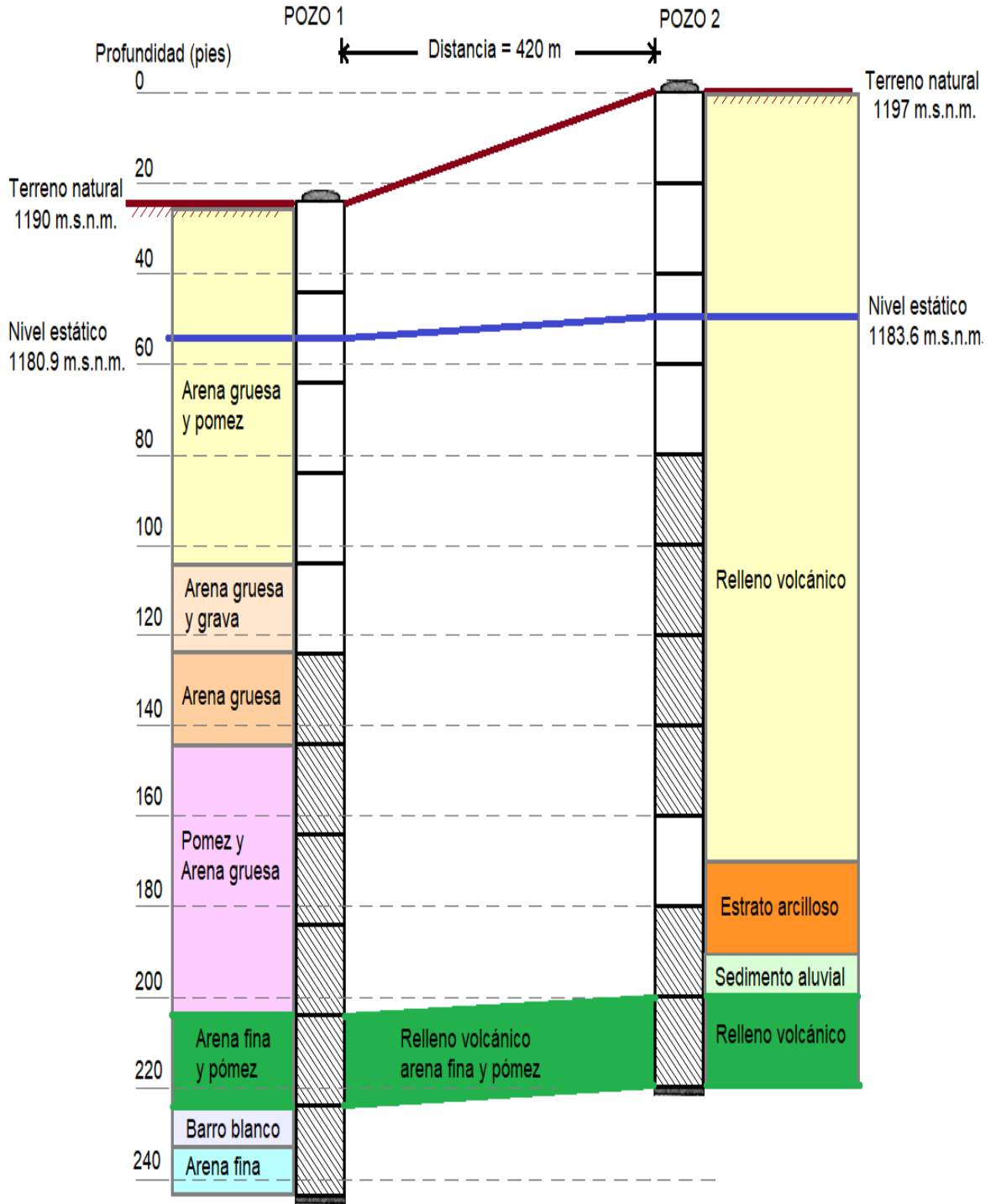
El perfil estratigráfico y detalles del entubado de los pozos 1 y pozo 2 construidos con el método de perforación rotativo en los años 1987 y 2017 respectivamente, se muestran en la figura 9. Ambos pozos separados por una distancia de 420 metros muestran litologías de arena gruesa de relleno volcánico hasta una profundidad de 180 pies, un estrato arcilloso de arena fina de los 180 a 200 pies y un estrato de sedimento aluvial de los 200 a 220 pies, donde se ubica el acuífero.

Figura 8. Geología local



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de IGN, (1969). *Mapa geológico Guatemala* esc. 1:50,000.

Figura 9. Perfil perforación pozos



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office.

1.5.4. Suelos y geomorfología

En las series de suelos, Simmons incluyó a los suelos de esta parte de Guatemala dentro de su clasificación de la siguiente manera:

- Suelos de la Altiplanicie Central: suelos profundos sobre materiales volcánicos a mediana altitud. Entre estos suelos encontramos los dos que representan el área de estudio:
 - Suelos Morán: profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica pomácea en clima húmedo seco. Ocupan relieves de ondulados a muy ondulados a altitudes medianas superiores en el sur central de Guatemala, están asociados con los suelos Fraijanes y Barberena, pero son más profundos y pesados, y se asemejan a los suelos Guatemala y Cauqué pero son más rojizos; originalmente estaban forestados.
 - Variaciones e Inclusiones: hasta dos metros de profundidad, horizonte superficial levantado en muchos lugares, con el subsuelo expuesto.
 - Uso y Recomendaciones: producción de maíz y potreros. Café en los lugares con elevación menor de los 1500 msnm.
 - Topografía y Geología: relieves de inclinados a ondulados, con pendientes de 5 a 15 %, desarrollados sobre ceniza volcánica pomácea.
 - Suelos Cauqué: profundos, bien drenados, desarrollados en clima húmedo-seco sobre ceniza volcánica pomácea firme y gruesa. Ocupan

relieves de ondulados a inclinados a altitudes de 1500 msnm sobre la meseta central de Guatemala.

- Variaciones e Inclusiones: en ciertos lugares hay ceniza volcánica intemperizada hasta los tres metros de profundidad, además de encontrarse áreas seriamente erosionadas, con la superficie correspondiendo a 3 o 4 capas.
- Uso y Recomendaciones: zona densamente poblada donde se cultiva frijol y maíz cada año resultado en erosiones graves y rendimientos bajos. Se producen frutas de clima templado, arvejas y otras verduras. Toda operación agrícola debe hacerse con curvas a nivel.
- Topografía: relieves ondulados a inclinados, en su mayoría con pendientes menores de 20 %, con algunas de ellas cultivadas. Elevación entre 1500 y 2100 msnm (Simmons, Tárano y Pinto, 1959).

La geomorfología local es una planicie ovalada, orientada en sentido Noroeste a Sureste, la parte angosta orientada en sentido Noreste a Suroeste. El espejo de agua del lago está a 1,188 msnm, siendo las paredes más altas las que se ubican al Norte, las que corresponden con el escarpe de la falla de Jalpatagua de aproximadamente 300 metros de altura. Mientras que al lado Sur se ubican la falda del volcán de Pacaya y algunos conos y domos volcánicos pequeños, como los cerros La Mariposa, Limón, Mal Paso, Chino, Chiquito y cerro Grande. En la parte Sur de la caldera de Amatlán, se ubica la laguna de Calderas que al parecer corresponde a un antiguo cráter, así como la depresión de El Durazno la que posiblemente fue una laguna. El principal sistema fluvial que entra al lago lo constituye el río Villalobos y sus afluentes que corren en sentido norte a sur, siendo el desagüe del lago el río Michatoya que se ubica en

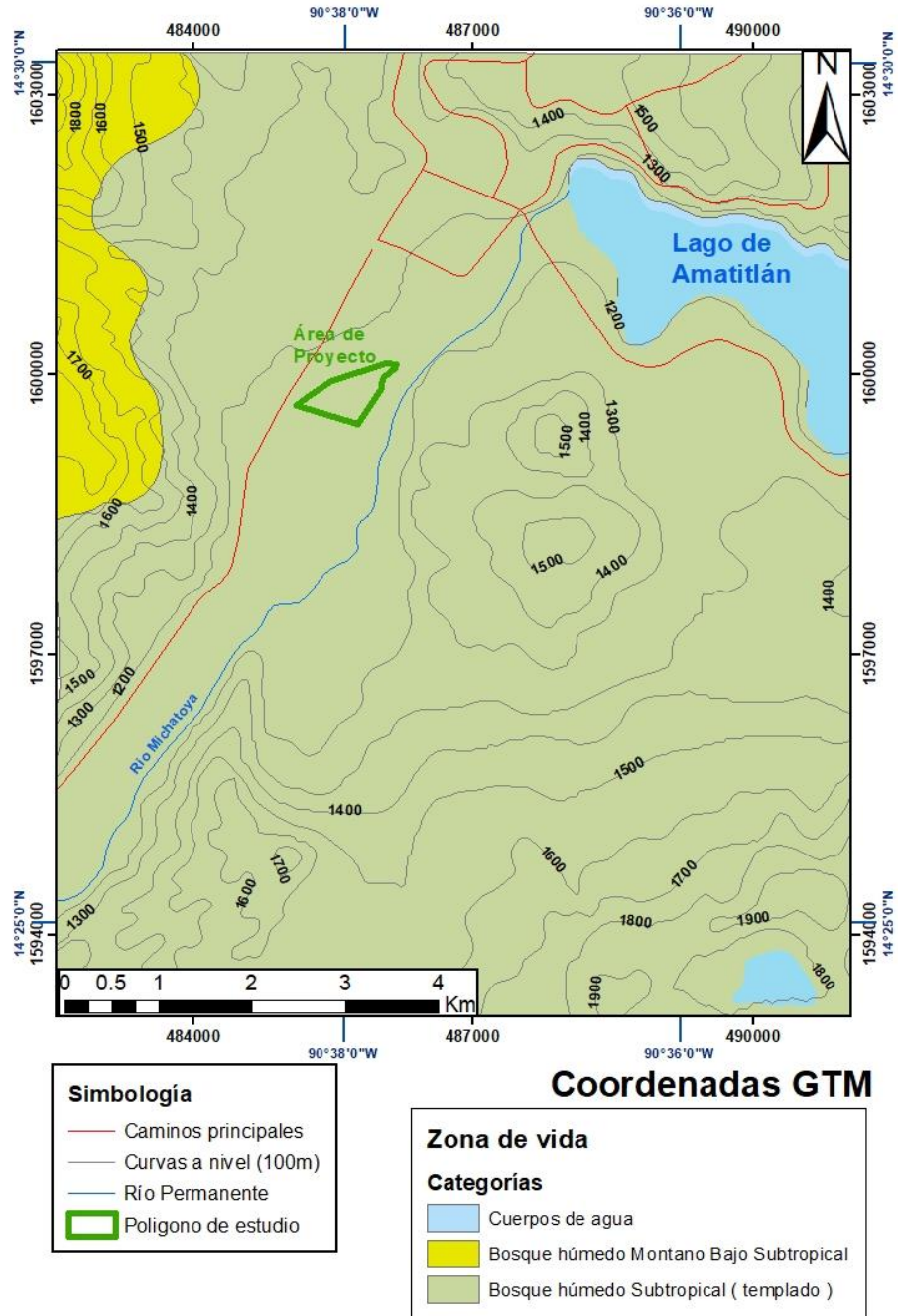
la parte Oeste. El patrón de drenaje es de tipo subparalelo a subdendrítico, el que está controlado por el sistema de fallas con orientación de Norte a Sur del graben del valle de la Asunción donde se encuentra asentada la Ciudad de Guatemala.

La caldera de Amatitlán es una estructura volcanotectónica originada al colapsamiento del bloque donde hoy se encuentra el lago de Amatitlán y el pequeño delta del río Villalobos, que en un tiempo estuvo cubierto por agua del lago, como lo atestiguan los sedimentos de diatomita. La alineación de la depresión está de acuerdo con el que sigue la falla de Jalpatagua en sentido Noroeste a Sureste. Posterior al colapsamiento, se dieron efusiones volcánicas de los pequeños conos volcánicos ubicados al Sur de la caldera. También se llevó a cabo una explosión que voló la parte sur de un volcán ancestral andesítico, donde ahora se ubica la laguna de Calderas (Alvarado y Herrera, 2001).

1.6. Zonas de vida

La finca de producción de semillas del municipio de Amatitlán, objeto del presente estudio, se encuentra dentro de la zona de vida denominada como bosque húmedo subtropical (templado), según el sistema Holdridge. Se caracteriza por las condiciones climáticas de períodos de lluvia frecuentes en los meses de mayo a noviembre, precipitaciones promedio total anual de 1100 a 1949 mm y biotemperaturas entre 20 y 26°C; su vegetación la constituye especies de *Pinus oocarpa*, *Curatella americana*, *Quercus sp.*, *Byrsonimia crassifolia*; su uso apropiado es netamente para manejo forestal. En la figura 10 se muestran las zonas de vida cercanas al área del proyecto.

Figura 10. Zonas de vida



Fuente: elaboración propia, utilizando ArcGIS

1.7. Hidrogeología general

La hidrogeología general del área del proyecto se describe en cuanto a su climatología y área de recarga de la siguiente manera.

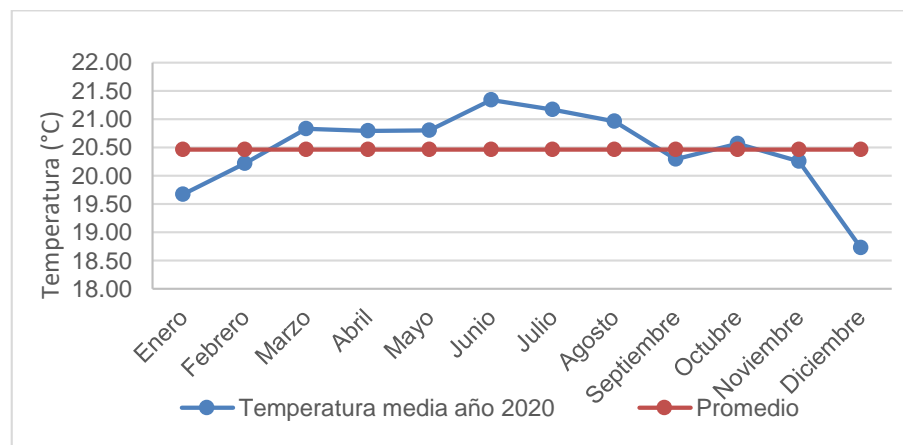
1.7.1. Climatología

La época seca ocurre del mes de noviembre a abril y la época de lluvias en los meses de mayo hasta el mes de octubre. La distribución del agua de lluvia es bimodal y se ve afectada por los cambios en la posición e intensidad de varios sistemas atmosféricos (como frentes fríos, ondas tropicales y sistemas ciclónicos). A partir del Este, los huracanes, las zonas tropicales convergentes, las presiones bajas y altas, los canales y crestas estacionales ocurren durante el clima cálido en julio y/o agosto, y la lluvia se reduce significativamente, con una duración estimada de 10 a 30 días. Del mismo modo, hay años de sequía afectados por El Niño. En abril, hay una transición de la sequía a la temporada de lluvias, y en noviembre, hay una transición inversa.

La zona se encuentra ubicada a una altura promedio de 1,190 msnm y goza de una temperatura templada semicálida, aunque, dependiendo de la época, el nivel de insolación y la consiguiente temperatura pueden aumentar. La temperatura media en la zona es de 24 °C. Las condiciones climatológicas son el conjunto de fenómenos meteorológicos o atmosféricos (temperatura, viento, humedad, lluvia), que caracterizan durante un largo período el estado medio de la atmósfera y su evolución en un lugar o región determinada. Dichas condiciones se ven influenciadas por la altitud sobre el nivel del mar, que para el municipio de Amatlán alcanza los 980 metros, por lo que el clima que predomina es templado.

La temperatura promedio anual que caracteriza al municipio es de 22.7 grados centígrados, con una mínima de 18 y una máxima de 32.1 grados centígrados. Los vientos que se desarrollan alcanzan una velocidad promedio de 1.6 kilómetros por hora con dirección noroeste a sudoeste y viceversa. Según datos del ciclo anual de temperatura de 2015 a 2020 de la estación Trinidad del Instituto de cambio climático (ICC) ubicada en cercanías de la finca en el municipio de Amatitlán, se muestran los datos en la figura 11, con un promedio de 21.5°C, un máximo de 21.3°C y un mínimo de 18.7 °C.

Figura 11. **Ciclo anual de temperatura**

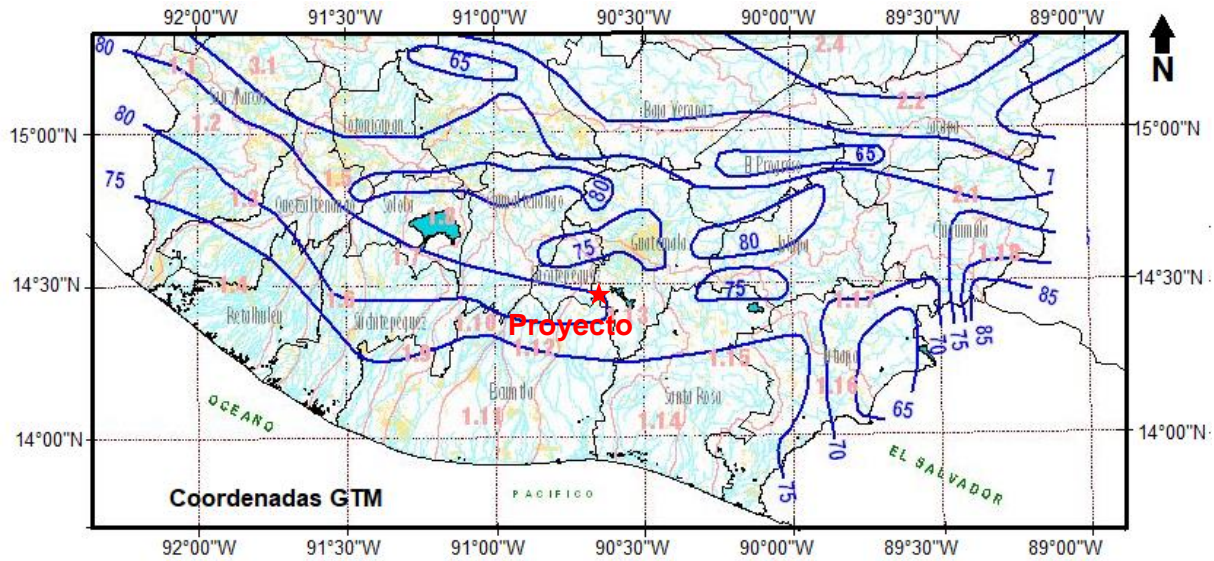


Fuente: elaboración propia.

1.7.2. Humedad relativa

Según el mapa del Atlas Hidrológico del Insivumeh de la figura 12, el área de estudio se ubica en la isohigra de 80 % de humedad relativa promedio anual, siendo una humedad mayor en comparación con la que envuelve la ciudad de Guatemala cuya isohigra es 75 %. Así mismo según datos del ciclo anual de 2015 a 2020 de la estación Trinidad del ICC ubicada en el municipio de Amatitlán, se reportan los datos de la tabla VI, con un promedio de 81.4 % cercano al del Atlas Hidrológico.

Figura 12. **Humedad relativa promedio anual**



Fuente: elaboración propia, adaptado de INSIVUMEH (2004). *Atlas Hidrológico*.

Tabla VI. **Ciclo anual de humedad relativa**

MES	Humedad relativa (%)
Enero	76.04
Febrero	73.68
Marzo	72.84
Abril	80.32
Mayo	88.80
Junio	86.24
Julio	81.59
Agosto	84.06
Septiembre	87.54
Octubre	84.13
Noviembre	82.02
Diciembre	79.55
Promedio:	81.40
Minimo:	72.84
Maximo:	88.80

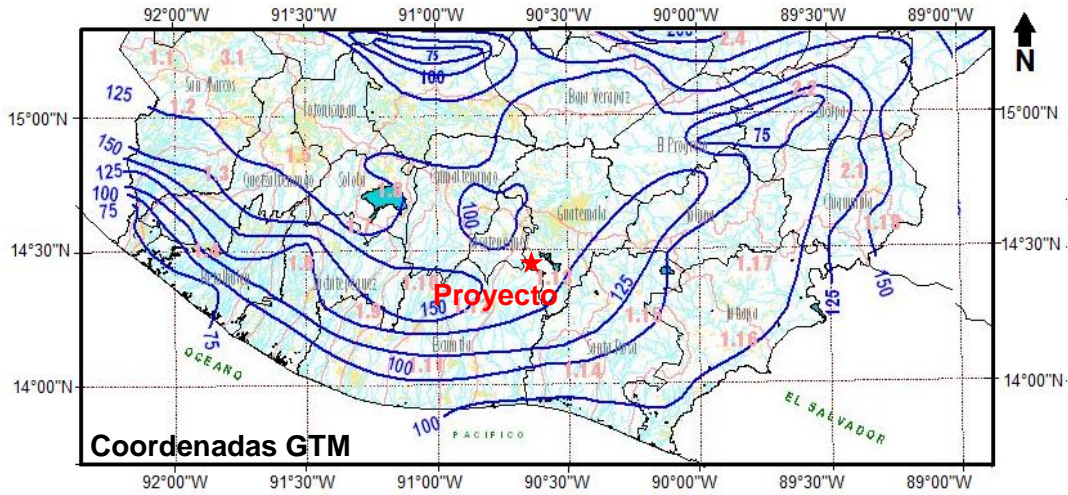
Fuente: elaboración propia, empleando datos de ICC estación Trinidad, Amatitlán.

1.7.3. Precipitación pluvial

El régimen de precipitación promedio en el área del presente estudio es de 1200 a 1300 mm de lluvia al año, considerándose un valor intermedio, propio del altiplano, ya que la mayor precipitación (2100 mm) en el departamento se encuentra en áreas de San José Pinula y el extremo este de Santa Catarina Pinula, así como la parte sur de Villa Canales y las menores precipitaciones (500 mm) se observan en el extremo noreste del departamento en los municipios de San Pedro Ayampuc y Chuarrancho. El promedio de precipitación en la zona es de 900 mm/año, valor que corresponde al área de dominio del lago de Amatitlán. La finca en estudio está ubicada en la parte exterior del cinturón climático región del Trópico, donde durante todo el año se presentan condiciones térmicas similares y los cambios térmicos de una época a otra son pequeños (Segeplan, 2011).

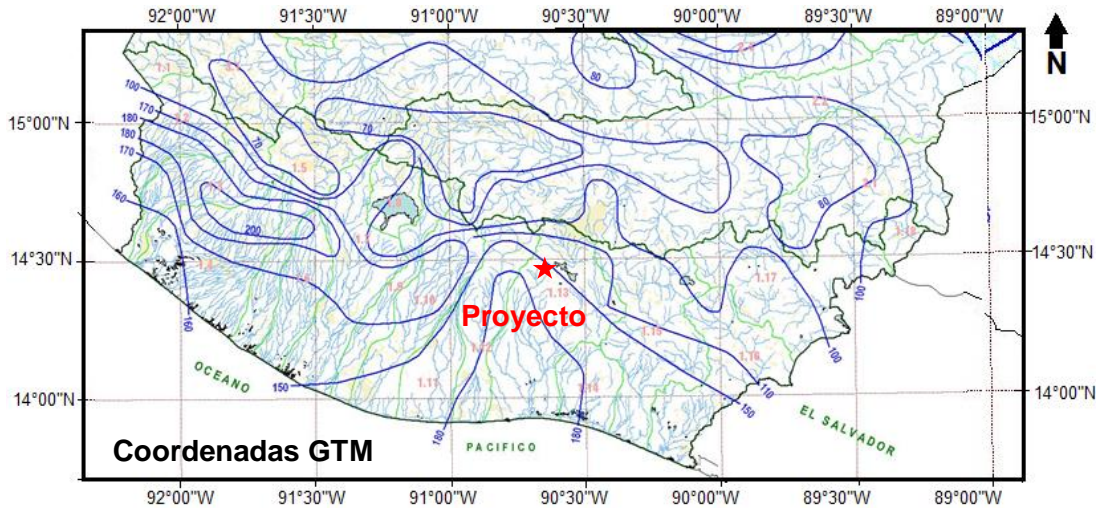
El municipio de Amatitlán es cubierto anualmente por un promedio de 1,414.70 milímetros de agua, los que se distribuyen alrededor de mayo a octubre. Los meses del año en los que se tiene una mayor sequía son enero, febrero y marzo; por otro lado, en el mes de noviembre y mes de diciembre las lluvias son esporádicas. Generalmente se cuenta con 125 días promedio anuales de lluvia. En la figura 13 se muestra el número de días con lluvia al año que para el área del proyecto corresponde al promedio entre 100 y 150 días, cuyo comportamiento es similar en toda la parte del departamento de Guatemala; en la figura 14 se muestra el comportamiento de la lluvia máxima diaria para un período de retorno de 10 años, que para el área de estudio se encuentra cercano a los 150 mm de precipitación pluvial.

Figura 13. Promedio de número de días con lluvia al año



Fuente: elaboración propia, adaptado de INSIVUMEH (2004). *Atlas Hidrológico*.

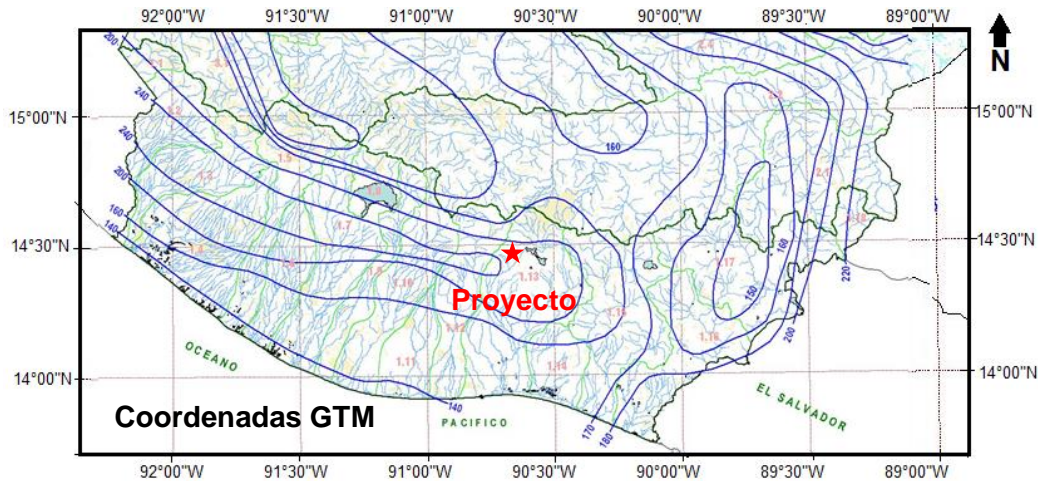
Figura 14. Lluvia máxima diaria período de retorno 10 años (mm)



Fuente: elaboración propia, adaptado de INSIVUMEH (2004). *Atlas Hidrológico*.

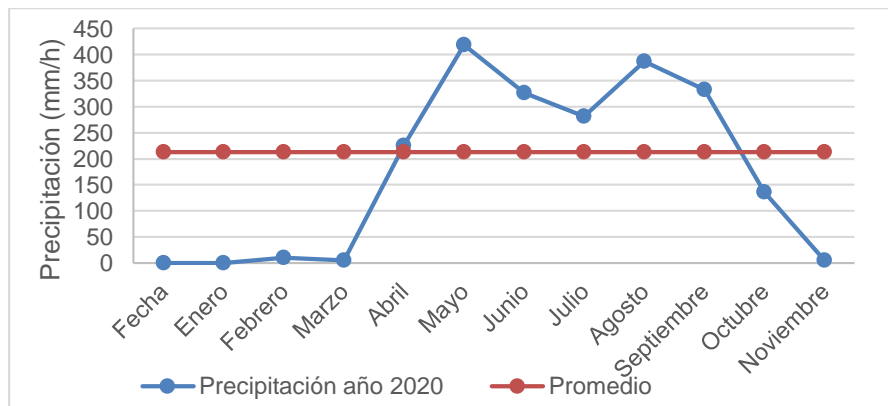
La precipitación media o intensidad de lluvia como se muestra en la figura 15 se encuentra entre las isoyetas de 200 a 240 mm/h para un período de retorno de 10 años; dicho valor promedio se utilizará en la sección 3.6 para la estimación del caudal de lluvia a través el método racional dentro del balance hidrológico. Así mismo, según datos de la estación Trinidad del ICC del año 2015 a 2020 mostrados en la figura 16, se tiene una precipitación promedio de 212.8 mm/h.

Figura 15. **Precipitación media período de retorno 10 años (mm/h)**



Fuente: elaboración propia, adaptado de INSIVUMEH (2004). *Atlas Hidrológico*.

Figura 16. **Ciclo anual de precipitación**



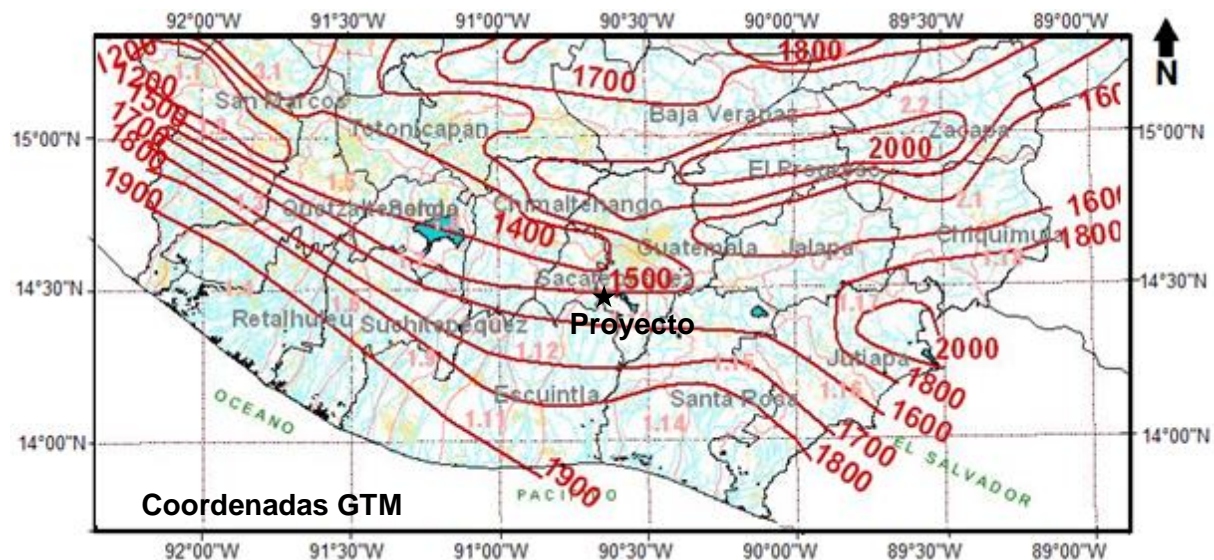
Fuente: elaboración propia.

1.7.4. Evapotranspiración

La evapotranspiración es el fenómeno climatológico combinado que incluye por un lado la evaporación que ocurre con el agua infiltrada en la zona superficial del suelo, de evaporarse bajo efectos de irradiación solar, sin contacto con la masa vegetal y por otro la transpiración de las plantas de gran parte del agua retenida por las raíces, luego de absorber una parte para su crecimiento.

El área del proyecto se ubica en una zona con una evapotranspiración potencial cercana a los 1500 mm anuales como lo señala la isopleta de la figura 17, y corresponde a una zona con poca vegetación y una temperatura media, característico de la parte sur del departamento de Guatemala.

Figura 17. **Evapotranspiración potencial promedio anual (mm/año)**



Fuente: elaboración propia, adaptado de INSIVUMEH (2004). *Atlas Hidrológico*.

Análogamente, se calcula en la tabla VII la evapotranspiración potencial anual utilizando el Método de Hargreaves (1982) en función de los datos de temperatura y humedad relativa del año 2015 a 2020 de la estación Trinidad del ICC ubicada en Trinidad; obteniéndose un valor cercano al del Atlas de 1456 mm/año.

Tabla VII. **Cálculo de evapotranspiración potencial**

MES	Temperatura (oC)	Temperatura (oF)	Humedad relativa (%)	Brillo solar mensual (%)	Número de días	Radación solar (mm/mes)	Radación extraterrestre (mm/mes)	Radación mensual incidente (mm)	Evapotranspiración Potencial (mm)
Enero	19.67	67.40	76.0	61.18	31	11.31	350.61	205.68	103.97
Febrero	20.21	68.39	73.7	64.13	28	12.73	356.44	214.08	109.80
Marzo	20.83	69.49	72.8	65.15	31	14.42	447.02	270.61	141.03
Abril	20.79	69.42	80.3	55.45	30	15.71	471.21	263.17	137.02
Mayo	20.80	69.44	88.8	41.83	31	16.29	504.99	244.96	127.58
Junio	21.34	70.41	86.2	46.37	30	16.43	492.90	251.74	132.93
Julio	21.16	70.10	81.6	53.63	31	16.36	507.16	278.55	146.44
Agosto	20.96	69.73	84.1	49.90	31	15.83	490.73	259.99	135.96
Septiembre	20.29	68.52	87.5	44.12	30	15.04	451.20	224.78	115.51
Octubre	20.56	69.01	84.1	49.80	31	13.40	415.40	219.86	113.80
Noviembre	20.25	68.46	82.0	53.01	30	11.73	351.90	192.16	98.66
Diciembre	18.73	65.71	79.5	56.53	31	10.88	337.28	190.19	93.72
								ETP TOTAL	1456.43

Fuente: elaboración propia.

1.7.5. Infiltración

Los suelos del área están constituidos por materiales orgánicos y productos de flujos piroclásticos erosionados, depósitos aluviales y coluviales como material predominantemente del Valle del Michatoya. Aunque no existen pruebas disponibles, la constitución de la matriz de los suelos indica una capacidad de infiltración media y alta.

1.7.6. Escorrentía

Aunque no se efectuaron ensayos específicos en la zona, de acuerdo a la composición de los sedimentos de los primeros 4 metros mostrados en la figura 18, por su granulometría y cohesión, se considera que el flujo de agua por percolación predomina sobre la escorrentía, además que la topografía con baja inclinación y el tipo de suelo granular (arena gruesa y pómez) favorece una rápida infiltración y potencial recarga hídrica.

Figura 18. **Suelos alta permeabilidad en excavación 4 m para PTAR**



Fuente: [Fotografía de Luis Castro]. (Finca de producción de semillas. 2020).

1.7.7. Área de recarga

El área de recarga principal a nivel de subcuenca es importante y el aporte natural de agua y recarga se considera relevante, ya que está constituida por una las zonas montañosas del Cerro Carmona al Noroeste y el complejo de domos ácidos al Noreste, así como el embalse de regulación natural del Lago de Amatitlán, que forman un área con adecuada capacidad de infiltración, así como una suelos y granulometría permeable, y por lo tanto con un alto poder de captación.

1.8. Hidrogeología regional y local

En general, las condiciones hidrogeológicas de la provincia de Guatemala son suficientes para almacenar acuíferos importantes, especialmente en las partes central y sur, debido a la existencia de rocas con buen potencial acuífero (flujo piroclástico, basalto, ruptura de rocas volcánicas) y otras condiciones. Esto es ventajoso, como la precipitación, la presencia de rocas con permeabilidad y porosidad media y alta, que constituyen un acuífero importante que puede almacenar suficiente agua para satisfacer en gran medida el área metropolitana, las necesidades de los residentes y las poblaciones importantes en dirección Sur del departamento.

En la parte sur del valle de ciudad Guatemala los flujos piroclásticos son potentes debido a su mayor cercanía con los focos eruptivos del antiguo volcán de Amatitlán y en el área del proyecto, presentan un importante espesor, producto del relleno caldérico y la depositación de sedimentos por el cauce del río Michatoya que han formado un valle alargado de dirección Noreste-Suroeste, paralelo al Río Michatoya, en la cual son evidentes los paquetes de depósitos piroclásticos y suelos volcánicos. Sin embargo, la falta de reglamentación para el

uso del agua subterránea y la actividad antrópica intensiva han provocado la contaminación de cuerpos de agua superficiales y los acuíferos más someros (Herrera y Barrientos, 2016).

Además de la contaminación antrópica, debe considerarse la presencia de un acuífero afectado por hidrotermalismo, esto consecuencia de la zona geotérmica de Amatitlán, en donde la zona de mayor temperatura se ubica en el área del Volcán Pacaya y la Laguna de Calderas, como consecuencia por la falla Mixco y las recientes erupciones volcánicas, existen recursos geotérmicos de entalpía media y baja, incluidos los sectores aluviales del río Villalobos, el valle Michatoya y el cañón Palín.

Durante la época de lluvias, regulares volúmenes de agua están disponibles en el río Michatoya (aproximadamente un tercio del valle sur del departamento), disminuyendo aún más durante la época seca. Generalmente de mayo a octubre, moderados caudales de agua fluyen en el río Las Vacas y del río Villalobos (abarcando un tercio del centro del departamento). Los caudales disminuyen durante la época seca (Herrera y Barrientos, 2016). En la figura 19, se muestra que existen 3 cuencas principales en el departamento: Motagua (62 %) a través de su afluente río Las Vacas, María Linda (31 %) a través del río Villalobos, lago de Amatitlán y río Michatoya y en menor proporción el río Los Esclavos (6.8 %).

El principal cuerpo de agua del departamento de Guatemala es el Lago de Amatitlán el cual está altamente contaminado con desechos especiales y domésticos provenientes del área metropolitana. Durante la época de lluvias en los meses de mayo a octubre, cantidades considerables de agua son afluente a la ciudad a través del río Aguacapa que ocupa casi un tercio del departamento. Estas cantidades se vuelven de menores durante la época seca (Herrera y Barrientos, 2016, pág. 25). Los ríos que son efluente de la ciudad se encuentran contaminados debido a la falta de eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas y de desechos industriales. Entre estos ríos se encuentran Las Vacas y Villalobos. El río Villalobos fluye hacia el sur de la ciudad hacia el lago Amatitlán, causando una contaminación extrema. El río Michatoya es el drenaje natural del Lago de Amatitlán hacia el sur (Escuintla) estando por lo tanto también severamente contaminado. El área de estudio se localiza en la zona alta de la cuenca del río Michatoya.

En el área del proyecto, debido a que está en proceso de crecimiento y urbanización, se considera que el acuífero es objeto de una explotación creciente, ya que es un área que comienza a habitarse con urbanizaciones de gran tamaño, las cuales abastecen sus necesidades de agua potable a través de perforación de pozos propios, aunque tiene una importante área de recarga y forma parte del antiguo lago de Amatitlán, por lo que muestra actualmente niveles freáticos someros y en un proceso de condiciones piezométricas aún estables, que permiten suponer la presencia de agua abundante a través de perforaciones de profundidad intermedia y profunda con una importante área de recarga al acuífero proveniente de las montañas Carmona y los domos al noreste.

1.8.1. Formaciones permeables e impermeables

Las mejores áreas para la exploración de agua subterránea del departamento están localizadas en los acuíferos volcánicos que cubren aproximadamente el 75 % de su superficie en las partes central y sur y en menor proporción hacia el norte. Estos acuíferos son utilizados para el abastecimiento doméstico, comercial e industrial principalmente en el área metropolitana. En el año 1998, alrededor de 86 pozos suministraban 1,000 L/s a la ciudad. Aproximadamente el 64 % del abastecimiento de agua para el área metropolitana de Guatemala proviene del agua subterránea (pozos).

En el municipio de Amatitlán, no se cuenta con un inventario completo de los pozos de abastecimiento de agua perforados. En el área del proyecto existe un acuífero somero que es aprovechado para fines de uso doméstico y riego agrícola y un acuífero intermedio de menos de 300 pies de profundidad que es aprovechado para la actividad productiva, pero el agua extraída debe ser tratada para que cuente con características químicas adecuadas. La precipitación pluvial recorre diferentes cursos de escorrentía dependiendo del tipo de unidad hidrogeológica. El ingreso de agua meteórica en la unidad acuífero de relleno de valle presenta una infiltración somera por la permeabilidad de los materiales volcánicos de tipo piroclástico. En el valle de Michatoya-Palín se presume la existencia de una alternancia de unidades de depósitos aluviales y rocas poco consolidadas de carácter suelto y alta permeabilidad.

1.8.2. Características hidrogeológicas de los acuíferos

El límite norte del acuífero sur del área metropolitana de Guatemala (donde se localiza el proyecto), se extiende por la división continental desde Calzada Roosevelt hacia el oeste. El Trébol hacia el centro (zona 1), a lo largo de la avenida Los Próceres hasta Puerta Parada hacia el este, con elevaciones

de 1,530 m.s.n.m. en su parte central. El límite occidental del acuífero ocurre en el Cerro Las Limas con 2,200 msnm, cerro El Astillero con 2,374 y montaña Carmona con 2,430 m.s.n.m. El límite oriental abarca la franja de Puerta Parada, Don Justo y El Canchón en Santa Catarina Pinula y la Cumbre de San Nicolás con elevaciones de alrededor de 1,900 m.s.n.m. Los puntos más bajos a 1,200 m.s.n.m. están definidos por las orillas del lago Amatitlán en dirección al sur de la ciudad.

La pendiente se orienta de norte a sur y varía de 8 a 14 % en las áreas altas y de 1 a 4 % en las áreas bajas. La cuenca hidrográfica pertenece al río Villalobos que tiene como afluentes principales a los ríos: Pinula, Las Minas, Tulujá, El Bosque, Molino, San Lucas, El Arenal, Parrameño y Platanitos. El río Villalobos fluye hacia el Lago de Amatitlán, que drena al río Michatoya y este al río María Linda que desemboca en la Vertiente del Océano Pacífico. La cuenca tiene con un área de 346,364 km², formada por dos acuíferos subterráneos, uno superior y el otro inferior (Herrera y Barrientos, 2016).

1.8.2.1. Transmisividad

El acuífero superior de las rocas piroclásticas de piedra pómez tiene diferentes tamaños de partículas, principalmente grava y arena, con una profundidad que varía de unos pocos metros a más de 250 m, un espesor saturado entre 10 y 70 m, y una profundidad media de 38 m (Insivumeh, 1978). En la parte sur del área, el acuífero superior está ubicado en los sedimentos aluviales de los ríos Villalobos y Pinula, cubriendo un área de 57.5 km² y un espesor de 39 a 110 m. El sedimento está ubicado en el delta de Villalobos al norte del lago Amatitlán, con un área de 16.7 km² y un espesor de 145 m. (Insivumeh, 1978).

Los rangos de transmisividad del acuífero son medios para la litología de piroclastos de pómez, que se encuentra entre 50 a 750 m²/día y para la capa litológica de sedimentos aluviales del río Villalobos es media a alta se encuentra entre 150 a 2,000 m²/día (Herrera y Orozco, 2010).

El acuífero inferior aparece en las rocas volcánicas rotas de andesita y toba con un espesor de saturación mayor de 300 m. En la zona de mayor altitud de la cuenca, de San Lucas hasta Bárcenas, desde El Trébol hasta Ciudad Real, desde Santa Catarina Pinula hasta Boca del Monte, la transmisividad presenta rangos de 500 a 800 m²/día. Por otro lado, en las zonas bajas de Villa Nueva, en los alrededores de Ojo de Agua, Petapa y Villa Canales, la transmisividad presenta rangos entre 500 a 5,000 m²/día (Insivumeh, 1978). En el sector de Ojo de Agua, los valores de transmisividad rondan entre 1,600 a 9,500 m²/día y entre 22 a 1,300 m²/día en el sector El Diamante (Herrera y Orozco, 2010).

La transmisividad en el área de mayor altitud de la cuenca define un acuífero con una capacidad de regular a bueno. En la parte inferior, la productividad del acuífero es alta. Dependiendo del uso del pozo, la cantidad de agua subterránea extraída de cada pozo es de 6 a 230 L/s, que se utiliza principalmente para el agua potable. Los pozos de EMPAGUA en las áreas de Ojo de Agua y El Diamante consumen de 134 a 230 L/s por pozo (Herrera y Orozco, 2010, pág. 90). En la cuenca se asume que existen actualmente más de 500 pozos (IARNA-URL y TNC, 2013).

1.8.2.2. Conductividad hidráulica

Como consecuencia de la alta cantidad de finos y su compactación en sí, los piroclastos de piedra pómez tienen una permeabilidad primaria, generalmente con un promedio de 1.3 a 20 m / d. Los sedimentos aluviales están compuestos de rocas, grava, arena, limo y arcilla, con una permeabilidad promedio de entre 3,8 y 14 m / d, y el acuífero se clasifica como bueno. Las aguas poco profundas de las lavas andesíticas y varias capas de toba soldada forman un acuífero más bajo con una permeabilidad promedio de 1.7 a 32 m / d. Esta permeabilidad es secundaria, alcanzando valores muy altos en áreas con fracturas fuertes y profundas (Herrera y Barrientos, 2016).

1.8.2.3. Coeficiente de almacenamiento

En el acuífero superior el agua subterránea se encuentra en su mayor parte bajo condiciones libres y presenta valores de coeficiente de almacenamiento de 0.09 a 0.35 para los depósitos piroclásticos y de 0.20 para los depósitos aluviales (Insivumeh, 1978, p. 257). El acuífero inferior tiene limitaciones, debido al papel de ciertas capas de cenizas volcánicas y sedimentos finos, y la consolidación de las capas de rocas volcánicas, que juegan el papel de los acuitardos y acuicludos. El coeficiente de almacenamiento en este tipo de lavas fracturadas es de 8×10^{-3} (Herrera y Orozco, 2010).

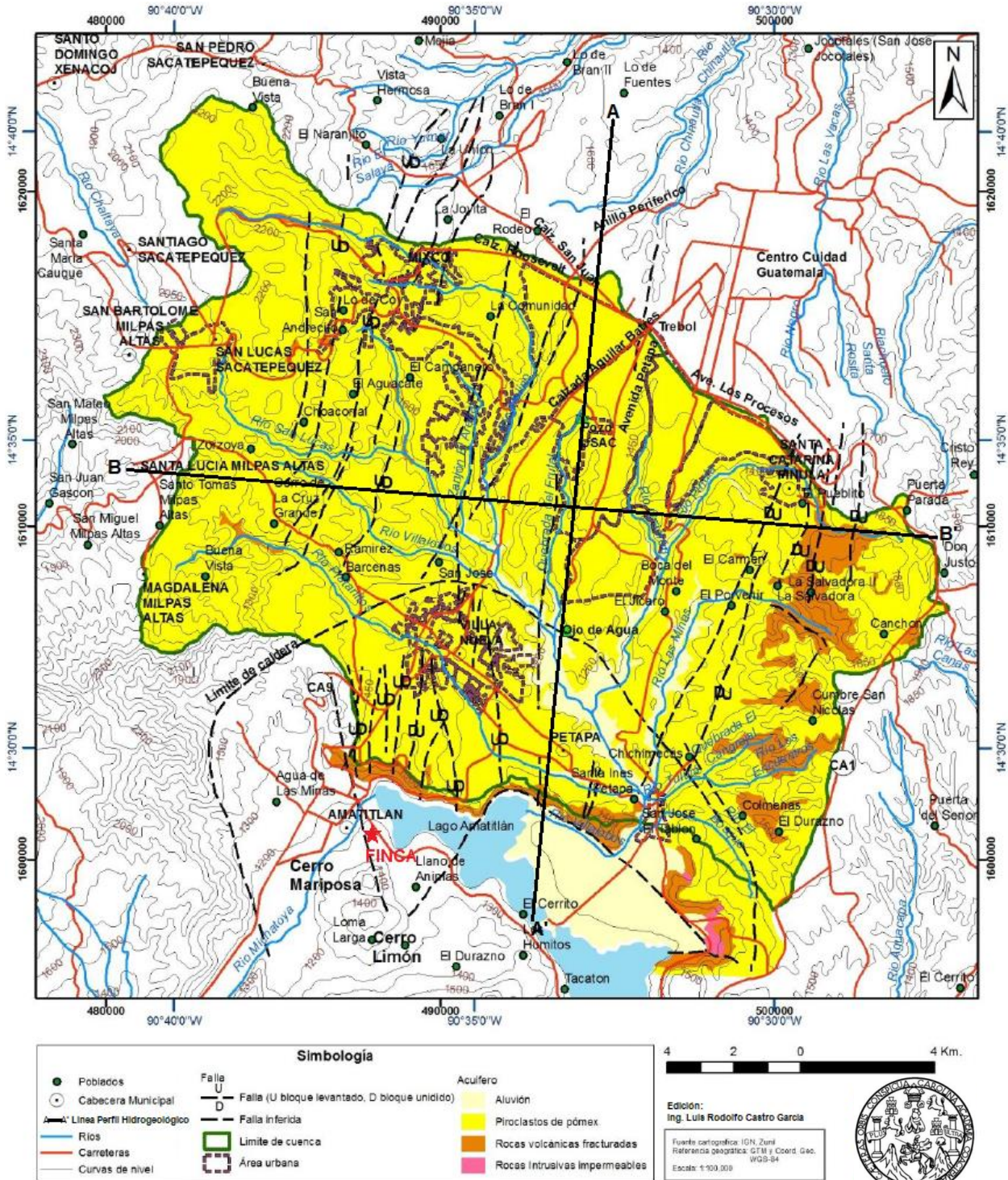
Considerando que este acuífero tiene un espesor medio de 200 m y una extensión de 346.364 km², el volumen del acuífero es de 69 km³. Si en este volumen la porosidad media por fracturación es de un 25 %, resulta que el agua almacenada en el acuífero sería igual a 17,250x10⁶ m³. El coeficiente de almacenamiento en lavas es consecuencia del descenso en 1 m del nivel del agua del acuífero, en este caso de contaría aproximadamente con 138 millones de m³ de agua.

Comparando esta disponibilidad de 138 millones de m³ de agua con la tasa de consumo de agua de origen subterráneo en la zona de la cuenca del río Villalobos de 191.2 millones de m³ por año (IARNA-URL y TNC, 2013), resulta que en este acuífero existe una sobre-extracción de 53.2 millones de m³ por año, sin considerar la recarga hídrica. Esto se muestra por el descenso de los niveles estáticos de los pozos cercanos de aproximadamente 1 m/año en los sectores de El Diamante y Ojo de Agua desde el año 1976.

1.8.3. Unidades hidrogeológicas

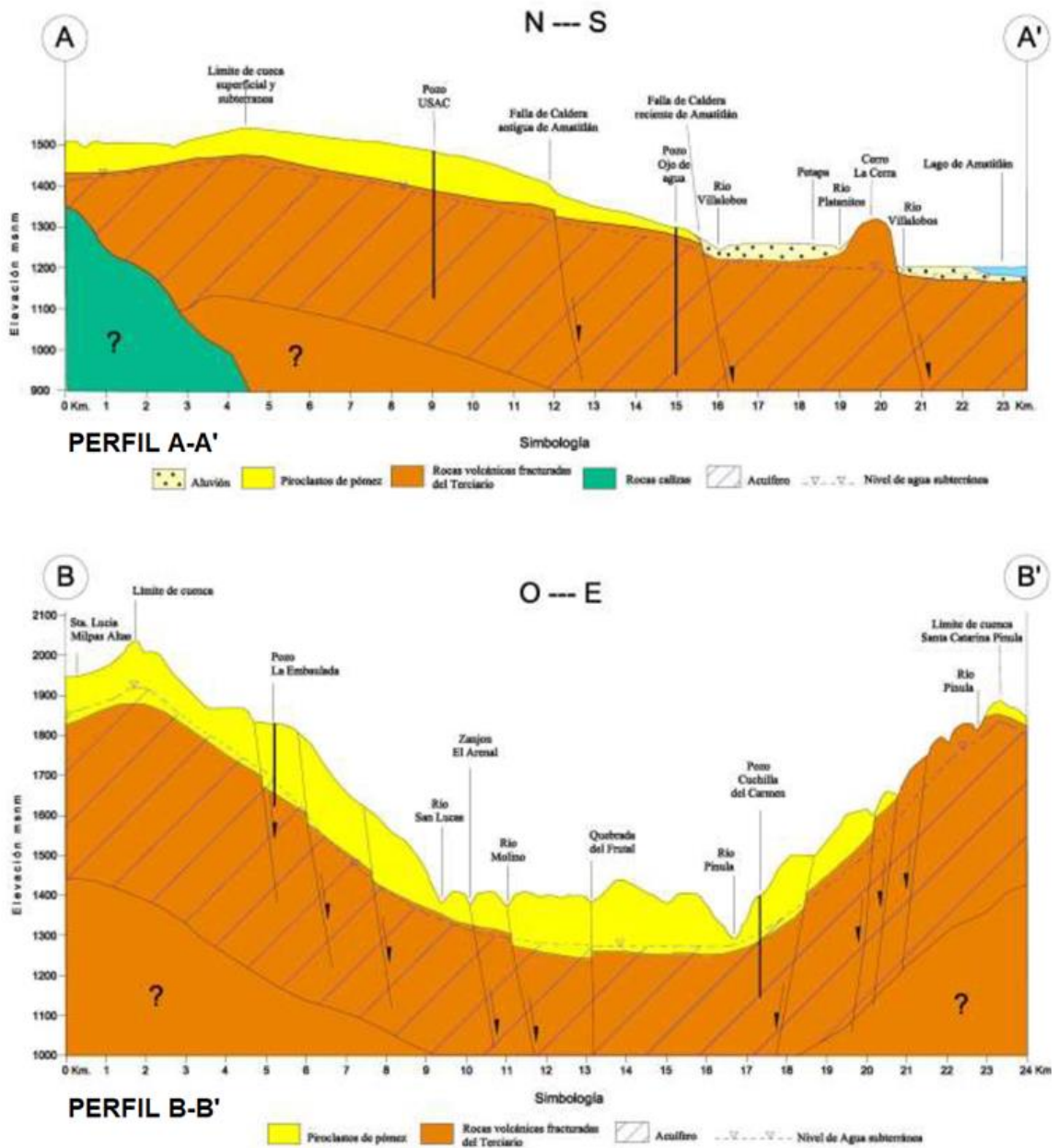
Como se muestra en la figura 20, las unidades hidrogeológicas del área incluyen rocas volcánicas fracturadas, piroclastos de pómez y los aluviones del río Villalobos. Las rocas volcánicas están constituidas por dacitas, andesitas y tobas soldadas del Terciario con espesores mayores de 500 m, siendo los materiales que forman la zona saturada y un medio fisurado o formación de rocas con fracturas. Según el perfil hidrogeológico de la figura 21, la zona no saturada se compone principalmente de escombros volcánicos cuaternarios. En la parte sur de la región del río Villalobos, los sedimentos de los lagos y ríos y los aluviones de los ríos están saturados y constituyen el acuífero subterráneo superior.

Figura 20. Unidades hidrogeológicas cuenca sur ciudad de Guatemala



Fuente: Herrera y Barrientos (2016). *Estudio Hidrogeológico de los Acuíferos Volcánicos de la República de Guatemala.*

Figura 21. **Perfiles hidrogeológicos cuenca sur ciudad de Guatemala**



Fuente: Herrera y Barrientos (2016). *Estudio Hidrogeológico de los Acuíferos Volcánicos de la República de Guatemala.*

1.8.3.1. Red de flujo de agua subterránea

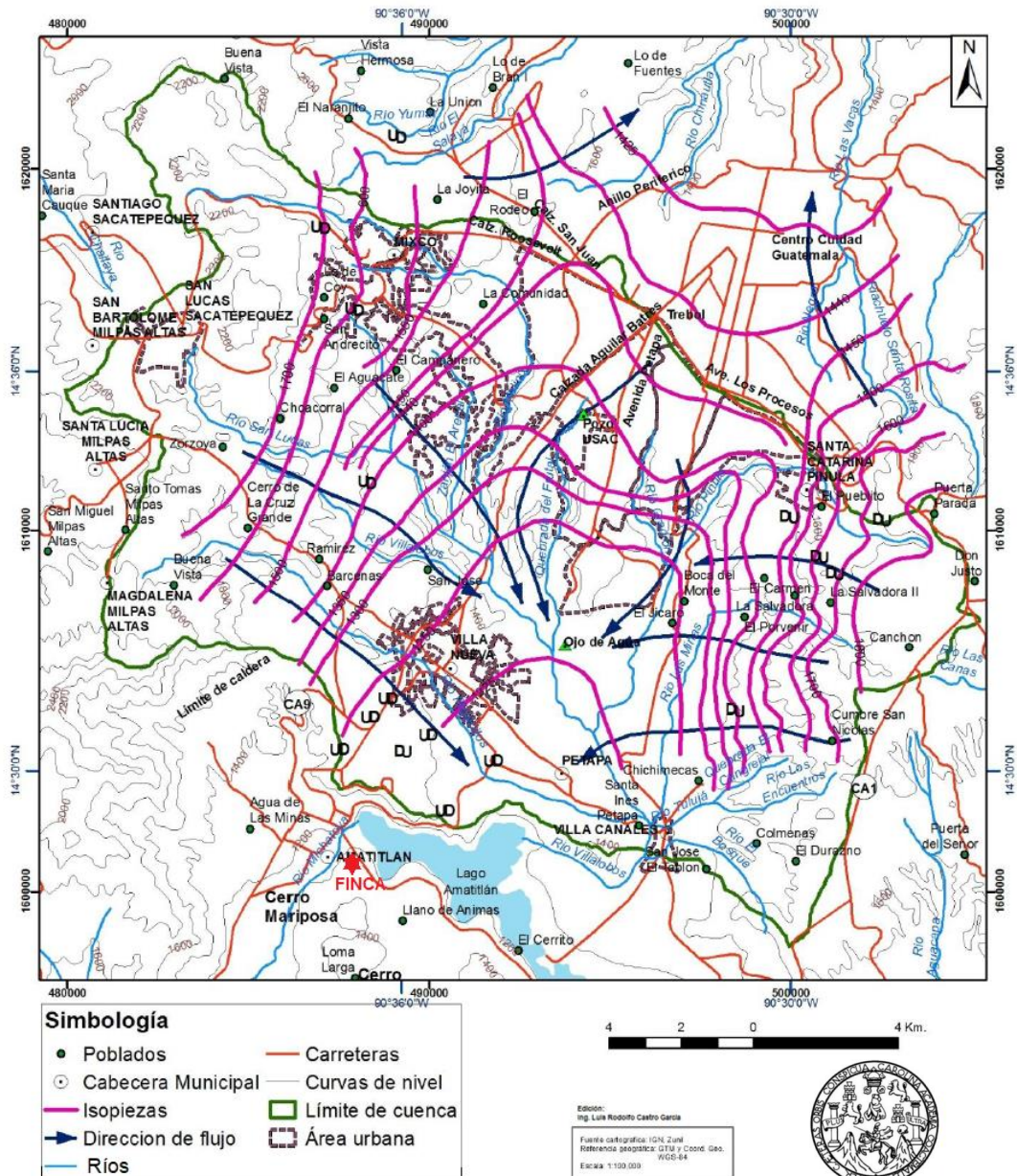
El área metropolitana es una fosa tectónica, por lo que el flujo de agua a nivel subterránea proporciona un control estructural desde la parte superior a la inferior del cráter Amatitlán en dirección al Sur de la ciudad. En el área norte de la cuenca, el nivel del agua estático está es de más de 100 m, a una altitud de 1500 m.s.n.m., equivalente a la isopieza 1440 m.s.n.m. En la Figura 22, se observa la parte baja de San Miguel Petapa, cuya altitud es de 1250 msnm y el equivalente es la isopieza 1225 msnm.

Los principales flujos de aguas subterráneas provienen del oeste y tienen su recarga en los alrededores de Mixco, los cerros Alux, El Astillero y Montaña Carmona, con valores de niveles estáticos de 1,600 a 1,700 msnm. En las montañas de Santa Catarina Pinula y Cumbre de San Nicolás, se agrega otra parte del agua subterránea (menos que la primera parte), donde el nivel de agua estática es de 1600 a 1800 msnm. Ambas corrientes fluyen hacia las áreas de Ojo de Agua y San Miguel Petapa, representando el área de descarga de agua subterránea (Herrera y Barrientos, 2016).

Herrera y Orozco (2010), compararon los cambios en los niveles estáticos de agua subterránea de los 4 pozos en Ojo de Agua entre 1976 y 1996 y los 4 pozos en El Diamante desde 1968, 1970 a 1976 hasta 1996, y concluyeron que en 20 años la profundidad Ojo de Agua descendió 9 m, o 0.45 m / año. En El Diamante, el nivel ha disminuido en un promedio de 25.5 m durante 27 años, lo que equivale a 0.94 m/año. En 20 años, solo el pozo El Diamante 7, que está más cerca del río Villalobos, ha caído 9.10 m. Según los datos del nivel de agua estático del pozo Ojo de Agua medidos en el año 2009, la variación promedio de este nivel es de 24 m, equivalente a 0.73 m / año. En la actualidad, el nivel ha disminuido en un promedio de 1 m / año. La profundidad de perforación de los

pozos en la cuenca es de 121 a 600 m. La mayoría de los pozos son pozos mecánicos con diámetros de entubado de 8, 10, 12 y 20 pulgadas (Herrera y Barrientos, 2016).

Figura 22. Red de flujo agua subterránea cuenca sur ciudad de Guatemala



Fuente: Herrera y Barrientos (2016). *Estudio Hidrogeológico de los Acuífero Volcánicos de la República de Guatemala.*

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los análisis de resultados y caracterización de la calidad de las aguas dentro de la finca de producción de semillas y se efectúa la comparación del cumplimiento con la normativa aplicable.

2.1. Normativa vigente aplicable

La normativa vigente aplicable se clasifica en la Norma técnica para agua potable y el Reglamento de aguas residuales:

2.1.1. Norma técnica guatemalteca de calidad de agua potable

La normativa COGUANOR NTG 29001 se aplica al consumo humano, la preparación de alimentos y el agua doméstica. El agua originalmente contenida en pozos, manantiales y ríos puede estar ubicada en redes de distribución, depósitos o tanques de almacenamiento. El agua apta para el consumo humano o agua potable es el agua que no causa riesgos a la salud de los usuarios y sus propiedades organolépticas, fisicoquímicas y bacteriológicas cumplen con los estándares (COGUANOR, 1999).

2.1.2. Reglamento de aguas residuales para Guatemala

El Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, es el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y disposición de lodos; establece los criterios y requisitos que deben cumplirse para el vertido y reúso del agua residual, así como de la disposición de lodos residuales, de esta manera el propósito es proteger los

cuerpos receptores y suscitar la gestión integrada del recurso hídrico. Dicha normativa se aplica para todos los entes generadores, personas que desfogon aguas residuales al alcantarillado y las personas que reúsan las aguas residuales, así como las empresas responsables de la disposición de los lodos residuales (MARN, 2006).

2.2. Calidad del Agua

La calidad potable en los distintos puntos, así como las aguas residuales generadas se describe a continuación:

2.2.1. Agua de pozo

Siendo 2 pozos mecánicos, la fuente principal de abastecimiento de agua se evalúa la calidad del pozo No.1 (Campo 40) y pozo No. 2 (Campo B) con base en los parámetros establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001, según el Informe de Análisis realizado por el Laboratorio Controlab Código 32802/110820/09, /37 y /38, de fecha 11 de agosto de 2020. En la tabla VIII se presentan los parámetros del pozo No.1 mientras que en la tabla XIX se presentan los parámetros para el pozo No.2.

La columna de estado indica el cumplimiento o no cumplimiento con la normativa cuando los parámetros se encuentran dentro o fuera del límite máximo admisible y permisible. Ambos pozos muestran incumplimiento en el límite máximo admisible los parámetros turbiedad, conductividad, sólidos disueltos, calcio, dureza total y magnesio, siendo el pozo No. 2 el que muestra valores mayores; se considera que el agua es no potable y rechazable desde el punto de vista sensorial por parte de los usuarios. Se estima que dichos parámetros son

elevados debido a la litología y al efecto del hidrotermalismo considerando la temperatura en ambos pozos, propio de la zona volcánica donde se ubican.

Desde el punto de vista hidrogeoquímico el contenido de dureza es elevado por la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, posiblemente por la presencia de lavas de carbonatita de origen ígneo en el acuífero local cercano al volcán de Pacaya.

Por el contrario, los parámetros de apariencia, olor, color, pH, hierro total, nitritos, nitratos, cloruros, sulfatos, coliformes y *e-coli* se encuentran en estado de cumplimiento dentro del límite máximo aceptable, siendo un indicador que dicho acuífero está libre de contaminación.

Tabla VIII. Caracterización agua pozo No. 1

PARAMETRO	DIMENSION	COGUANOR NTG 29001		RESULTADO	ESTADO
		L.M.A.	L.M.P.		
Temperatura	°C	...	...	38.3	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1.0	0.0	NO CUMPLE
Apariencia	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Olor	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Color	Pt/Co	5.0	35.0	3.8	CUMPLE
Turbiedad	UNT	5.0	15.0	6	NO CUMPLE
Conductividad	µS/cm	750	1500	1788	NO CUMPLE
pH	Unidades	7.0-7.5	6.5-8.5	7.2	CUMPLE
Salinidad	%	---	---	0.7	---
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	1644	NO CUMPLE
Calcio	mg/L	75	150	>160	NO CUMPLE
Dureza total	mg/L	100	500	174	NO CUMPLE
Hierro total	mg/L	0.3	---	<0.01	CUMPLE
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.33	NO CUMPLE
Nitritos	mg/L	---	3.0	0.098	CUMPLE
Nitratos	mg/L	---	50	4.1	CUMPLE
Cloruros	mg/L	100	250	3.1	CUMPLE
Sulfato	mg/L	100	250	40	CUMPLE
Magnesio	mg/L	50	100	55.45	NO CUMPLE
Carbonatos	mg/L	---	---	<5	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	194	---
Sodio	mg/L	---	---	13.16	---
Potasio	mg/L	---	---	66.90	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE

L.M.A. = límite máximo admisible

L.M.P. = límite máximo permisible

NR/R = No rechazable/ Rechazable

ND = No detectable

UNT = unidades nefelométricas de turbidez

NMP = número más probable.

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Caracterización agua pozo No. 2**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	COGUANOR NTG 29001		RESULTADO	ESTADO
		L.M.A.	L.M.P.		
Temperatura	°C	...	...	39.5	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1.0	0.0	NO CUMPLE
Apariencia	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Olor	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Color	Pt/Co	5.0	35.0	3.4	CUMPLE
Turbiedad	UNT	5.0	15.0	6	NO CUMPLE
Conductividad	µS/cm	750	1500	1804	NO CUMPLE
pH	unidades	7.0-7.5	6.5-8.5	6.9	CUMPLE
Salinidad	%	---	---	0.7	---
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	1659	NO CUMPLE
Calcio	mg/L	75	150	>160	NO CUMPLE
Dureza total	mg/L	100	500	171	NO CUMPLE
Hierro total	mg/L	0.3	---	<0.01	CUMPLE
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.070	CUMPLE
Nitritos	mg/L	---	3.0	<0.007	CUMPLE
Nitratos	mg/L	---	50	1.4	CUMPLE
Cloruros	mg/L	100	250	2.5	CUMPLE
Sulfato	mg/L	100	250	33	CUMPLE
Magnesio	mg/L	50	100	55.45	NO CUMPLE
Carbonatos	mg/L	---	---	<5	---
Bicarbonatos	mg/L	---	---	210	---
Sodio	mg/L	---	---	14.64	---
Potasio	mg/L	---	---	68.37	---
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE

L.M.A. = límite máximo admisible
 L.M.P. = límite máximo permisible
 NR/R = No rechazable/ Rechazable

ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de turbidez
 NMP = número más probable.

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Agua de reservorio

En la tabla X se evalúa la calidad del reservorio: Rotoplast Campo B, según los parámetros estipulados en la normativa COGUANOR NTG 29001, según el informe de análisis realizado por el laboratorio Controlab código 32802/110820/08, y /27, de fecha 11 de agosto de 2020. Es importante mencionar que el agua que abastece dicho reservorio proviene del pozo No. 2, mostrándose mejoría en los parámetros calcio y magnesio que establecen estado de cumplimiento con la norma, dado que se encuentran dentro del rango de límite máximo admisible.

Este cambio en la calidad fisicoquímica del agua se debe probablemente a la oxidación por convección natural dentro del contenedor y al enfriamiento de 39.5 a 24.3 °C que precipita las sales de calcio y magnesio en proporciones cercanas al 50%. Esta reacción química también se demuestra con el cambio en el potencial de hidrógeno que ha variado de 6.9 a 7.3.

Los parámetros turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos y dureza total siguen en no cumplimiento a la normativa dado que se encuentran por encima del límite máximo admisible, considerándose el agua del reservorio no potable pudiendo ser rechazable desde el punto de vista sensorial por parte del usuario.

Tabla X. **Caracterización agua reservorio**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	COGUANOR NTG 29001		RESULTADO	ESTADO
		L.M.A.	L.M.P.		
Temperatura	°C	...	...	24.3	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	2.0	0.0	NO CUMPLE
Apariencia	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Olor	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Color	Pt/Co	5.0	35.0	1.4	CUMPLE
Turbiedad	UNT	5.0	15.0	7	NO CUMPLE
Conductividad	µS/cm	750	1500	1807	NO CUMPLE
pH	unidades	7.0-7.5	6.5-8.5	7.3	CUMPLE
Salinidad	%	---	---	0.7	---
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	1662	NO CUMPLE
Calcio	mg/L	75	150	73	CUMPLE
Dureza total	mg/L	100	500	136.8	NO CUMPLE
Hierro total	mg/L	0.3	---	0.20	CUMPLE
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	<0.010	CUMPLE
Nitritos	mg/L	---	3.0	0.09	CUMPLE
Nitratos	mg/L	---	50	7.5	CUMPLE
Cloruros	mg/L	100	250	6.1	CUMPLE
Sulfato	mg/L	100	250	73	CUMPLE
Magnesio	mg/L	50	100	11.01	CUMPLE
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE

L.M.A. = límite máximo admisible
 L.M.P. = límite máximo permisible
 NR/R = No rechazable/ Rechazable

ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de turbidez
 NMP = número más probable.

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Agua de oasis invernadero

Se evalúa la calidad de las Plantas Purificadoras (Oasis): oficina Administración, Cafetería 1 y Bodega de Semillas, presentando los resultados en las tablas XI a XIII respectivamente, según los parámetros estipulados en la normativa COGUANOR NTG 29001, según el informe de análisis realizado por el laboratorio Controlab código 32802/110820/01, /03, 06, /20, /22 y /25 de fecha 11 de agosto de 2020. El agua de estos tres oasis tiene características similares, cuya calidad ha mejorado significativamente debido al proceso de filtración, adsorción y enfriamiento que se lleva a cabo dentro de las plantas purificadoras, reduciendo los parámetros de turbiedad, salinidad, sólidos disueltos y dureza total, alcanzándose el estado de cumplimiento al encontrarse dentro del límite máximo admisible.

Todas las plantas purificadoras presentan incumplimiento con el parámetro de cloro residual dado que no se incluye la cloración al final del proceso purificación del agua para considerarse potable y apta para el consumo humano según la normativa.

Tabla XI. **Caracterización del agua de la oficina de Administración**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	COGUANOR NTG 29001		RESULTADO	ESTADO
		L.M.A.	L.M.P.		
Temperatura	°C	...	...	9.3	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1.0	0.0	NO CUMPLE
Apariencia	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Olor	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Color	Pt/Co	5.0	35.0	0.9	CUMPLE
Turbiedad	UNT	5.0	15.0	1	CUMPLE
Conductividad	µS/cm	750	1500	618	CUMPLE
pH	unidades	7.0-7.5	6.5-8.5	7.6	CUMPLE
Salinidad	%	---	---	0.0	---
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	569	NO CUMPLE
Calcio	mg/L	75	150	26	CUMPLE
Dureza total	mg/L	100	500	51.3	CUMPLE
Hierro total	mg/L	0.3	---	0.18	CUMPLE
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	0.010	CUMPLE
Nitritos	mg/L	---	3.0	<0.007	CUMPLE
Nitratos	mg/L	---	50	6.4	CUMPLE
Cloruros	mg/L	100	250	3.1	CUMPLE
Sulfato	mg/L	100	250	38	CUMPLE
Magnesio	mg/L	50	100	<5	CUMPLE
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE

L.M.A. = límite máximo admisible
 L.M.P. = límite máximo permisible
 NR/R = No rechazable/ Rechazable

ND = No detectable
 UNT = unidades nefelométricas de turbidez
 NMP = número más probable.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Caracterización del agua de la cafetería 1**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	COGUANOR NTG 29001		RESULTADO	ESTADO
		L.M.A.	L.M.P.		
Temperatura	°C	...	...	11.3	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1.0	0.0	NO CUMPLE
Apariencia	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Olor	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Color	Pt/Co	5.0	35.0	0.9	CUMPLE
Turbiedad	UNT	5.0	15.0	<0.5	CUMPLE
Conductividad	µS/cm	750	1500	115	CUMPLE
pH	unidades	7.0-7.5	6.5-8.5	7.6	CUMPLE
Salinidad	%	---	---	0.0	---
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	106	CUMPLE
Calcio	mg/L	75	150	21	CUMPLE
Dureza total	mg/L	100	500	17.1	CUMPLE
Hierro total	mg/L	0.3	---	0.21	CUMPLE
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	<0.010	CUMPLE
Nitritos	mg/L	---	3.0	<0.007	CUMPLE
Nitratos	mg/L	---	50	3.6	CUMPLE
Cloruros	mg/L	100	250	2.9	CUMPLE
Sulfato	mg/L	100	250	40	CUMPLE
Magnesio	mg/L	50	100	8.57	CUMPLE
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE

L.M.A. = límite máximo admisible

L.M.P. = límite máximo permisible

NR/R = No rechazable/ Rechazable

ND = No detectable

UNT = unidades nefelométricas de turbidez

NMP = número más probable.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Caracterización del aguade la bodega de semillas

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	COGUANOR NTG 29001		RESULTADO	ESTADO
		L.M.A.	L.M.P.		
Temperatura	°C	...	...	23.1	---
Cloro Residual	mg/L	0.5	1.0	0.0	NO CUMPLE
Apariencia	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Olor	NR/R	NR	NR	NR	CUMPLE
Color	Pt/Co	5.0	35.0	0.8	CUMPLE
Turbiedad	UNT	5.0	15.0	1	CUMPLE
Conductividad	µS/cm	750	1500	92	CUMPLE
pH	unidades	7.0-7.5	6.5-8.5	7.2	CUMPLE
Salinidad	%	---	---	0.0	---
Sólidos totales disueltos	mg/L	500	1000	84	CUMPLE
Calcio	mg/L	75	150	14	CUMPLE
Dureza total	mg/L	100	500	17.1	CUMPLE
Hierro total	mg/L	0.3	---	0.25	CUMPLE
Manganeso	mg/L	0.1	0.4	<0.010	CUMPLE
Nitritos	mg/L	---	3.0	<0.007	CUMPLE
Nitratos	mg/L	---	50	5.0	CUMPLE
Cloruros	mg/L	100	250	3.9	CUMPLE
Sulfato	mg/L	100	250	63	CUMPLE
Magnesio	mg/L	50	100	<5	CUMPLE
Coliformes totales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE
E. Coli	NMP/100mL	<1.8	---	<1.1	CUMPLE

L.M.A. = límite máximo admisible
L.M.P. = límite máximo permisible
NR/R = No rechazable/ Rechazable

ND = No detectable
UNT = unidades nefelométricas de turbidez
NMP = número más probable.

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Agua para riego

No se cuenta con información del agua que se usa para riego por goteo dentro de los invernaderos. Por otro lado, las aguas residuales generadas del lavado de equipo y maquinaria para el sistema de riego (unidades móviles) son tratadas en una planta fisicoquímica y acumuladas en un reservorio para su potencial reúso en riego de áreas verdes.

La calidad del efluente se evalúa en la tabla XIV por medio de los parámetros estipulados en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 artículo 35 “Parámetro y límites máximos permisibles para reúso”; siendo en este caso reúso Tipo I: Riego Agrícola en General. Según el informe de análisis realizado en Agua Depósito Biológico por el laboratorio Controlab código 32858/130820/01 de fecha 13 de agosto de 2020. Debido al proceso de coagulación, floculación, sedimentación y adsorción dentro de la planta fisicoquímica, el efluente cumple con todos los parámetros del reglamento, siendo apta para reúso por su ausencia de metales pesados y cianuro.

Tabla XIV. **Caracterización del agua del depósito biológico**

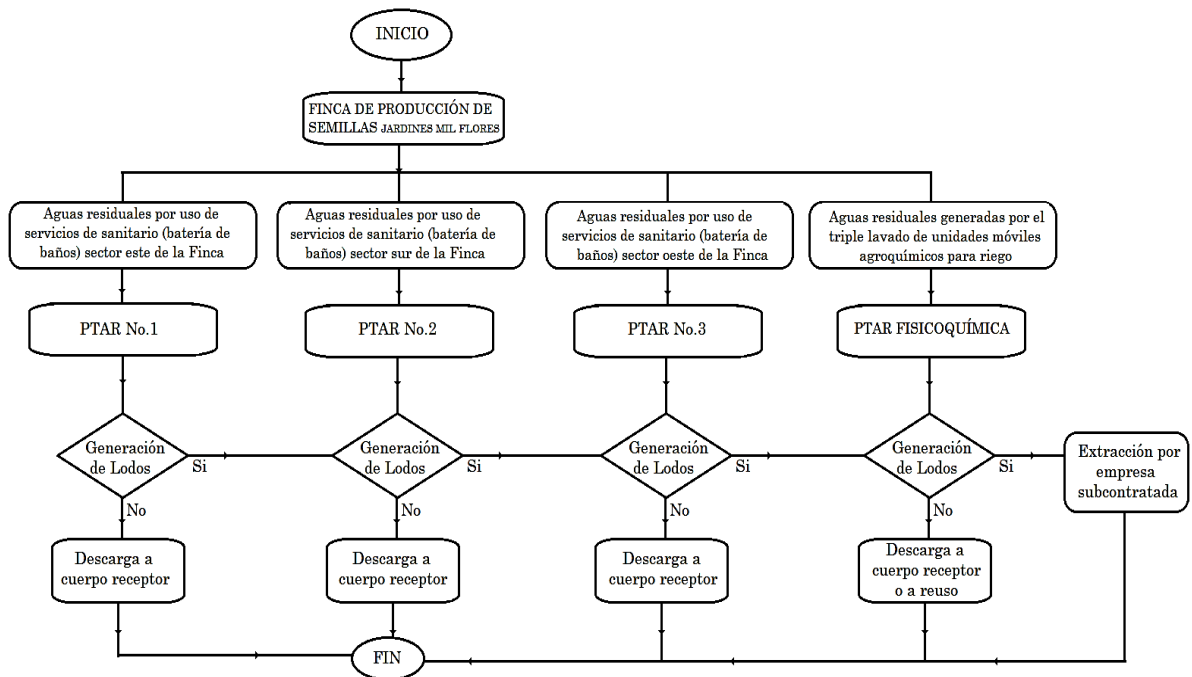
PARÁMETRO	DIMENSIÓN	Ac. Gub. 236-2006 Arto. 35, tipo I	RESULTADO	ESTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	No aplica	70.6	---
Coliformes fecales	NMP/100mL	No aplica	155	---
Arsénico	mg/L	0.1	0.037	CUMPLE
Cadmio	mg/L	0.1	0.004	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	1	0.002	CUMPLE
Cobre	mg/L	3	0.045	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.018	CUMPLE
Mercurio	mg/L	0.01	<0.001	CUMPLE
Niquel	mg/L	2	<0.004	CUMPLE
Plomo	mg/L	0.4	<0.008	CUMPLE
Zinc	mg/L	10	<0.032	CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Descripción de la actividad generadora de aguas residuales

La finca de producción de semillas cuenta con 3 plantas de tratamiento (PTAR) que se encargan de depurar las aguas residuales descargadas en las baterías de baños ubicadas en distintas áreas del proyecto. Las aguas tratadas son descargadas hacia zanjas de infiltración al final del proceso. Por otra parte, las aguas provenientes del triple lavado de fertilizante utilizado dentro del sistema de riego (unidades móviles) son depuradas en una planta de tratamiento fisicoquímica para su potencial reúso en riego de áreas verdes o bien para descarga a cuerpo receptor. Como se indica en la figura 23, los lodos generados por el proceso de tratamiento en cada PTAR son extraídos por medio de una empresa subcontrata, quedando la finca de producción de semillas exenta de dicha responsabilidad. El proceso finaliza en el vertido final de las aguas tratadas.

Figura 23. **Flujograma actividad generadora de las aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office.

2.2.6. Aguas residuales ordinarias

Las aguas residuales generadas en las baterías de baños, cocina y lavandería (pretratadas en fosas sépticas de administración, invernaderos 4, 14, 36, 44, 60, 103, 206 y 52) son tratadas en 3 plantas de tratamiento consistentes en tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario con sistema de desinfección: descargando todas al subsuelo (zanjas de infiltración). La calidad de este efluente se evalúa por medio de los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 artículo 20 límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores; etapa 3 de fecha 2 de mayo de 2020.

Según el Informe de Análisis realizado por el Laboratorio Controlab Códigos 32146/260520/01, /02 y /03 de fecha 26 de mayo de 2020; se evalúan el efluente de las tres plantas de tratamiento para aguas ordinarias. En las tablas XV al XVII se presenta los resultados de dichas plantas cumpliendo con lo normado en el reglamento, demostrando una eficiencia adecuada y un vertido con calidades aceptadas para descarga al subsuelo sin presentar riesgo de contaminación al acuífero debido a los bajos valores de carga orgánica (demanda bioquímica de oxígeno), nutrientes (nitrógeno y fósforo), materia fecal (coliformes fecales), así como ausencia de metales pesados.

El efluente de la PTAR No.1 presenta un ligero incumplimiento al límite máximo estipulado en el reglamento por razones de mantenimiento dado que el retorno de lodos aerobios se encontraba operando de forma irregular disminuyendo la eficacia de la desnitrificación en el proceso.

Tabla XV. **Caracterización aguas residuales efluente PTAR No.1**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	Ac. Gub. 236-2006 Arto. 20, etapa 3	RESULTADO	ESTADO
Temperatura	°C	TCR +/- 7	22.1	CUMPLE
Potencial de Hidrógeno	Unidades	6 a 9	8.66	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	25	3.8	CUMPLE
Materia Flotante	Ausente /Presente	Ausente	Ausente	CUMPLE
Sólidos suspendidos	mg/L	150	47.5	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	---	12.1	---
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	---	21	---
Nitrógeno total	mg/L	25	28.6	NO CUMPLE
Fósforo total	mg/L	15	6.1	CUMPLE
Color aparente	UPC	750	59	CUMPLE
Sólido sedimentable	mL/L	---	0.2	---
Arsénico	mg/L	0.1	<0.026	CUMPLE
Cadmio	mg/L	0.1	<0.002	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	1	0.002	CUMPLE
Cobre	mg/L	3	0.032	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.011	CUMPLE
Mercurio	mg/L	0.02	<0.001	CUMPLE
Niquel	mg/L	2	0.018	CUMPLE
Plomo	mg/L	0.4	0.009	CUMPLE
Zinc	mg/L	10	<0.032	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1x10 ⁴	350	CUMPLE

°C = Grados Celsius

mg/L = miligramos por litros (parte por millón)

UPC = unidades platino cobalto

NMP/100mL = número más probable por 100 mililitros de agua

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Caracterización aguas residuales efluente PTAR No.2**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	Ac. Gub. 236-2006 Arto. 20, etapa 3	RESULTADO	ESTADO
Temperatura	°C	TCR +/- 7	24.1	CUMPLE
Potencial de Hidrógeno	Unidades	6 a 9	8.57	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	25	2.6	CUMPLE
Materia Flotante	Ausente/ Presente	Ausente	Ausente	CUMPLE
Sólidos suspendidos	mg/L	150	40	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	---	<10	---
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	---	11	---
Nitrógeno total	mg/L	25	13.5	CUMPLE
Fósforo total	mg/L	15	3.2	CUMPLE
Color aparente	UPC	750	66	CUMPLE
Sólido sedimentable	mL/L	---	0.5	---
Arsénico	mg/L	0.1	<0.026	CUMPLE
Cadmio	mg/L	0.1	<0.002	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	1	0.003	CUMPLE
Cobre	mg/L	3	0.031	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.011	CUMPLE
Mercurio	mg/L	0.02	<0.001	CUMPLE
Níquel	mg/L	2	0.008	CUMPLE
Plomo	mg/L	0.4	<0.008	CUMPLE
Zinc	mg/L	10	<0.032	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1x10 ⁴	540	CUMPLE

°C = Grados Celsius

mg/L = miligramos por litros (parte por millón)

UPC = unidades platino cobalto

NMP/100mL = número más probable por 100 mililitros de agua

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Caracterización aguas residuales efluente PTAR No.3**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	Ac. Gub. 236-2006 Arto. 20, etapa 3	RESULTADO	ESTADO
Temperatura	°C	TCR +/- 7	25.1	CUMPLE
Potencial de Hidrógeno	Unidades	6 a 9	8.83	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	25	1.1	CUMPLE
Materia Flotante	Ausente/ Presente	Ausente	Ausente	CUMPLE
Sólidos suspendidos	mg/L	150	42.5	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	---	<10	---
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	---	14	---
Nitrógeno total	mg/L	25	12.8	CUMPLE
Fósforo total	mg/L	15	5.7	CUMPLE
Color aparente	UPC	750	84	CUMPLE
Sólido sedimentable	mL/L	---	0.2	---
Arsénico	mg/L	0.1	<0.026	CUMPLE
Cadmio	mg/L	0.1	<0.002	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	1	0.002	CUMPLE
Cobre	mg/L	3	0.031	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.013	CUMPLE
Mercurio	mg/L	0.02	<0.001	CUMPLE
Niquel	mg/L	2	0.004	CUMPLE
Plomo	mg/L	0.4	0.031	CUMPLE
Zinc	mg/L	10	<0.032	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1x10 ⁴	540	CUMPLE

°C = Grados Celsius

mg/L = miligramos por litros (parte por millón)

UPC = unidades platino cobalto

NMP/100mL = número más probable por 100 mililitros de agua

Fuente: elaboración propia.

2.2.7. Aguas residuales especiales

Las aguas residuales generadas en el proceso de lavado de equipo y maquinaria para las unidades de riego son tratadas en de una planta de tratamiento (PTAR) fisicoquímica a través de procesos avanzados de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. La calidad de este efluente se evalúa en la tabla XVIII por medio de los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo No. 236-2006 artículo 20 “límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores”; etapa 3 de fecha 2 de mayo de 2020, estableciendo cumplimiento con todos los parámetros de vertido.

La calidad de este efluente de aguas residuales especiales presenta valores aceptados para descarga al subsuelo sin presentar riesgo de contaminación al acuífero debido a los bajos valores de carga orgánica (demanda bioquímica de oxígeno) y nutrientes (nitrógeno y fósforo) así como ausencia de metales pesados.

Tabla XVIII. **Caracterización aguas residuales efluente PTAR fisicoquímica**

PARÁMETRO	DIMENSIÓN	Ac. Gub. 236-2006 Arto. 20, etapa 3	RESULTADO	ESTADO
Temperatura	°C	TCR +/- 7	24.3	CUMPLE
Potencial de Hidrógeno	Unidades	6 a 9	8.7	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	25	0.4	CUMPLE
Materia Flotante	Ausente/ Presente	Ausente	Ausente	CUMPLE
Sólidos suspendidos	mg/L	150	5	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	---	45.9	---
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	---	77	---
Nitrógeno total	mg/L	25	<10	CUMPLE
Fósforo total	mg/L	15	<0.5	CUMPLE
Color aparente	UPC	750	6	CUMPLE
Sólido sedimentable	mL/L	---	<0.1	---
Arsénico	mg/L	0.1	0.061	CUMPLE
Cadmio	mg/L	0.1	<0.002	CUMPLE
Cianuro total	mg/L	1	0.007	CUMPLE
Cobre	mg/L	3	0.018	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.013	CUMPLE
Mercurio	mg/L	0.02	<0.001	CUMPLE
Niquel	mg/L	2	0.012	CUMPLE
Plomo	mg/L	0.4	<0.008	CUMPLE
Zinc	mg/L	10	<0.032	CUMPLE
Coliformes fecales	NMP/100mL	<1x10 ⁴	1600	CUMPLE

°C = Grados Celsius

mg/L = miligramos por litros (parte por millón)

UPC = unidades platino cobalto

NMP/100mL = número más probable por 100 mililitros de agua

Fuente: elaboración propia.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta la discusión de resultados en función del análisis e interpretación de las variables que tienen relación con la sustentabilidad del recurso hídrico dentro del sitio de estudio.

3.1. Estimación de la demanda actual y futura de agua

En la tabla XIX se muestra la demanda actual de agua según los registros mensuales de bombeo en la finca de Producción de Semillas, siendo mayor para los meses de enero a marzo y disminuyendo en los meses de abril a junio debido a la demanda de producción (temporada alta y baja) y al número de trabajadores que laboran en la finca en dichos meses.

Tabla XIX. **Bombeo mensual (m³) durante primer semestre del 2015 a 2020**

AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO	m ³ /DÍA	GAL/DÍA
2015	27,634	26,931	26,184	19,889	15,010	22,279	22,988	766.26	202,447
2016	18,255	23,631	13,882	9,041	8,333	7,692	13,472	449.08	118,647
2017	23,498	24,081	24,613	13,180	6,976	11,261	17,268	575.61	152,075
2018	23,305	24,235	20,505	12,080	7,810	6,274	15,702	523.38	138,278
2019	26,515	28,448	26,715	16,615	12,530	15,817	21,107	703.55	185,880
2020	25,590	26,561	23,341	15,261	20,320	20,808	21,980	732.67	193,572

Fuente: elaboración propia.

Por lo cual, se tiene una DEMANDA ACTUAL de 732.67 m³/día (193,572 gal/día) en promedio.

Considerando los valores promedio de los años anteriores, esta demanda es 4.1 % mayor a la de 2019, 40.0 % mayor a la del 2018, 27.3 % mayor a la del 2017, 63.1 % mayor a la del 2016 y 4.4 % menor a la del 2015.

Analizando los datos mensuales de los años anteriores, se tuvo una demanda máxima durante el mes de febrero de 2019, siendo esta de 28,448 m³ en 30 días = 948.27 m³/día (250,533 gal/día); que corresponde al 29.4 % arriba del promedio de demanda actual.

Se considera que la demanda de agua en la Finca de Producción de Semillas se comportará de manera similar durante los próximos 20 años a futuro (sin crecimiento significativo), dado el espacio físico disponible dentro del sitio. Existe por otro lado una amenaza por el crecimiento poblacional de los alrededores dado que la finca se encuentra dentro del perímetro de influencia del área urbana, así mismo la presión que se tiene sobre la tierra agrícola. Según la tendencia de los datos anteriores, la demanda de agua tiende al alta (aumenta), por lo tanto, se calcula la demanda futura como promedio del alta porcentual en los años anteriores:

$$\text{Demanda futura} = (4.1 + 40.0 + 27.3 + 63.1 - 4.4) / 5 = 26.0\% \text{ MAYOR:}$$

Tabla XX. **Demanda de agua**

DEMANDA DE AGUA	ACTUAL (2020)	FUTURA (2040)
PROMEDIO	732.67 m ³ /día	923.16 m ³ /día
MÁXIMA	948.27 m ³ /día	1,194.8 m ³ /día

Fuente: elaboración propia.

3.2. Cuantificación del consumo de agua en la actividad productiva y otras actividades

El agua abastecida en la finca de producción de semillas mediante los 2 Pozos mecánicos y pozo artesanal es almacenada en reservorios con capacidad de 6,000 a 127,000 galones para su resguardo y posterior desinfección con cloro. Luego de ello el agua es bombeada las diferentes áreas del sitio para los siguientes usos:

- Batería de Baños: invernaderos 4, 14, 36, 44, 52, 60, 93, 103, 113 y 206.
- Duchas: invernaderos 11, 80, 103.
- Calderas: para generación de vapor.
- Laboratorios: CT pura y CT sin.
- Procesos: escarificación, Bodega de Semillas, área de desinfección.
- Lavanderías: campo B, Administración y CT.
- Administración: complejo casa gerencial, complejo de oficinas administrativas y guardería.
- Riego producción: agua con y sin fertilizante.
- Riego Calles: camión cisterna del pozo artesanal
- Otros: mini-granja, campo de futbol principal y auxiliar, pileta jardín central, estación de cloración.
- Reservorio: agua almacenada en todos los tanques a fin de mes.

Se cuantifica de la siguiente manera según las lecturas mensuales de los contadores durante el período de junio 2019 a mayo 2020 (12 meses).

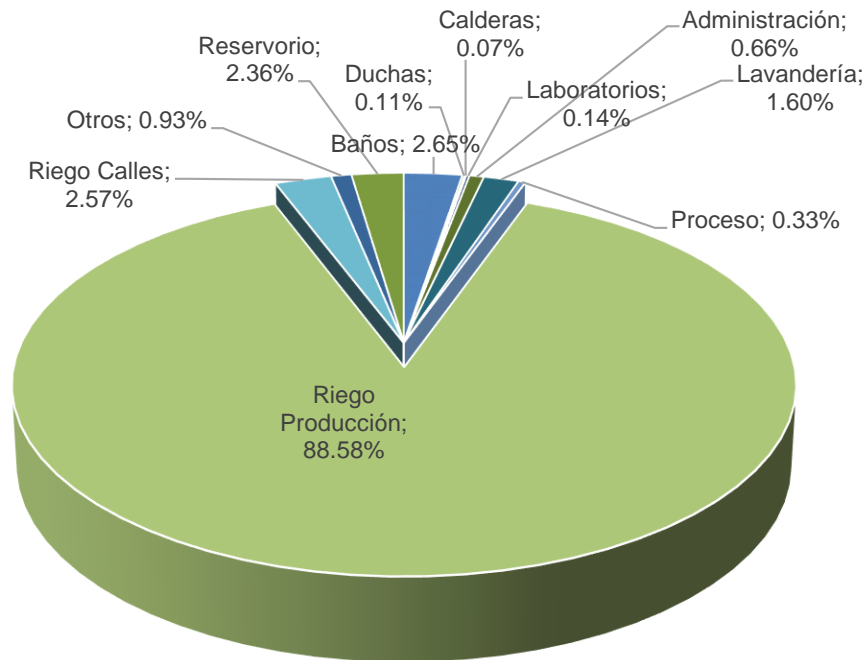
Tabla XXI. Consumo mensual de agua (m³) por usos en diferentes áreas

MES	Total Pozo	Baños	Duchas	Calderas	Laboratorios	Administración	Lavandería	Proceso	Riego Producción	Riego Calles	Otros	Reservorio
jun-19	15817	556	22	27	26	78	178	99	14650	0	181	0
jul-19	23099	402	20	10	28	91	179	48	21975	206	140	0
ago-19	20074	513	27	7	32	104	206	70	18891	0	224	0
sep-19	16099	556	29	15	27	61	298	90	14796	0	227	0
oct-19	13888	560	22	8	29	66	289	19	12649	0	246	0
nov-19	17758	374	17	5	21	74	363	31	15373	670	160	670
dic-19	23664	378	18	13	55	143	297	47	20952	833	390	538
ene-20	25590	660	33	15	39	174	375	84	20055	2000	165	1990
feb-20	26561	712	24	2	25	217	268	59	21702	1681	184	1687
mar-20	23341	617	21	19	19	309	449	83	20480	586	176	582
abr-20	15261	614	18	36	26	163	640	77	13113	239	96	239
may-20	20320	463	15	10	21	104	320	87	19248	0	52	0
Total (m3)	241472	6405	266	167	348	1584	3862	794	213884	6215	2241	5706
Promedio	20123	534	22	14	29	132	322	66	17824	518	187	476
Por ciento	100%	2.65%	0.11%	0.07%	0.14%	0.66%	1.60%	0.33%	88.58%	2.57%	0.93%	2.36%

Fuente: elaboración propia.

Analizando los datos obtenidos en la tabla anterior se grafica la figura 24 en donde se determina que el mayor consumo que se tiene de agua dentro de la finca es para riego en producción (por goteo) con el 88.58 % del total. Otro consumo importante es el agua que se usa para los servicios sanitarios en los baños con 2.65 % y el agua que se usa para riego de calles y caminos con 2.57 %, por lo que es importante realizar las gestiones para la minimización que se detallarán en el capítulo 4, dentro de dichas acciones se encuentra en práctica el uso de plásticos en los invernaderos de cultivo contribuyendo a disminuir la evaporación del suelo.

Figura 24. **Cuantificación del consumo de agua por área**



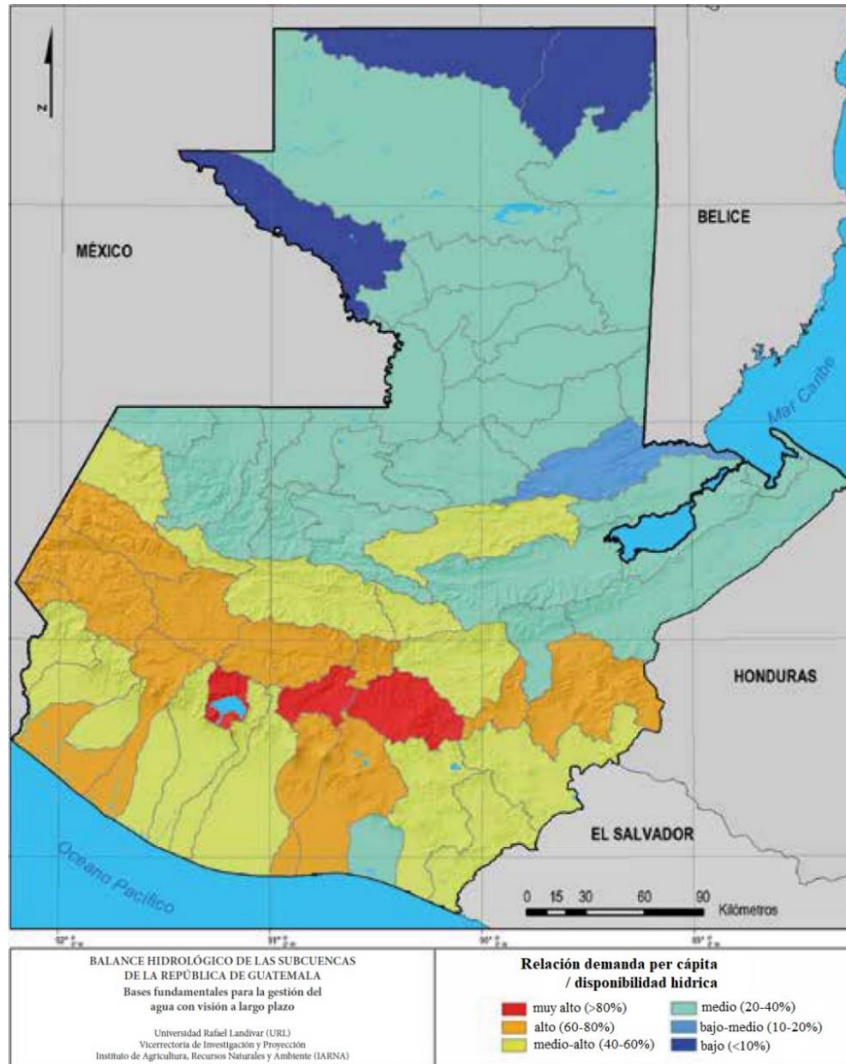
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office

3.3. Estrés hídrico por parte del usuario

El estrés hídrico se produce cuando la cantidad demanda de agua es mayor al volumen de agua que se tiene disponible o cuando su utilización se ve restringida por la deficiente calidad de esta. Si en una región los abastos anuales de agua disminuyen por debajo de los 1,700 metros cúbicos por persona, se considera que existe una situación de estrés hídrico. Según informe de las ONU, una sexta parte de la población a nivel mundial se encuentra en esta situación, y

este problema global se está volviendo cada vez más grave (WRI, 2013). En la figura 25, se muestra el comportamiento en el territorio de Guatemala, siendo los departamentos más afectados Jalapa, Guatemala y Sololá.

Figura 25. Escalas de estrés hídrico



Fuente: IARNA (2014). *Balance Hidrológico de las Subcuencas de la República de Guatemala.*

Se categorizan las escalas de estrés según la siguiente tabla, en función del porcentaje de retiro del agua disponible para las 5 categorías desde bajo, pasando por medio a alto.

Tabla XXII. **Evaluación del nivel de estrés**

%	NIVEL DE ESTRÉS
<10	BAJO
10-20	MEDIO – BAJO
20-40	MEDIO – ALTO
40-80	ALTO
>80	MUY ALTO

Fuente: WRI (2013). *Nivel de estrés a nivel nacional.*

Según último aforo de la empresa perforadora de fecha mayo de 2019 (ver Tabla V), la cantidad de agua disponible para los 2 pozos mecánicos es 550 gpm+ 275 gpm = 825 gpm, que para la jornada de producción dentro del sitio de 10 horas de bombeo corresponde a 495,000 gal/día.

Por lo tanto, para la demanda máxima de agua actual (250,533 gal/día) el nivel de estrés será:

$$\text{porcentaje estrés} = \text{demanda máxima} / \text{capacidad máxima} * 100$$

(Ecuación 1)

$$\text{porcentaje estrés} = 250,533 / 495,000 * 100 = 51 \%$$

Se tiene por tanto un estrés del agua alto en la Finca de producción de semillas.

3.4. Disponibilidad y escases hídrica

En muchos países, la velocidad de su uso del agua supera con creces la velocidad de reposición (recarga). Las razones de la escasez de agua son

diversas y complejas, pero en la mayor de los casos es debido a la crisis climática y el fenómeno del calentamiento global. A esto se añade el acelerado crecimiento poblacional, alteración y disminución de la época lluviosa, la contaminación industrial, sobreexplotación de las aguas subterráneas, mala gestión del recurso hídrico local, conflictividad entre poblaciones. Para el año 2040 alrededor de una quinta parte del mundo sufrirá complicaciones concernientes con el abasto de agua potable (WRI, 2013).

Como se mencionó anteriormente, se tiene disponible un caudal de 825 gpm por parte de los 2 pozos mecánicos, por lo tanto, la disponibilidad de agua durante 10 horas jornada productiva será:

Disponibilidad = 825 gal/min * 60 min/1 hora * 10 hora/1 día = 495,000 gal/día

Disponibilidad = 495,000 gal/día * 3.785 L/1 gal * 1 m³/1000 L = 1,874 m³/día

Considerando el área total de la Finca (ver figura 5):

Área = invernaderos + edificios + bodegas + caminos + área verde + plataformas
(Ecuación 2)

$$\text{Área} = 290,595.75 \text{ m}^2$$

La disponibilidad específica de agua (D.E.) será:

$$\text{D.E.} = 1,874 * 1,000 \text{ (L/día)} / 290,595.75 \text{ m}^2 = 6.45 \text{ L/m}^2/\text{día}.$$

Por consiguiente, se considera que no existe escasez, dado que este valor es mayor al criterio de dotación mínima correspondiente a riego de áreas verdes > 5 L/m²/día. (~29 % sobre el nivel de lo considerado Escasez).

Es importante aclarar que, aunque no existe escasez por tener disponibilidad suficiente de agua por unidad de área, este recurso se encuentra

bajo estrés alto por la alta demanda (mayor al 40 % de lo disponible) por parte de la actividad productiva que se realiza dentro de la finca.

Dentro de las acciones que actualmente se implementan para el buen uso y ahorro del agua se encuentran las prácticas de producción más limpia, instalándose medidores en todas las áreas de consumo de la finca, capacitaciones de concientización para el uso racional del agua a los trabajadores de la finca, tecnología de riego por goteo y uso de plásticos, así como la rápida detección y reparación de fugas en la red de distribución. Dentro de las acciones a implementarse a corto y mediano plazo se encuentra la instalación de sanitarios ahorradores, el reúso de las aguas residuales tratadas para riego de calles y aguas verdes las cuales se detallan en el capítulo 4: plan de gestión para el mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

3.5. Reputación y permisos del agua

La Sociedad Anónima propietaria de la finca de producción de semillas se encuentra legalmente constituida según patente de comercio registro 189667 “A” folio 442 y libro 153 de empresas mercantiles. Además, se cuenta con Instrumento Ambiental de número de expediente D-225-11 y Resolución Aprobatoria No. 3555-2011/DIGARN/ECM/caml y Licencia Ambiental No. 04628 -2016/DIGARN código 02OPK4R27N, vigente en donde se considera que la fuente de abastecimiento de agua son los pozos mecánicos. Por lo tanto, se cuenta con los permisos establecidos en la legislación vigente.

Así mismo dentro del diagnóstico ambiental (Formato DVGA-GA-013) en la página 008 incisos IX.3 al IX.5 se concluye que la Empresa no ha causado ningún tipo de molestias a los vecinos incluyendo el servicio de agua y se tiene una

correcta gestión de los aspectos ambientales, además se busca beneficiar a todos los colaboradores los cuales provienen de zonas aledañas. Por lo tanto, se tiene una buena reputación.

3.6. Balance hidrológico

También llamado balance de agua en hidrología es una ecuación utilizada para describir la entrada y salida de agua dentro de un sistema. El concepto de balance hídrico se deriva del balance contable, que es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y todos los recursos hídricos perdidos dentro de un cierto intervalo de tiempo (León, 2005, pág.75). El sistema puede ser uno de varios campos hidrológicos, como pilares del suelo o cuencas hidrográficas. Una ecuación general de balance hídrico es:

$$P = Q + ET + \Delta S \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

P: precipitación

Q: escorrentía superficial

ET: evapotranspiración

ΔS : cambio en el almacenamiento (suelo o en rocas)

El balance hídrico se puede utilizar para administrar el suministro de agua y predecir cuándo ocurrirá la escasez. El balance hídrico se puede describir mediante los niveles de precipitación y evapotranspiración. El balance hídrico natural incluye los siguientes términos según Iñiguez (2003):

$$P - ET + (Q_{so} + Q_{uo}) - (Q_s + Q_u) - \Delta A - n = 0 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

P: precipitación

ET: evapotranspiración

Qso: caudal superficial de entrada (cuando hay abastecimiento superficial)

Quo: caudal subterráneo de entrada (agua de pozos)

Qs: caudal superficial de salida (escorrentía + aguas residuales)

Qu: caudal subterráneo de salida (infiltración)

ΔA : cambio de almacenamiento en el sitio de estudio (reservorio).

n: error de estimación o pérdidas indeterminadas (debe ser menor al 5 %)

Por lo tanto, el balance hídrico dentro de la finca de producción de semillas queda de la siguiente manera:

$$\text{Precipitación} - \text{Evapotranspiración} + \text{Agua Pozos} - (\text{Agua Residual} + \text{Escorrentía} + \text{Infiltración}) - \text{Reservorio} - \text{Pérdidas} = 0$$

(Ecuación 5)

3.6.1. Precipitación

La precipitación pluvial se calcula por medio del producto de la intensidad de lluvia y el área total del proyecto utilizando el método racional (Villón, 2002).

$$P = I * A / 360$$

(Ecuación 6)

Donde:

P: Precipitación (m³/s)

C: coeficiente de escorrentía.

I: intensidad de lluvia (mm/h).

A: área de del sitio de estudio (ha).

La intensidad de lluvia "I" se determina mediante el mapa de la figura 15 (precipitación media) en un período de retorno de 10 años. Para la finca de producción de semillas, se interpola en una isolinia I= 210 mm/h. Multiplicando por el área total del proyecto (290,595.75 m²), A = 29.06 hectáreas, se obtiene:

$$P = 210 \cdot 29.06 / 360 = 16.95 \text{ m}^3/\text{s} = 16,950 \text{ L/s}$$

3.6.2. Agua de pozos

En el subcapítulo 3.1, se determinó que la demanda de agua promedio actual es de 732.67 m³/día que para 10 horas diarias de operación equivale a $732.67 \cdot 1000 / (10 \cdot 3600) = 20.35 \text{ L/s}$

3.6.3. Aguas residuales

El caudal de aguas residuales ordinarias tratado en las 3 plantas de tratamiento de la Finca de Producción de semillas corresponde al consumo promedio de agua para los usos: baños + duchas + administración + lavandería; (determinados en la sección 3.2) multiplicado por un factor de retorno (Fr) del 80 %:

$$Q_{ar} = (Q_{\text{baños}} + Q_{\text{duchas}} + Q_{\text{administración}} + Q_{\text{lavandería}}) \cdot Fr$$

(Ecuación 7)

$$Q_{ar} = (534 + 22 + 132 + 322) \cdot 0.80 \text{ m}^3/\text{mes}$$
$$Q_{ar} = 808 \text{ m}^3/\text{mes} \cdot 1 \text{ mes}/30\text{días} = 26.93 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para 10 horas diarias de operación equivale a:

$$(33.66 \cdot 1000 / (10 \cdot 3600)) = 0.748 \text{ L/s}$$

Por otra parte, la cantidad de aguas residuales de tipo especiales tratadas en la planta fisicoquímica, según a la cantidad de agua consumida para el lavado

de toneles y recipientes con agroquímicos, se determina el siguiente caudal máximo: $Q_e = 20 \text{ m}^3/\text{mes} = 667 \text{ L/día} = 0.018 \text{ L/s}$

Por tanto, el caudal total de aguas residuales es:

$$Q = 0.748 \text{ L/s} + 0.018 \text{ L/s} = 0.766 \text{ L/s.}$$

3.6.4. Escorrentía

Se calcula como el producto de la Precipitación por un coeficiente de escorrentía "C" (relación entre escorrentía y cantidad de lluvia) a ponderarse en base a las áreas del proyecto de la figura 5. Para áreas impermeables se asigna un valor "C" de 1 dado que toda el agua escurre sin infiltrarse, mientras que en áreas verdes permeables donde un 90 % del agua se infiltra y solo el 10 % escurre se asigna un valor de "C" de 0.1.

Tabla XXIII. **Coeficiente de escorrentía**

SECTOR	AREA (M2)	C
Invernaderos	160,000	1
Edificios	20,000	1
Bodegas	10,000	1
Área Verde	40,000	0.1
Caminos	40,000	0.3
Plataformas	20,000	0.8
Otras	595	0.8
TOTAL	290595	0.77

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, la escorrentía será igual a $E = 0.77 * 16,950 \text{ L/s} = 13,051 \text{ L/s}$

3.6.5. Infiltración

Se calcula como el producto de la Precipitación por el recíproco del coeficiente de escorrentía: "1-C". Se obtiene:

$$I = (1-0.77)*16,950 \text{ L/s} = 3,899 \text{ L/s.}$$

3.6.6. Reservorio

En la sección 3.2, se determinó que se tiene un reservorio promedio de agua mensual de 476 m³, que para 10 horas diarias de operación corresponde a = 476*1000/30/10/3600 = 0.44 L/s

3.6.7. Evapotranspiración

La evapotranspiración corresponde al agua que se utilizó para riego la cual aprovechan los cultivos de la Finca y lo devuelven al ambiente en forma de vapor. Se calcula por medio de la Evapotranspiración potencial anual de la tabla VII, de 1456 mm/año por el área de invernaderos + área verde (A= 160,000 + 40,000 = 200,000 m²) y un factor de 12 horas de luz diurna (43200 s/día):

$$\begin{aligned} \text{EVT} &= (1456\text{mm/año} * 1\text{año} / 365\text{día} * 1\text{día} / 43200\text{s} * 1\text{m} / 1000\text{mm}) * 200000\text{m}^2 \\ \text{EVT} &= 0.01847 \text{ m}^3/\text{s} = 18.47 \text{ L/s} \end{aligned}$$

3.6.8. Balance

Sustituyendo en la ecuación 5 se obtiene lo siguiente:

$$16950 - 18.47 + 20.35 - (0.766 + 13051 + 3899) - 0.44 - \text{Pérdidas} = 0$$

$$0.664 - \text{Pérdidas} = 0$$

$$\text{Pérdidas} = 0.664 \text{ L/s}$$

3.7. Relaciones hídricas de sostenibilidad

Posterior al balance, se realizan los cálculos de pérdidas indeterminadas y estimación de la recarga:

3.7.1. Pérdidas indeterminadas

Del balance hidrológico de la sección anterior (3.6) se determina que las pérdidas indeterminadas dentro de la finca de producción de semillas se estiman en 0.664 L/s, que para 10 horas de producción diarias corresponde a: $0.664 \cdot 3600 \cdot 10 \cdot 30 / 1000 = 717.12 \text{ m}^3/\text{mes}$ ($23.90 \text{ m}^3/\text{día} = 6,315 \text{ gal/día}$).

Respecto a la demanda actual de agua ($732.67 \text{ m}^3/\text{día}$), esto corresponde a: $23.90 / 732.67 = 3.26 \%$ de total de agua abastecida a la finca. Dicho valor indica que se hace una regular gestión en el uso del recurso hídrico.

3.7.2. Recarga hídrica

Otra relación importante para analizar es la razón entre el agua que se infiltra durante la época de lluvia (potencial para la recarga hídrica) y el agua extraída del subsuelo por medio del bombeo de los pozos mecánicos.

Considerando el promedio de días de lluvia en el país según la figura 13, el área de estudio se ubica en la isolínea $N = 125 \text{ días/año}$. Para un período de ocurrimiento de precipitación de 20 min/día, el volumen total de agua de infiltración anual será:

$$V_i = 2.836 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 60 \text{ s/min} \cdot 20 \text{ min/día} \cdot 125 \text{ día/año} = 425,400 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por otro lado, para 300 días de producción promedio anual en la finca el volumen total de agua bombeada de los pozos según la demanda actual será:

$$V_b = 732.67 \text{ m}^3/\text{día} * 300 \text{ día/año} = 219,801 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, el régimen de recarga hídrica potencial será:

$$R = V_i/V_b \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$R = 425,400 / 219,801 = 1.94 \text{ veces}$$

Por lo que de manera potencial anualmente de recarga de 1.94 veces más el acuífero de lo que se extrae de agua por medio de los pozos existentes. Por lo que se considera preliminarmente sustentable el recurso hídrico dentro de la finca de producción de semillas.

3.8. Índice de sostenibilidad del recurso hídrico

En la tabla de ponderación XXIV, se califica cada uno de los factores de sostenibilidad biofísico, tecnológico, socioeconómico y político, según la escala de evaluación ISRHA: índice de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola; en función del siguiente criterio que puntuación:

1 = muy mala, 2 = mala, 3 = permisible, 4 = buena, 5 = excelente.

El promedio ponderado de esta tabla concluirá en la sostenibilidad global de la finca según la escala de puntuación del 1 al 5.

Tabla XXIV. **Matriz de evaluación índice de sostenibilidad del recurso hídrico**

FACTOR	VARIABLE	INDICADOR	ESTADO (Interpretación)	Ponderación
BIOFÍSICO	Calidad del agua	¿El agua potable cumple con la norma COGUANOR 29001?	Los dos pozos mecánicos incumplen con cloro total y dos o más parámetros fisicoquímicos de origen mineral: magnesio, manganeso, calcio, así como turbiedad, TDS y dureza.	2
		¿Las aguas residuales cumplen con los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006?	En la etapa actual sólo uno de los 3 efluentes de aguas ordinaria incumple con nitrógeno. Las aguas especiales del tratamiento fisicoquímico cumplen con los parámetros del Acuerdo.	4
		¿El agua potable y/o aguas residuales cumplen con los límites máximos bacteriológicos?	El agua potable reporta ausencia en cuanto a E.Coli, coliformes fecales y totales, asimismo las aguas residuales descargadas reportan ausencia en Coliformes fecales.	5
		¿Hay residuos de plaguicidas en las aguas residuales?	Los compuestos organoclorados y organofosforados están por debajo del límite de detección en su mayoría, según informe de análisis del laboratorio.	4
		¿Los monitoreos de aguas residuales y agua potable se realizan al menos 2 veces al año?	No se encontró registro de que las aguas residuales sean monitoreadas 2 veces al año.	2
	Oferta Hídrica	¿La dotación de agua es suficiente?	Según análisis realizado, para la demanda de agua promedio respecto al área total del sitio la dotación equivale a 6.45 L/m ² /día, es mayor al criterio para áreas verdes que es de 5 L/m ² /día.	4
		¿Existe estrés hídrico?	El nivel de estrés es 51%, considerado como un valor alto.	3
		¿La recarga hídrica es mayor al agua que se extrae el manto acuífero?	La recarga hídrica se estima en 1.94 veces mayor al volumen de agua extraída del manto acuífero.	4
		¿Existe un reservorio que permita el abastecimiento temporal en caso no poder extraer agua del pozo?	Existe 5 reservorios con una capacidad total de más de 1,400 m ³ suficiente de abastecer de agua por 2 o 3 días a la finca.	5

Continuación tabla XXIV.

FACTOR	VARIABLE	INDICADOR	ESTADO (Interpretación)	Ponderación
TECNOLÓGICO	Sistema de tratamiento	¿Se cuenta con sistema de depuración para las aguas residuales?	Se cuenta con tres sistemas de tratamiento completos. Para las aguas especiales una planta fisicoquímica.	5
		¿Las aguas residuales tratadas son aprovechadas para riego o estabilización del suelo?	Actualmente no se reusa ningún efluente de aguas residuales. Se utiliza el agua de un pozo artesanal para riego de calles.	2
		¿Los lodos residuales son dispuestos de manera adecuado o utilizados como abono?	Se subcontrata a una empresa especializada para la disposición final de ellos.	5
		¿Se cuenta con dispositivos la medición de caudal y para toma de muestras?	A la salida y entrada de las plantas de tratamiento se realiza la medida del caudal y se cuenta con puntos específicos para la recolección de muestras.	5
	Agua de riego	¿El sistema de riego es el más eficiente en cuanto a aprovechamiento del agua?	Se utiliza un sistema de riego por goteo, el cual es monitoreado cada día por medio de medidores optimizando el consumo por unidad de cultivo.	5
		¿El tratamiento del agua para riego se realiza con fertilizantes amigables con el medio ambiente?	En el Instrumento Ambiental se especifican cada uno de los fertilizantes utilizados los cuales no causan efecto tóxico en las aguas residuales según análisis de laboratorio para organoclorados y fosforados.	5
	Suministro de agua	¿Las pérdidas indeterminadas superan el 5% del total de agua suministrada?	Las pérdidas indeterminadas se estiman en un 3.26 %	4
		¿La demanda de agua proyectada a futuro tiende a la baja?	La demanda a futuro tiende al alta con un crecimiento de 26 % a 20 años.	2

Continuación tabla XXIV.

FACTOR	VARIABLE	INDICADOR	ESTADO (Interpretación)	Ponderación
SOCIOECONÓMICO	Operarios	¿Se realizan capacitaciones para concientizar sobre el uso racionado del agua?	El personal recibe las capacitaciones para optimizar el uso del recurso hídrico.	5
		¿El nivel educativo del personal es el adecuado?	Tanto el personal como los supervisores de cada área cuentan con diplomas sobre buenas prácticas agrícolas y seguridad industrial	5
	Demanda	¿Se cuenta con medidores para poder llevar el control del uso racionado del agua?	Se cuenta con medidores de agua y se realiza el análisis del porcentaje de consumo de agua en todos usos internos del sitio.	5
POLÍTICO	Autorizaciones	¿Existe buena reputación con la comunidad en cuanto al uso del agua?	En el Instrumento ambiental se concluye que la Empresa no ha causado ningún tipo de molestias a los vecinos.	5
		¿Se cuenta con todos los permisos y se cumple con lo establecido por la legislación vigente?	Se cuenta con Patente, Instrumento ambiental aprobado, Licencia Ambiental vigente, respecto al Acuerdo Gubernativo 236-2006 es necesario realizar el monitoreo establecido 2 veces al año	4
	Estudios del pozo	¿Se cuenta con un estudio hidrogeológico que establezca la situación actual de la explotación del pozo respecto a la permeabilidad del subsuelo y agotamiento del acuífero?	No se ha realizado estudio hidrogeológico. Se cuenta con pruebas de bombeo anuales en los 2 pozos mecánicos existentes.	2
PONDERACIÓN PROMEDIO ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD				4.0
= BUENA SOTENIBILIDAD				

Fuente: elaboración propia.

4. PLAN DE GESTIÓN PARA MEJOR APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO

4.1. Minimización del consumo

Como se muestra en la gráfica de la figura 24, el mayor consumo de agua se tiene en el uso productivo para riego, para lo cual se recomienda seguir trabajando en el riego por goteo y en el programa de Producción más Limpia (PML) en materia de gestión del agua, con el propósito reducción de costos de producción y tratamiento, como valor agregado se tendrán beneficios ambientales relacionados con la conservación del recurso hídrico, que por efectos del cambio climático se hace cada vez más escaso y con la consecuente reducción del volumen de efluente hídrico disponible, así como la disminución de aguas residuales; y beneficios sociales como la reducción del recurso energético para obtención de agua mediante bombeo del subsuelo.

- Concientizar y capacitar al personal en cuanto al uso racional del agua. Es importante que el personal de la Finca de producción de semillas esté consciente en que su forma de trabajar afecta el consumo de agua y, por ende, la productividad de la empresa. La capacitación tendría que ser dirigida a introducir prácticas y uso eficientes en el quehacer diario de los operarios, como, por ejemplo, la limpieza en seco, el respeto de los tiempos establecidos de lavado, el cierre de grifos cuando éstos no son utilizados, así como otros asociados al recurso. A fin de asegurar buenos resultados, se deberá evaluar frecuentemente el grado de aprendizaje de los operarios luego de impartir las capacitaciones.

- Identificar y evitar pérdidas de agua por fugas y rebalses. Debido a la operación constante del sitio de la finca de producción, se pueden dar fugas de agua o vapor en tuberías, mangueras, válvulas, grifos, inodoros, tanques y otros. A fin de evitar estas pérdidas, se deben efectuar inspecciones regulares de todo el sistema de abastecimiento de agua incluidos los puntos de consumo. Además, se debe mantener monitoreado de forma frecuente los medidores de agua en horas en las que no se opera, como por ejemplo en la noche, fines de semana y asuetos. La cantidad de agua registrada como consumo en los medidores en horas de inactividad, es generalmente agua desperdiciada por fugas no visibles, rebalses o usos de agua ajenos a la producción.

- Optimizar el uso del agua en los servicios sanitarios de las instalaciones. Al momento de realizar alguna remodelación dentro del sitio, se debe de considerar que en los servicios sanitarios los inodoros poseen volúmenes de descarga mayor a 6 L (entre 10 y 20 L/descarga), grifos ineficientes con caudales entre 5 y 10 L/min y duchas de gran caudal mayores a 9 L/min. Con el propósito de optimizar el consumo de agua en estas áreas, se recomienda llevar a cabo las siguientes medidas:
 - Instalar inodoros eficientes con volúmenes de descarga de 4 litros, o colocar reductores de volumen de agua en el tanque de los inodoros.
 - Instalar grifos de bajo caudal o en su defecto, economizadores para grifos que conlleva la instalación de un aireador, el cual puede ahorrar hasta el 50 % de agua. El caudal en los grifos de los lavamanos no debería ser mayor a 2 L/min.
 - En el caso de requerirse, instalar duchas ahorradoras con caudales no mayores de 9 L/s.

- Optimizar el uso de agua en las operaciones de limpieza. Se ha observado que las operaciones de limpieza efectuadas de manera ineficiente incrementan el uso de agua, por lo cual el sitio debe mantener un constante control de las causas más comunes de ineficiencia en dichas operaciones, entre las que se puede mencionar: El uso de manguera a manera de escobas. En algunos casos los operarios utilizan el agua de las mangueras para desprender residuos sólidos adheridos al piso y luego arrastrarlos al drenaje, cuando lo que corresponde hacer es recoger en seco estos residuos. En otros casos no se controlan de manera inmediata las fugas en las mangueras, grifos o llaves de paso.

Uno de los consumos mayores de agua dentro de la finca es el que se utiliza para los baños y servicios sanitarios. Se recomienda a la finca de producción de semillas instalar inodoros con volúmenes de descarga de 1 galón (3.7 a 4 L) como se mencionó anteriormente. Así mismo se recomienda aprovechar el agua de lluvia captándola a través de las bajadas de agua pluvial de los invernaderos y acumularla en reservorios para utilizarse en la red hidráulica de los servicios sanitarios.

Otro consumo considerable es el agua que se acumula en el reservorio, por lo que se recomienda tratar en lo posible de utilizar esta agua de manera eficiente como se menciona en párrafos anteriores de las actividades de Producción más limpia.

4.2. Reúso del agua

El desarrollo sostenible se propone como un método para aclarar sistemáticamente los diferentes actores y procesos involucrados en el desarrollo regional basado en el cuidado de nuestros recursos naturales; sin embargo, las

amenazas al cambio global, la desigualdad, la pobreza, y la visión sectorial ha causado importantes impactos socioeconómicos y ambientales, limitando así la inversión. De esta manera, el desarrollo sostenible puede verse como la base y el propósito de proporcionar soluciones efectivas a los problemas en la región, y la región puede promover la igualdad para las generaciones presentes y futuras, y el acceso integral a nuevos y mejores recursos socioeconómicos y ambientales.

Debido al cambio climático, es previsible que el suministro de agua fluctúe más y que la temporada de lluvias se vuelva cada vez más inestable. La creciente incertidumbre hace que la gestión de los contenedores de agua desempeñe un papel central. Para gestionar los contenedores de agua a gran escala, se ha desarrollado un plan 3R. La visión de 3R es ayudar a las personas, incluidas aquellas que experimentan dificultades y viven en áreas inestables, a creer que el cambio climático no afectará su sustento en gran medida e incluso puede controlar las aguas locales a través de la gestión.

Las 3R son los tres pasos para gestionar la contención: recargar, retener y reutilizar. El embalse se refiere al embalse especialmente en el suelo superior, acuífero poco profundo y superficie local. La gestión de las aguas cerradas es crucial: determina la forma en que viven las personas y la economía que debe mantenerse. Ante la crisis local del agua, la idea no es asignar agua escasa, sino recolectar agua y maximizar el uso y la reutilización de la cadena dentro de la cuenca, teniendo en cuenta las personas y las cuencas ambientales más importantes de todas las personas (Banco Mundial, 2010).

Las 3R se puede aplicar a zonas urbanas y rurales húmedas y secas. 3R debe ser parte del orden territorial local y el desarrollo regional. Incluye el aumento de las tecnologías locales de almacenamiento de agua (diques subterráneos, terraplenes de arena, almacenamiento de agua superficial),

infiltración a gran escala, establecimiento de embalses, retención de agua subterránea en áreas muy húmedas, gestión conjunta del riego a gran escala, control del drenaje, adaptación de la planificación vial para recargar y muchas de estas tecnologías, como la intercepción, tienen razones económicas.

Un consumo considerable dentro de la Finca de producción de semillas es el agua que se utiliza para riego de calles. En este caso se recomienda reusar las aguas residuales tratadas para riego de áreas verdes en cumplimiento con los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 artículo 35 para reúso tipo I, tanto para las aguas ordinarias como para las aguas especiales. De esta manera se estará contribuyendo a la recarga hídrica del subsuelo. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran operando actualmente, se considera como parte de la tecnología un tanque para la captación de las aguas tratadas con el fin de poderse reusar.

4.3. Amenazas externas

La importancia del aprovechamiento del recurso hídrico radica en que el agua siendo un recurso finito, su disponibilidad tiende a disminuir al ritmo de crecimiento poblacional e industrial. La finca se encuentra ubicada en el área de influencia de casco urbano del municipio de Amatitlán, así también cercana a la zona industrial que se extiende sobre la carretera al Pacífico, los cuales se abastecen principalmente de agua subterránea por medio de pozos mecánicos y artesanales (Herrera y Barrientos, 2016), resultando en amenazas externas para el acuífero del cual se abastece la finca. Las más importantes a mencionarse son:

- El crecimiento poblacional cuya mancha urbana se extiende cada vez más sin un ordenamiento territorial, demanda mayores cantidades de agua para

sus actividades socioeconómicas, siendo la vía más factible para el abastecimiento la perforación de pozos en urbanizaciones y centros comerciales. Al encontrarse dentro del mismo acuífero el cono de abatimiento provocará disminución en los niveles freáticos y problemas de escases en algunos puntos. Proteger las zonas de recarga hídrica es menester para evitar llegar a estos extremos.

- Las actividades industriales que se realizan dentro de la zona como embotelladoras e industrias de alimentos, al incrementarse la demanda de producción también necesitan de mayores volúmenes de agua para operar; por lo cual se debe promover las acciones de minimización del consumo y prácticas de producción más limpia invirtiendo en equipos más eficientes y nuevas tecnologías enfocadas al ahorro de agua en producción.
- El incremento de pozos para riego agrícola no controlado resulta en altas demandas de agua y estrés hídrico. Se deben buscar fuentes alternativas para abastecimiento como el aprovechamiento de agua de lluvia y el cuidado de los cuerpos de aguas superficiales evitando su contaminación con aguas residuales sin tratamiento. Promover tecnologías de riego más eficiente como el riego por goteo que se practica en el sitio de estudio es importante para mitigar esta amenaza externa.

CONCLUSIONES

1. Por el área geológica en la que se ubica la finca: rocas de origen volcánico, la calidad del agua en los dos pozos se ve influenciada por dicha litología (lavas de carbonatita) y por el hidrotermalismo; en donde la temperatura es alta y el contenido de dureza es elevado debido al alto contenido de sólidos disueltos como calcio y magnesio, incumpliendo con la norma COGUANOR 29001 para agua potable. Mientras que las aguas residuales cumplen con los parámetros de vertido sin causar contaminación al subsuelo según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.
2. Durante un año, potencialmente dentro de la finca se recarga 1.94 veces más el manto acuífero de lo que se extrae de agua por medio de los pozos mecánicos, por lo que se considera sustentable el recurso hídrico considerando los usos productivos que se tiene para el agua siendo en un 88.58 % para riego.
3. Del balance hidrológico en el sitio de estudio se determina que las pérdidas indeterminadas de agua dentro de la finca de producción de semillas corresponden a 112.32 m³ al mes.
4. Se tiene una ponderación promedio del índice de sostenibilidad del recurso hídrico de 4.0, categorizada como buena sostenibilidad dentro de la finca.

5. Se tiene un estrés hídrico en la Finca de producción de semillas del 51 % que se considera alto, por lo que deberán implementarse acciones de mejora para la gestión del recurso tales como recarga hídrica, cosecha de agua de lluvia, reúso de aguas residuales tratadas, minimización de uso y optimización en el aprovechamiento.

RECOMENDACIONES

1. Implementar las prácticas de producción más limpia (PML) en materia de gestión del agua, con el propósito reducción de costos de producción y tratamiento, tales como las inspecciones regulares de toda la red de abastecimiento de agua incluidos los puntos de consumo a fin de evitar estas pérdidas indeterminadas de agua.
2. Aprovechar el agua de lluvia captándola a través de las bajadas de agua pluvial de los invernaderos y acumularla en reservorios para utilizarse en la red hidráulica de los servicios sanitarios.
3. Reusar las aguas residuales tratadas para riego en áreas verdes en cumplimiento con los parámetros del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 artículo 35 para reúso tipo I, tanto para las aguas ordinarias, como para las aguas especiales.
4. Posterior a la implementación del plan de gestión para el mejor aprovechamiento del recurso hídrico en de la finca, se deberá reevaluar la sustentabilidad del recurso y el índice de sostenibilidad utilizando trazadores para estimar el volumen y los puntos de recarga hídrica en el acuífero.
5. Realizar el estudio hidrogeológico de la finca de producción de semillas considerando la influencia del cono de abatimiento en el nivel piezométrico del acuífero local para el inventario de pozos relacionados con actividades comerciales, agrícolas e industriales.

REFERENCIAS

1. Alvarado, J.D. y Herrera, I.R. (2001). *Memoria técnica, mapa fisiográfico geomorfológico de la república de Guatemala, a escala 1:250,000*. Guatemala, UPIE / BID / INAB / PAFG. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.maga.gob.gt/download/fisiografia.pdf>.
2. American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Estados Unidos: Autor.
3. APHA. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Editorial Díaz de Santos.
4. Banco Mundial, GW-MATE (2010). *Gestión de aguas subterráneas en la GIRH, Manual de Capacitación*. Unión Europea: Autor. Recuperado de <http://www.argcapnet.org.ar/uploads/institucional/materiales/5a30385449880.pdf>.
5. Bonis, S. (1993). *Mapa Geológico de Guatemala, hoja Guatemala, Escala 1:250,000*. Guatemala: Editorial IGN.
6. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (1998). *Plan de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos del Istmo Centroamericano (Reporte Técnico)*. Guatemala: Autor.

7. Comisión Guatemalteca de Normas –COGUANOR- (1999). *Norma COGUANOR NGO 29 001:2010. Agua para consumo humano (agua potable)*. Guatemala: Autor.
8. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América (2000). *Evaluación de recursos de agua en Guatemala (Reporte Técnico)*. Estados Unidos: Autor.
9. Daho Pozos, Hidrotecnia, Aqua Corp. (2019). *Perfil pozos y Pruebas de bombeo Jardines Mil Flores, S.A. (Informe técnico privado)*, Guatemala: Autor.
10. FAO, (2002). *Cumbre mundial sobre la alimentacion. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Roma: Autor.
Recuperado de <http://www.fao.org/worldfoodsummit/sideevents/papers/y6899s.htm#TopOfPage>.
11. Herrera, I., y Barrientos, D. (2016). *Estudio Hidrogeológico de los Acuífero Volcánicos de la república de Guatemala. Informe Final. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales*. Guatemala: DIGI-USAC.
Recuperado de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2016-05.pdf> Consultado el 24/11/19.
12. Herrera, I. y Orozco, E. (junio, 2010). Hidrogeología de Ojo de Agua, cuenca sur de la Ciudad de Guatemala. Guatemala: *Revista Geológica de América Central*, volumen (42), pp. 85-97

13. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (IARNA) (2014). *Balance Hidrológico de las Subcuencas de la República de Guatemala*. Volumen (6) p.81. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40416>.
14. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landivar y The Nature Conservancy (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión a largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2017/10/Libro3.BasestcnicasparalagestindelaguaconvisindelargoplazoenlazonametropolitanadeGuatemala..pdf>.
15. Instituto Geográfico Nacional (1969). *Mapa geológico de Guatemala escala 1:50,000*. Guatemala: Autor.
16. Instituto Nacional de Estadística (2002). *XI Censo Nacional de Población y VI de habitación (Características de la población)*. Guatemala: Autor.
17. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2004), *Atlas Hidrológico*. Guatemala: Autor. Recuperado de http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_hidro.htm Consultado el 20/05/19.
18. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (1978). *Estudio de las aguas subterráneas en el valle de la ciudad de Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de

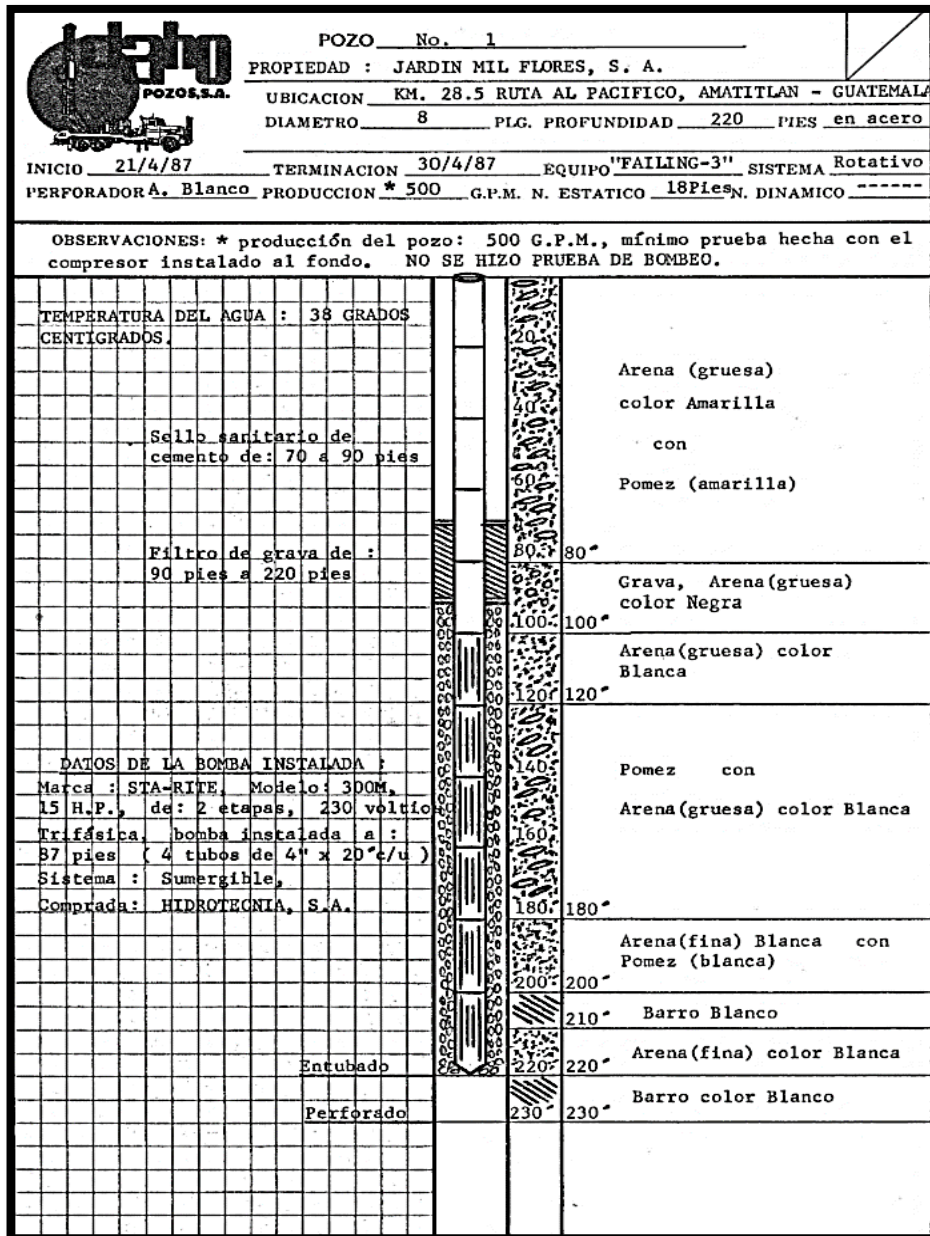
<https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2018/06/AGUAS-SUBTERRANEAS-EN-EL-VALLE-DE-CIUDAD-GUATEMALA-1978-tr.pdf>

19. Iñiguez, V. M. (2003). *Balance Hídrico de la Microcuenca de Páramo*. (Tesis de postgrado). Universidad de Cuenca. Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/7355>.
20. León, G. S. (junio, 2005). La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. Venezuela: *Revista Geográfica Venezolana*. Volumen (46) pp. 75-108.
21. Loaiza W., et al. (julio de 2011). Modelo para monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola. Bogotá: *Revista Colombiana de Geografía*. 1(20), pp. 3-11.
22. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2007). *Generalidades sobre las cuencas hidrográficas*. Guatemala: Autor. Recuperado de http://200.12.49.237/SIG_MAGA/paginas/atlas_tematico/hidricas_pag01.htm.
23. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2006). *Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y disposición de lodos*. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Guatemala: Autor.
24. Pérez, C. (junio, 2009). Estructura geológica del valle de la ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión. Guatemala: *Revista Geológica de América Central*, Volumen (41). pp. 71-78.

25. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2011). *Plan de desarrollo Amatitlán*. Guatemala: Dirección de Planificación territorial. Recuperado de <https://www.segeplan.gob.gt%2Fnportal%2Findex.php%2Fbiblioteca-documental%2Fbiblioteca-documentos%2Fcategory%2F50-guatemala%3Fdownload%3D69%3Apdm-amatitlan&usg=AOvVaw3REIRBsiEr3lgsgSjMuipg>.
26. Simmons, S.C.; Tárano, J.M. y Pinto, J.H. (1959). *Clasificación de suelos de la república de Guatemala*. Guatemala: Editorial José de Pineda Ibarra.
27. Villón, M. (2002). *Hidrología Estadística*. Costa Rica: Editorial Instituto Tecnológico de Costa Rica Cartago.
28. Weyl, R. (1980). *Geology of Central America (2a ed.)* Berlin: Gebrüder Brontaeger, Stuttgart.
29. Word Resources Institute (2013). *Aqueduct Project, Escalas de Estrés Hídrico*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/AQUEDUCT%20PROJECTED%20WATER%20STRESS%20Country%20Rankings.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Perfil pozos 1 y 2

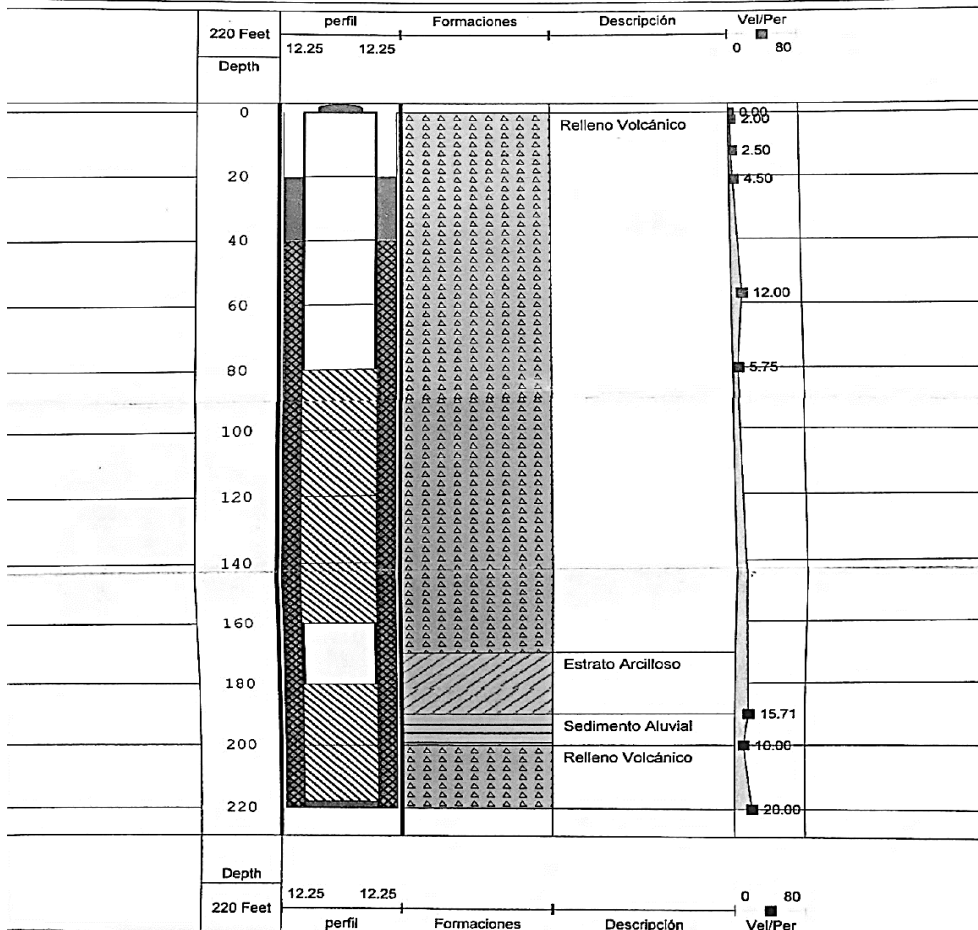


Continuación anexo 1.



ODT: PP-0349-2017

Calzada La Paz 6-30 Zona 5 - Tel.: (502) 2382-5000, Fax (502) 2382-5001 - Guatemala Ciudad, Guatemala, C. A.			
Propietario :	JARDINES MIL FLORES, S. A.		
Ubicación Pozo:	KM. 28.5 CARRETERA AL PACIFICO, CANTON INGENIO, AMATITLAN, GUATEMALA.		
Fecha de inicio:	28/06/2017	Fecha finalización:	19/07/2017
Perforadora:	M - 2	Metodo:	ROTATIVO
Perforador:	JUAN JOSE ORANTES B.		
Diámetro:	8 PULGADAS	Profundidad pozo:	220 PIES
Nivel Estático:	40 PIES	Nivel de bombeo:	48.67 PIES
Producción :	300 G.P.M.	Duración bombeo:	24:00 HORAS
Profundidad de la bomba: 185', 40 H.P. Modelo 7T40-350 Rejilla Ranura de Fábrica 120 pies A.C.			
Observaciones: Sello Sanitario de 20 a 40 pies, filtro de Grava de 40 a 220 Pies. Temperatura del agua 38° grados durante la prueba de bombeo.			
Diseñado Por: AS / OM / RC		Tipo Nariz del Pozo: PUNTA DE CEMENTO	



Fuente: Daho Pozos (2017). Informe técnico privado de la empresa.

Anexo 2. Prueba de bombeo en pozos 1 y 2



Guatemala, 18 Julio 2,019

Señores:
Jardines Mil Flores.
Con atención a:
Ing. Saul Hernandez.
Presente:

Reciba un cordial saludo, en el presente documento se detalla la revisión realizada a su equipo sumergible denominado pozo 1 campo 40 viejo:

Se procedió a realizar revisión de equipo sumergible de 20 hp, realizando un arranque para realizar medición de niveles estático y dinámico, posterior a la medición se reviso panel de control encontrando lecturas eléctricas normales.

Al culminar se tomaron mediciones de galonaje en brocal de pozo dando 553 galones por minuto fingiendo carga de brocal a cisterna, la medición de entrega en cisterna da como resultado 550 galones por minuto.

Se tomaron mediciones de niveles dando una marca de 30psi= 69pies de agua sobre el equipo en Nivel Estatico, al momento de realizar el aforo la lectura del nivel dinamico es de 38psi= 62 pies de agua sobre el equipo, siendo un nivel optimo de bombeo y de disipacion de calor para el motor sumergible.

En la parte hidráulica se colocaron 4 válvulas de cheque para retener columna de agua en la tubería.

Diámetro: 8 Pulgadas.
Profundidad: 220 pies.
Tubería instalada: 10 tubos Galvanizados.
Potencia de equipo: 20HP 230v 3F.
Bomba sumergible: 6T15-450 BERKELEY.
Nivel Estático: 30 pies.
Nivel Dinámico: 38 pies, quedan 62 pies de agua sobre el equipo.
Voltaje en obra: 230v.
Medición de aislamiento: 550 Mega ohmios.

Se recomienda mantenimiento preventivo a cada 6 meses para verificar funcionamiento del equipo.

Atentamente.

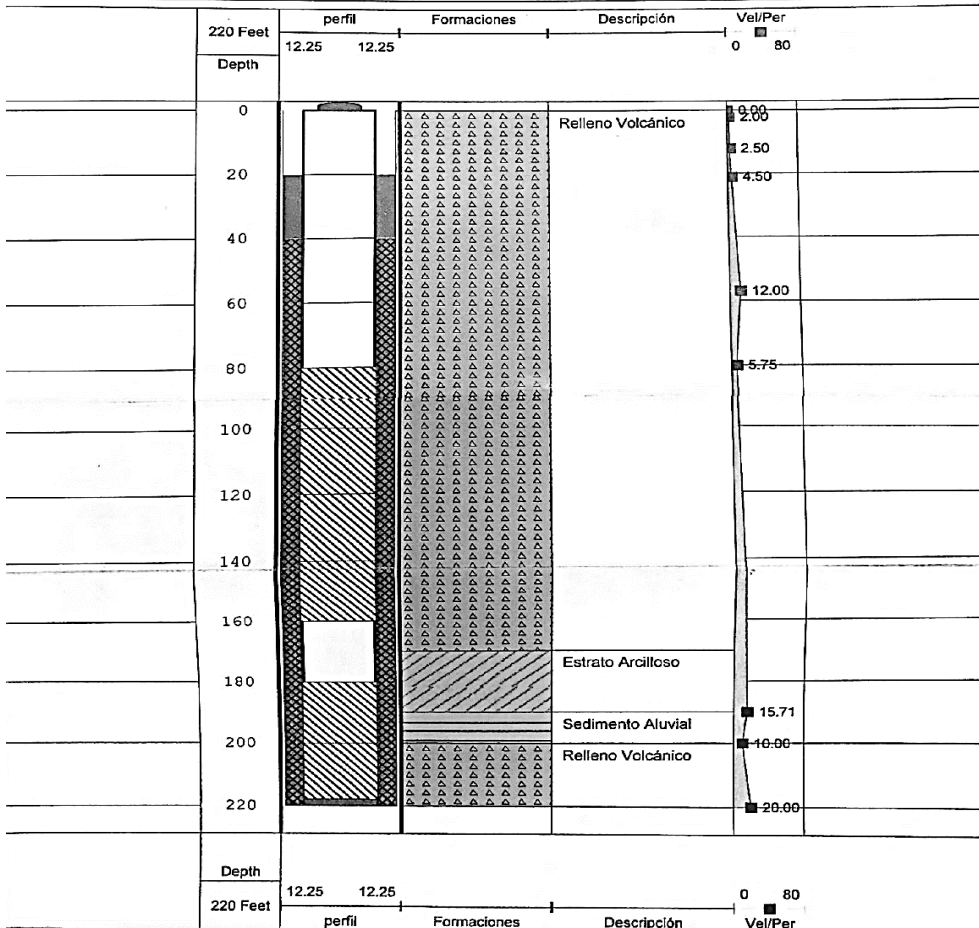
Allendi Fuentes.
Asesor Servicios Correctivos

Continuación anexo 2.



ODT: PP-0349-2017

Calzada La Paz 6-30 Zona 5 - Tel.: (502) 2382-5000, Fax (502) 2382-5001 - Guatemala Ciudad, Guatemala, C. A.			
Propietario :	JARDINES MIL FLORES, S. A.		
Ubicación Pozo:	KM. 28.5 CARRETERA AL PACIFICO, CANTON INGENIO, AMATITLAN, GUATEMALA.		
Fecha de inicio:	28/06/2017	Fecha finalización:	19/07/2017
Perforadora:	M - 2	Metodo:	ROTATIVO
Perforador:	JUAN JOSE ORANTES B.		
Diámetro:	8 PULGADAS	Profundidad pozo:	220 PIES
Nivel Estático:	40 PIES	Nivel de bombeo:	48.67 PIES
Producción :	300 G.P.M.	Duración bombeo:	24:00 HORAS
Profundidad de la bomba: 185', 40 H.P. Modelo 7T40-350 Rejilla Ranura de Fábrica 120 pies A.C.			
Observaciones: Sello Sanitario de 20 a 40 pies, filtro de Grava de 40 a 220 Pies. Temperatura del agua 38° grados durante la prueba de bombeo.			
Diseñado Por: AS / OM / RC		Tipo Nariz del Pozo: PUNTA DE CEMENTO	



Fuente: Daho Pozos (2019). Informe técnico privado de la empresa.

Anexo 3. Capacidad tanques de almacenamiento de agua



AFOROS DE BOMBAS Y CAPACIDADES EN TANQUES

<u>DE RIEGO</u>				
<u>1. Estacion 1.</u>				
Tipo de Bomba		Caballaje (Hp)	Caudal (gpm)	Caudal (M ³ /min)
Centrifuga. (Servicios)		15	270	1.02
	TANQUE		CAPACIDAD (gl)	CAPACIDAD (M ³)
	Concreto (agua para servicios)		126,437	478.56
	Concreto (agua clorada)		5,332	20.18
<u>2. Estacion Campo 40</u>				
Tipo de Bomba		Caballaje (Hp)	Caudal (gpm)	Caudal (M ³ /min)
Sumergible 1 (agua sin fertilizante)		10	165	0.62
Sumergible 2 (agua sin fertilizante)		10	347	1.31
Sumergible (pozo mecánico)		15	508	1.92
	TANQUE		CAPACIDAD (gl)	CAPACIDAD (M ³)
	Concreto		116,000	439.06
<u>3. Estacion Campo B</u>				
Tipo de Bomba		Caballaje (Hp)	Caudal (gpm)	Caudal (M ³ /min)
Sumergible (agua sin fertilizante)		20	372	1.39
Centrifuga # 1		10	210	0.79
Centrifuga # 2		10	200	0.76
Sumergible (pozo mecánico)		15	240	0.9
	TANQUE		CAPACIDAD (gl)	CAPACIDAD (M ³)
	Concreto		75,000	283.88
	Metàlico		50,000	189.25
DEPTO. DE CULTIVO JMP				
Julio 2019				

Fuente: Syngenta Flowers. (2019). *Producción de semillas.*

Anexo 4. Resultados originales de análisis de laboratorio agua pozos 2 y 1



Laboratorio Industrial
CALIDAD -CONOCIMIENTO
SERVICIO - CONFIANZA

18/08/20
Código 32802/110820/37
Página 37/38

INFORME DE ANÁLISIS

Empresa: JARDINES MIL FLORES
Dirección: Km. 28.5 Carretera a Amatitlán
Remitido por: DAVID VÁSQUEZ

Muestras analizadas: AGUA DE POZO ÁREA: CAMPO B Lugar de toma de muestras: En la empresa
Fecha de toma de muestras: 11/08/2020 Muestras tomadas por: Hector Ruiz
Fecha de ingreso: 11/08/2020 Muestras recibidas por: Hector Ruiz
Fecha de análisis: 11/08/2020 Temperatura (durante el muestreo): 39.5 ° C
Lugar de análisis: Contro-Lab (excepto donde se especifique) Temperatura de ingreso: 2.7 ° C
Plan de muestreo: Sugerido por el cliente

Parámetro	Dimensionales	Método	Límite de detección	Resultado	*Agua Potable	
					LMA	LMP
Temperatura	°C	SMWW 2550 B, digital	-50.0 – 300	39.5	--	--
Cloro residual	mg/L	Rainbow test OT01	--	0.0	0,5	1,0
Apariencia	NR/R	Visual	--	NR	--	NR
Olor	NR/R	Organoléptico	--	NR	--	NR
Color	UPC	Hach DR 2400 Analogo APHA/ASTM D1209	0.2 – 500	3.4	5,0	35,0
Turbiedad	UNT	Merck SQ NOVA 60 Analogo SMWW2130B	0.5 – 400	6	5,0	15,0
Conductividad	µSiemens/cm	WTW LF 330 Analogo SMWW 2510B	0.01 – 500000	1,804	750	1500
pH	Unidades de pH	WTW INOLAB PH 7110 Analogo SMWW 4500-H7B	0.001 – 14	6.9	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Salinidad	--	WTW LF 330 analogo a SMWW 2520 B	0.0 – 70.0	0.7	--	--
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	WTW LF 330 analogo a SMWW 2510	0.01 – 1999	1,659	500,0	1000,0
Calcio	mg/L	Merck SQ NOVA 60 Analogo SMWW14815	5 – 160	>160	75,0	150,0
Dureza Total	mg/L	Hach 5B 1453-00	Desde 17.1	171	100,0	500,0
Hierro Total	mg/L	Hanna Ferrover 2105769	0.01 – 3.00	<0.01	0,3	--
Manganeso	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14770 Analogo DIN 38406-2	0.010 – 10.00	0.070	0,1	0,4
Nitritos	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14776 Analogo EPA 354.1, APHA 4500 – NO ₂ – B, DIN EN 26777	0.007 – 3.28	<0.007	--	3,0
Nitratos (como N)	mg/L	Hach Nitrover 5, 2106169	0.1 – 30.0	1.4	--	50,0
Fluoruro	mg/L	Hach SPADNS 444-49	0.01 – 200	<0.01	--	1,50
Cloruro	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14897 Analogo EPA 325.1 y APHA 4500 - Cl ⁻ E	2.5 – 250.0	2.5	100,0	250,0
Sulfato	mg/L	Analogo EPA 375.4, APHA 4500 - S ²⁻ E ASTM D516-11.	5 – 300	33	100,0	250,0
Magnesio	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14815, Hach 5B 1453-00	Desde 5	55.45	50,0	100,0
Alcalinidad por Bicarbonatos	mg/L CaCO	STM 2320 B	5	210	--	--
Alcalinidad por Carbonatos	mg/L CaCO	STM 2320 B	5	<5	--	--
Potasio	mg/L - K	STM 3111 B	0.073	14.64	--	--
Sodio	mg/L - Na	STM 3111 B	0.050	68.67	--	--

mg/L: Miligramos por litro (partes por millón)
NR/R: No rechazable/rechazable
UPC: Unidades platino-cobalto
UNT: Unidades nefelométricas de turbidez
LMA: Límite máximo admisible
LMP: Límite máximo permisible
ND: No detectable

* NORMA COGUANOR NTG 29001 AGUA POTABLE

Nota: Los resultados de este informe se refieren a la muestra tal y como fue recibida en el laboratorio. La reproducción parcial o total de la misma deberá ser aprobada por Contro-Lab. Muestra capturada por personal de Contro-Lab.

Licda. Nancy Quan
Químico Biólogo Colegiado No. 1,646

LICDA. NANCY QUAN
Químico Biólogo
Colegiado No. 1,646

13 calle 10 - 55 Zona 11, Colonia Mariscal, 2do. Nivel PBX; (502) 2473 - 0424
atencioncliente@contro-lab.com.gt www.contro-lab.com.gt

Continuación anexo 4.



Laboratorio Industrial
CALIDAD -CONOCIMIENTO
SERVICIO - CONFIANZA

18/08/20
Código 32802/110820/38
Página 38/38

INFORME DE ANÁLISIS

Empresa: JARDINES MIL FLORES
Dirección: Km. 28.5 Carretera a Amatitlán
Remitido por: DAVID VÁSQUEZ

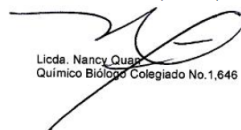
Muestras analizadas: AGUA DE POZO ÁREA: CAMPO 40 Lugar de toma de muestras: En la empresa
Fecha de toma de muestras: 11/08/2020 Muestras tomadas por: Hector Ruiz
Fecha de ingreso: 11/08/2020 Muestras recibidas por: Hector Ruiz
Fecha de análisis: 11/08/2020 Temperatura (durante el muestreo): 38.3 ° C
Lugar de análisis: Contro-Lab (excepto donde se especifique) Temperatura de ingreso: 2.7 ° C
Plan de muestreo: Sugerido por el cliente

Parámetro	Dimensionales	Método	Límite de detección	Resultado	*Agua Potable	
					LMA	LMP
Temperatura	°C	SMWW 2550 B, digital	-50.0 – 300	38.3	--	--
Cloro residual	mg/L	Rainbow test OTO1	--	0.0	0,5	1,0
Apariencia	NR/R	Visual	--	NR	--	NR
Olor	NR/R	Organoléptico	--	NR	NR	NR
Color	UPC	Hach DR 2400 Análogo APHA/ASTM D1209	0.2 – 500	3.8	5,0	35,0
Turbiedad	UNT	Merck SQ NOVA 60 Análogo SMWW2130B	0.5 – 400	6	5,0	15,0
Conductividad	µSiemens/cm	WTW LF 330 Análogo SMWW 2510B	0.01 – 500000	1,788	750	1500
pH	Unidades de pH	WTW INOLAB PH 7110 Análogo SMWW 4500HFS	0.001 – 14	7.2	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Salinidad	--	WTW LF 330 analogo a SMWW 2520 B	0.0 – 70.0	0.7	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	WTW LF 330 analogo a SMWW 2510	0.01 – 1999	1,644	500,0	1000,0
Calcio	mg/L	Merck SQ NOVA 60 Análogo SMWW14815	5 – 160	>160	75,0	150,0
Dureza Total	mg/L	Hach SB 1453-00	Desde 17.1	171	100,0	500,0
Hierro Total	mg/L	Hanna Ferriver 2105769	0.01 – 3.00	<0.01	0,3	--
Manganeso	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14770 Análogo DIN 38406-2	0.010 – 10.00	0.33	0,1	0,4
Nitritos	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14776 Análogo EPA 354.1, APHA 4500 – NO ₂ – B, DIN EN 26777	0.007 – 3.28	0.098	--	3,0
Nitratos (cómo N)	mg/L	Hach Nitrover 5, 2106169	0.1 – 30.0	4.1	--	50,0
Fluoruro	mg/L	Hach SPADNS 444-49	0.01 – 200	<0.01	--	1,50
Cloruro	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14897 Análogo EPA 325.1 y APHA 4500 – Cl ⁻ E	2.5 – 250.0	3.1	100,0	250,0
Sulfato	mg/L	Análogo EPA 375.4, APHA 4500 – S ²⁻ E ASTM D516-11.	5 – 300	40	100,0	250,0
Magnesio	mg/L	Merck SQ NOVA 60, 14815, Hach SB 1453-00	Desde 5	55.45	50,0	100,0
Alcalinidad por Bicarbonatos	mg/L CaCO	STM 2320 B	5	194	--	--
Alcalinidad por Carbonatos	mg/L CaCO	STM 2320 B	5	<5	--	--
Potasio	mg/L - K	STM 3111 B	0.073	13.16	--	--
Sodio	mg/L - Na	STM 3111 B	0.050	66.90	--	--

mg/L: Miligramos por litro (partes por millón)
NR/R: No rechazable/rechazable
UPC: Unidades platino-cobalto
UNT: Unidades nefelométricas de turbidez
LMA: Límite máximo admisible
LMP: Límite máximo permisible
ND: No detectable

* NORMA COGUANOR NTG 29001 AGUA POTABLE

Nota: Los resultados de este informe se refieren a la muestra tal y como fue recibida en el laboratorio. La reproducción parcial o total de la misma deberá ser aprobada por Contro-Lab. Muestra capturada por personal de Contro-Lab.

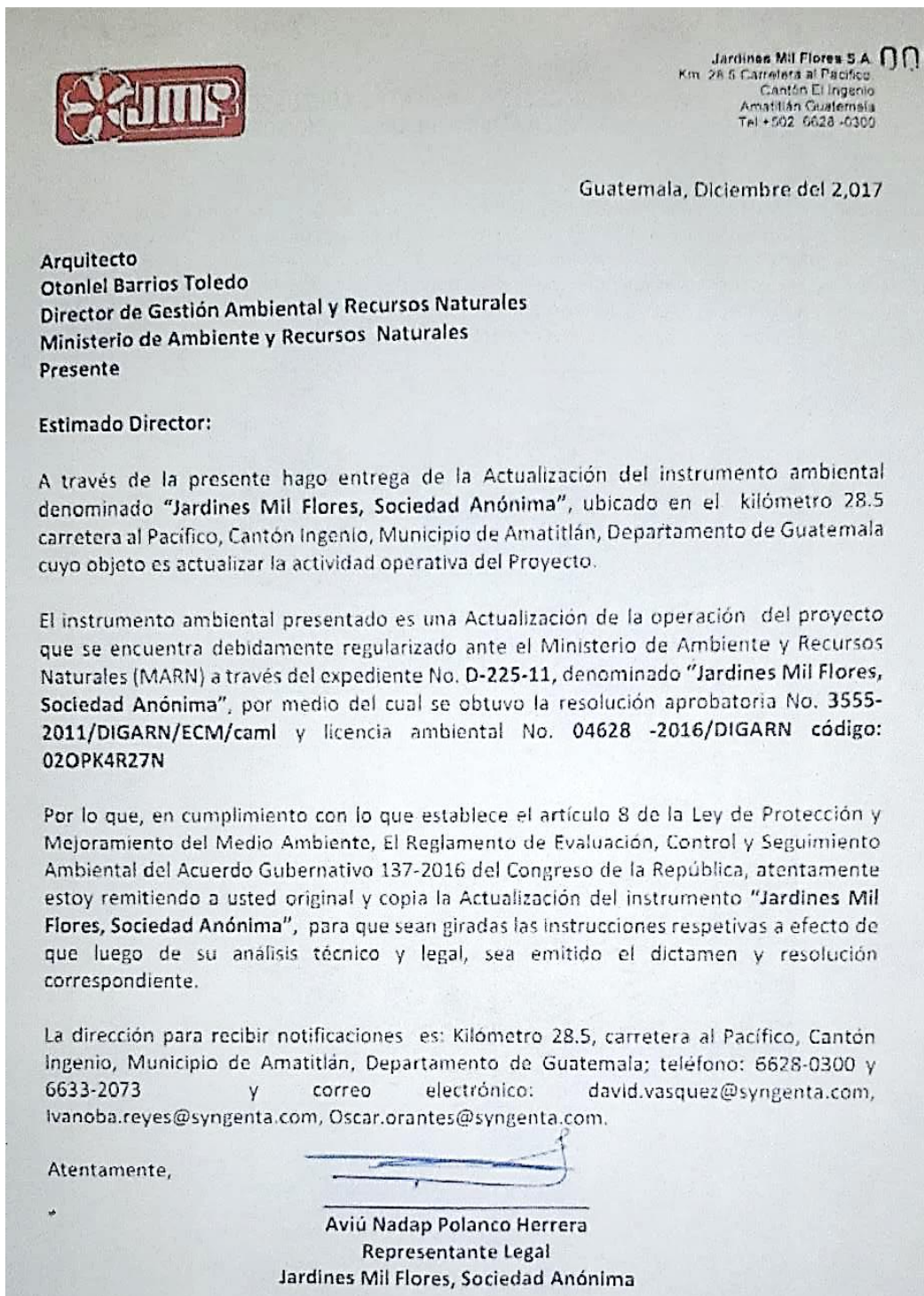

Licda. Nancy Quan
Químico Biólogo Colegiado No. 1,646

LICDA. NANCY QUAN
Químico Biólogo
Colegiado No. 1,646

13 calle 10 - 55 Zona 11, Colonia Mariscal, 2do. Nivel PBX; (502) 2473 - 0424
atencioncliente@contro-lab.com.gt www.contro-lab.com.gt

Fuente: Laboratorio externo (2020). Informe de análisis.

Anexo 5. Carta resolución ambiental aprobatorio Finca de producción de semillas



Fuente: Jardines Mil Flores (2017). *Estudio de impacto ambiental*