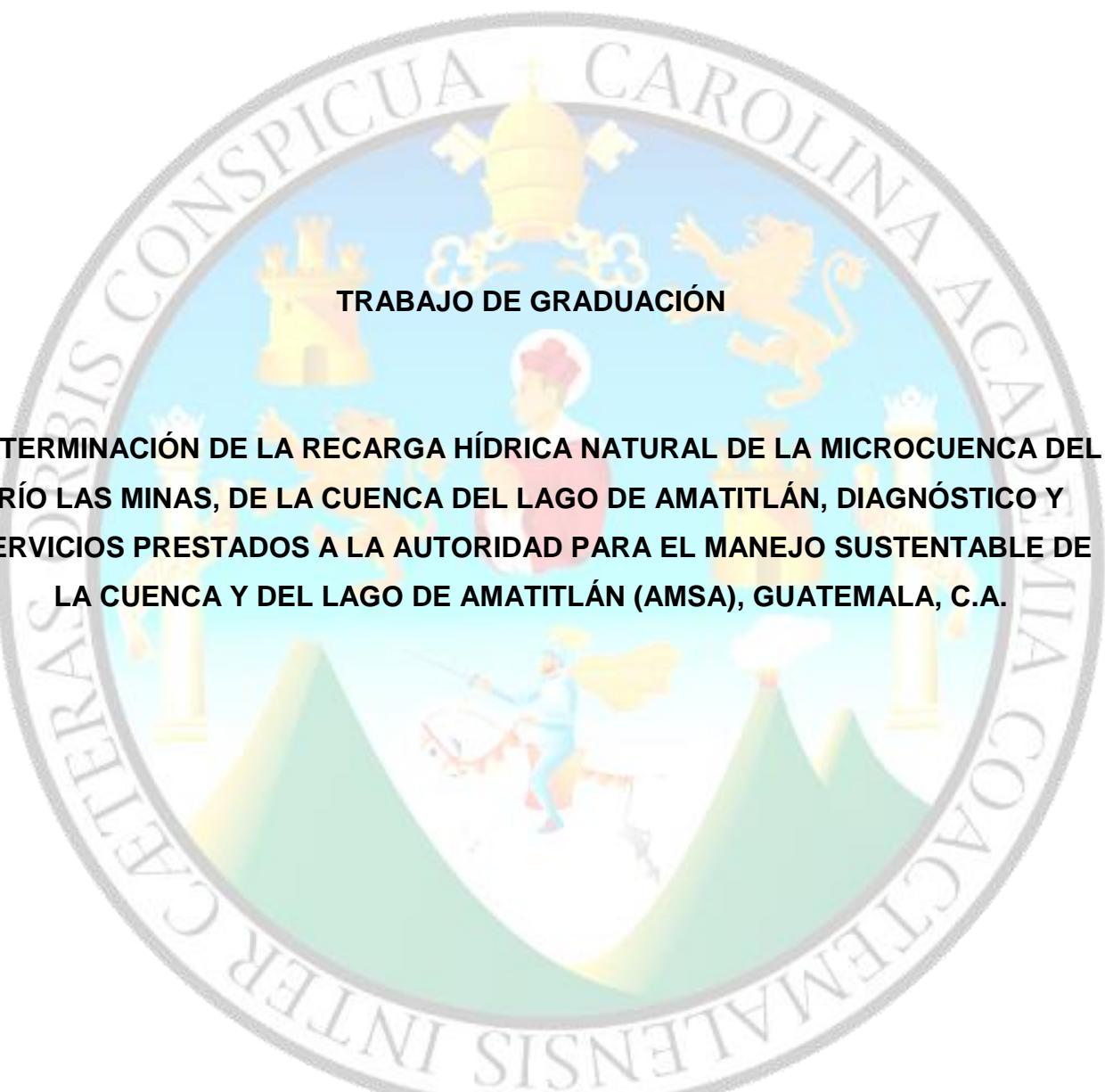


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL
RÍO LAS MINAS, DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN, DIAGNÓSTICO Y
SERVICIOS PRESTADOS A LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE
LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA), GUATEMALA, C.A.

ANA LUCÍA ESTRADA HERNÁNDEZ

GUATEMALA, MAYO 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL
RÍO LAS MINAS, DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN, DIAGNÓSTICO Y
SERVICIOS PRESTADOS A LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE
LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA), GUATEMALA C.A.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

ANA LUCÍA ESTRADA HERNÁNDEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO INGENIERA AGRÓNOMA

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADA

GUATEMALA, MAYO 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Alvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL V	Br. Sergio Wladimir González Paz
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

Guatemala, mayo 2021

Guatemala, mayo 2021

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: **“Determinación de la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Las Minas, de la cuenca del lago de Amatitlán, Diagnóstico y servicios prestados a la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), Guatemala C.A.”** como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Sistema de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ana Lucía Estrada Hernández

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por su amor eterno, por darme la sabiduría y paciencia para guiar me y permitir el cumplimiento de mis metas.

MIS PADRES

Isabel Estrada y Angélica Hernández, por todo el amor que me han dado, gracias por darme la oportunidad de seguir con mis estudios y apoyarme en cada etapa de mi vida. Esto es especialmente para ustedes.

MIS ABUELOS

Sé que desde el cielo están viendo este momento, gracias por darme a unos padres que me aman y protegen.

MIS HERMANOS

Porque de una u otra manera siempre estuvieron ahí para mí, gracias por todo su cariño, su apoyo y por darme a unos sobrinos hermosos, los quiero mucho.

MIS FAMILIARES

A mis tíos y primos por ser parte importante en esta etapa de mi vida, sé que de alguna u otra manera siempre tuve apoyo de ustedes, gracias por todo su cariño.

FAMILIA

Por recibirme en su casa y darme todo el apoyo para culminar mis estudios, gracias por hacerme sentir parte de su familia, más que mis primos los considero mis hermanos, a mi tía-madrina Ofelia por todo su cariño, apoyo y enseñarme el empoderamiento de las mujeres; saben que los quiero mucho.

MIS AMIGAS

Estefania y Verenice, por cada momento que compartimos durante y después de nuestros estudios, gracias por su amistad incondicional y por aguantar mis cambios de humor, las quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A:

- USAC** Por darme la oportunidad de estudiar a través del programa de becas.
- FAUSAC** Por permitirme formarme como una profesional en las ciencias agrícolas, así como a mis catedráticos por compartir sus conocimientos especialmente al ingeniero Waldemar Nufio Reyes.
- AMSA** Por darme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado, gracias al ingeniero Oscar Amed Juárez y su equipo de trabajo por el apoyo brindado.
- MI SUPERVISOR Y ASESOR** Doctor Marvin Salguero y Doctor Tomás Padilla por su asesoría y acompañamiento en la realización de mi EPS.
- MIS COMPAÑEROS** Estefania, Verenice, Kathy, Ale, Franky, Edson, Letty, Keneth con quienes compartí muchas experiencias en mis años de estudios, los quiero.
- AMIGOS DE AMSA** William León, Lucy, Mercedes y Lotty por ser personas muy especiales que dejó mi experiencia del EPS, gracias por su amistad y por ser parte de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

TÍTULO	PÁGINA
CAPÍTULO I	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 General	3
1.2.2 Específicos.....	3
1.3 METODOLOGÍA	4
1.3.1 Fase de gabinete inicial	4
1.3.2 Fase de campo	4
1.3.3 Fase de gabinete final.....	4
1.4 RESULTADOS.....	5
1.4.1 Ubicación	5
1.4.2 Extensión	6
1.4.3 División política	6
1.4.4 Suelo.....	6
1.4.5 Hidrología.....	7
1.4.6 Zonas de vida	7
1.4.7 Creación.....	7
1.1.1 Visión	8
1.4.8 Misión.....	8
1.4.9 Estructura orgánica	8
1.4.10 División Forestal, Conservación y manejo de suelos	9
1.4.11 Árbol de problemas	14
1.4.12 Problemas relacionados a los ejes estratégicos de recarga hídrica y contaminación.....	16
1.5 CONCLUSIONES	20
1.6 BIBLIOGRAFÍA.....	21
CAPÍTULO II	23
2.1 PRESENTACIÓN.....	25
2.2 MARCO TEÓRICO	26
2.2.1 MARCO CONCEPTUAL	26
2.2.2 MARCO REFERENCIAL.....	38
2.3 OBJETIVOS	46

PÁGINA

2.3.1 General.....	46
2.3.2 Específicos	46
2.4 METODOLOGÍA.....	47
2.4.1 Fase de gabinete inicial	47
2.4.2 Fase de campo.....	48
2.4.3 Fase de gabinete final	49
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
2.5.1 Unidades de muestreo	55
2.5.2 Información climática.....	59
2.5.3 Pruebas de infiltración	59
2.5.4 Análisis físico de suelos	60
2.5.5 Precipitación media mensual.....	61
2.5.6 Evapotranspiración potencial.....	61
2.5.7 Cálculo de la recarga hídrica	62
2.5.8 Identificación y mapeo de las zonas de mayor recarga hídrica	63
2.5.9 Lineamientos de manejo para la protección de los recursos naturales	66
2.6 CONCLUSIONES.....	69
2.7 RECOMENDACIONES	70
2.8 BIBLIOGRAFÍA	71
2.9 ANEXOS	73
2.9.1 Pruebas de infiltración	73
2.9.2 Balances hídricos de suelos	82
CAPÍTULO III	107
3.1 PRESENTACIÓN	108
3.2 Objetivos	109
3.2.1 Objetivo general	109
3.2.2 Objetivos específicos.....	109
3.3 Producción de frutales a nivel de vivero, ubicado en el vivero El Morlón, Amatitlán.	110
3.3.1 Presentación.....	110
3.3.2 Objetivos	110
3.3.3 Metodología.....	110

	PÁGINA
3.3.4 Resultados.....	112
3.3.5 Constancias	115
3.4 Descripción general de las especies arbóreas de la finca municipal Las Manzanillas, Villa Canales.	116
3.4.1 Presentación.....	116
3.4.2 Objetivo.....	116
3.4.3 Metodología	117
3.4.4 Resultados.....	118
3.5 Jardinización en el centro de capacitación y recreación de AMSA y plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas dentro de la cuenca del lago de Amatitlán.....	125
3.5.1 Presentación.....	125
3.5.2 Objetivos.....	126
3.5.3 Metodología	126
3.5.4 Resultados.....	127
3.5.5 Constancias	128
3.6 Bibliografía.....	133
3.7 Anexos.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Ubicación de la autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán.....	5
Figura 2. Organigrama de la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos..	10
Figura 3. Instalaciones del vivero del km. 22	11
Figura 4. Ubicación del vivero El Morlón.....	11
Figura 5. Árbol de problemas.....	15
Figura 6. Mapa de microcuenca de la cuenca del río María Linda.....	40
Figura 7. Mapa de localización y área de la microcuenca del río Las Minas.	41
Figura 8. Mapa de zonas de vida de la microcuenca del río Las Minas.....	42
Figura 9. Mapa de la geología de la microcuenca del río Las Minas.	43
Figura 10. Series de suelos de la microcuenca del río Las Minas.	44
Figura 11. Uso de la tierra en la microcuenca del río Las Minas.	45
Figura 12. Mapa de unidades de muestreo.....	58
Figura 13. Mapa de recarga hídrica de la microcuenca del río Las Minas.....	65
Figura 14. Cobertura de semilleros	115
Figura 15. Riego de plántulas	115
Figura 16. Ubicación del Centro de Capacitación y Recreación de AMSA.	127
Figura 17. Abandono del área el humedal, utilizado como basurero clandestino.	128
Figura 18. Elaboración de senderos para proteger los jardines y brindar seguridad por la laguna.....	128
Figura 19. Diseño de jardín de la planta de tratamiento de aguas residuales San Agustín Las Minas, Villa Canales.....	129
Figura 20. Jardinización del área verde de la planta de tratamiento de aguas residuales San Agustín Las Minas, Villa Canales.....	130
Figura 21. Caminamientos y jardinización en la planta de tratamiento de aguas residuales San Agustín Las Minas, Villa Canales.....	130

PÁGINA

Figura 22. Croquis de las áreas a jardinar en la planta de tratamiento de aguas residuales Santa Isabel II	131
Figura 23. Traslado de plantas ornamentales de la Universidad de San Carlos de Guatemala a la planta de Tratamiento Santa Isabel II.	132
Figura 24. Siembra de plantas ornamentales para jardinar la planta de tratamiento de aguas residuales Santa Isabel II.....	132
Figura 26A. Siembra de semillas en semillero	134
Figura 27A. Riego de semillero	134
Figura 28A. Preparación del terreno	134
Figura 29A. Elaboración de sustrato	135
Figura 30A. Llenado de bolsa y siembra de semilla	135
Figura 31A. Desmalezado	135

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Municipios que forman parte de la cuenca del lago de Amatitlán.....	6
Cuadro 2. Áreas donde se realizan los proyectos de reforestación.	13
Cuadro 3. Deforestación de la Cuenca del Lago de Amatitlán.....	16
Cuadro 4. Erosión del suelo en la Cuenca del Lago de Amatitlán.	17
Cuadro 5. Uso inadecuado del suelo en la Cuenca del Lago de Amatitlán.....	17
Cuadro 6. Contaminación del agua superficial y subterránea del lago de Amatitlán y sus principales afluentes.	18
Cuadro 7. Vulnerabilidad de la biodiversidad en la Cuenca del Lago de Amatitlán. ...	18
Cuadro 8. Incendios forestales en la Cuenca del Lago de Amatitlán.	19
Cuadro 9. Reducción y contaminación del recurso hídrico en la cuenca del lago de Amatitlán.	19
Cuadro 10. Ubicación de la estación meteorológica.	47
Cuadro 11. Valores medios mensuales de radiación solar extraterrestre (mm/día)....	50
Cuadro 12. Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.	51
Cuadro 13. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.....	52
Cuadro 14. Matriz de criterios de geología.	53
Cuadro 15. Matriz de criterios de infiltración básica.....	53
Cuadro 16. Matriz de criterios de recarga anual.	53
Cuadro 17. Matriz de criterios de pendiente.	54
Cuadro 18. Área crítica de recarga hídrica según susceptibilidad.	54
Cuadro 19. Geología de la microcuenca del río Las Minas.....	55
Cuadro 20. Series de suelos de la microcuenca del río Las Minas.....	56
Cuadro 21. Uso de la tierra de la microcuenca del río Las Minas.	56
Cuadro 22. Descripción y ubicación de las unidades de muestreo.	57
Cuadro 23. Estación meteorológica.	59
Cuadro 24. Datos meteorológicos de la microcuenca del río Las Minas.....	59
Cuadro 25. Infiltración básica por cada unidad de muestreo.	60

	PÁGINA
Cuadro 26. Análisis de suelos para cada unidad de muestreo.....	60
Cuadro 27. Precipitación media mensual.....	61
Cuadro 28. Evapotranspiración potencial mensual y anual.....	61
Cuadro 29. Resumen de la recarga hídrica de la microcuenca del río Las Minas.....	62
Cuadro 30. Identificación de las zonas de mayor recarga hídrica en la microcuenca del río Las Minas	63
Cuadro 31 Producción de frutales	112
Cuadro 32. Plan de fertilización.....	113
Cuadro 33. Plan fitosanitario.	114
Cuadro 34. Descripción de las principales plantas arbóreas dentro de la finca Las Manzanillas.	118

DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LAS MINAS, DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS PRESTADOS A LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA), GUATEMALA C.A.

RESUMEN

El Programa de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), fue desarrollado en la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán, específicamente se dio apoyo a la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos, ubicada en las oficinas centrales de la institución, dicho programa consistió en realizar un diagnóstico, una investigación y servicios.

En el Capítulo I, se presenta el diagnóstico que se realizó en la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), enfocándose en las actividades que conciernen al manejo y conservación de la cobertura forestal en la cuenca del lago de Amatitlán para recarga de los mantos acuíferos, se realizaron visitas de campo a los viveros del km.22 y el Morlón, a las áreas de reforestación y conservación de suelos, así mismo se hizo entrevistas al personal técnico-administrativo y de campo para conocer más a detalle la problemática de la cuenca y el lago de Amatitlán.

En el Capítulo II, se presenta la investigación sobre la determinación de la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Las Minas, Guatemala C.A., como requerimiento de la institución con el fin de fortalecer el eje estratégico de recarga hídrica, ya que actualmente por ser una cuenca con crecimiento urbanístico e industrial se hace más común la impermeabilización del suelo y contaminación de sus aguas provocando así una reducción de la recarga hídrica y contaminación del agua.

Los resultados de la investigación mostraron que la parte alta de la microcuenca donde se encuentran las aldeas La Salvadora, Santa Catarina Pinula y las fincas San Agustín las Minas, Las Manzanillas, Villa Canales tiene el área de mayor recarga, considerando que es la parte que menos ha sido afectada por la urbanización, industrialización y agricultura. En esta área se deben de tomar las medidas necesarias para la protección de sus recursos naturales, ya que el nacimiento de dicho río es de vital importancia para el abastecimiento de agua al municipio de Santa Catarina Pinula y parte del municipio de Villa Canales.

En el Capítulo III, presenta los servicios profesionales realizados en las actividades que realiza la división los cuales fueron: Producción de frutales a nivel de vivero, ubicado en el vivero El Morlón, Amatitlán, con el fin de promover la diversidad biológica y promover los sistemas agroforestales dentro de la cuenca; descripción general de las especies arbóreas de la finca municipal Las Manzanillas, Villa Canales para enfocarse en la producción de especies endémicas de la región y la jardinización en el centro de capacitación y recreación de AMSA y en plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas dentro de la cuenca del lago de Amatitlán para tener un área donde se puedan impartir capacitación aledaña a la desembocadura del río Villalobos, permitiendo así realizar giras de campo y conocer mejor la problemática de la cuenca y del lago de Amatitlán, así como mejorar el aspecto visual de las plantas de tratamiento y promover la cultura de jardín.

X



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DE LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN CON ÉNFASIS EN LA DIVISIÓN FORESTAL, CONSERVACIÓN Y MANEJO DE SUELOS

1.1 PRESENTACIÓN

Como parte del programa de actividades a realizar en el Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se contempló la realización de un diagnóstico general de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA) haciendo énfasis en la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos. Dicha autoridad tiene a su cargo el manejo sustentable de cuenca de Amatitlán, en donde se involucran 14 municipios.

El 18 de septiembre de 1996 el Congreso de la República por medio del Decreto 64-96, emitió la Ley de creación de la AMSA, con el fin específico de planificar, coordinar y ejecutar todas las medidas y acciones del sector público y privado que sean necesarias para recuperar el ecosistema del Lago de Amatitlán y todas sus cuencas tributarias.

La División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos tiene a su cargo dos viveros, uno en el km. 22 Ruta al Pacífico, Villa Nueva y el otro en la Colonia El Morlón, Amatitlán, en donde se produce plantas forestales y frutales, para cubrir los proyectos de reforestación en áreas dentro de la cuenca del Lago de Amatitlán y además debe darles su respectivo mantenimiento a estas áreas (rondas corta fuego, combatir incendios) y además cubre otros temas relacionados al eje de recarga hídrica.

Actualmente, por el crecimiento poblacional e industrial en el territorio que ocupa la cuenca se ha visto afectada la cobertura vegetal y se ha producido un aumento en cuanto la cantidad de agentes contaminantes, descargando los mismos en las micro cuencas del lago de Amatitlán, provocando un alto grado de contaminación en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, especialmente en el lago.

El siguiente diagnóstico da a conocer los principales problemas que afrontan la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos, de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Conocer el estado actual de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán –AMSA- priorizando los ejes institucionales que involucran a la División Forestal, Conservación y Manejo de suelos.

1.2.2 Específicos

- Describir las principales actividades que realiza la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos.
- Determinar los principales problemas que afronta AMSA en relación a los ejes recarga hídrica y contaminación.
- Describir las principales soluciones para la problemática que afronta AMSA en relación a los ejes de contaminación y recarga hídrica.

1.3 METODOLOGÍA

1.3.1 Fase de gabinete inicial

A. Reconocimiento del área de trabajo

Se obtuvo un primer acercamiento con la institución, tomando en cuenta todas las divisiones con las que cuenta AMSA. Se tuvo a la vista el Manual de la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos, en donde se describe cada una de las actividades que desarrolla la división y como está integrada.

Por medio de una presentación de la problemática del Lago de Amatitlán, se conoció todas las áreas de trabajo de la institución.

B. Recopilación de información primaria

Esta información se obtuvo por medio de entrevistas orales con el personal de la institución primordialmente con los jefes de cada división de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

C. Recopilación de información secundaria

Esta información se obtuvo a través de la revisión de bibliografía (ley, folletos, manuales administrativos, diagnósticos, documentos electrónicos).

1.3.2 Fase de campo

En esta fase se visitaron las áreas de estudio con las que cuenta AMSA, para dar a conocer cuáles son los problemas que enfrentan cada una de las áreas que tienen a cargo las divisiones pertenecientes a la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

1.3.3 Fase de gabinete final

Clasificación de la información: esta etapa consistió básicamente en ordenar y clasificar toda la información obtenida en las fases anteriores. Así mismo se procedió a realizar el árbol de problemas para poder identificar la problemática de la cuenca del Lago de Amatitlán.

1.4 RESULTADOS

1.4.1 Ubicación

Las oficinas centrales se ubican en el km 22 Ruta al Pacífico, Villa Nueva, Guatemala, según coordenadas 14°31'6.70" N Lat. Y 90°37'16.76" O Long., como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

1.4.2 Extensión

La cuenca del lago de Amatitlán, posee una extensión de 381.31 Km², ubicada en la zona de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre.

1.4.3 División política

La cuenca del Lago de Amatitlán está formada por 14 municipios, algunos del departamento de Guatemala y otros de Sacatepéquez. A continuación en el Cuadro 1 se identifican los municipios que conforman la cuenca.

Cuadro 1. Municipios que forman parte de la cuenca del lago de Amatitlán.

No.	Municipio	Departamento
1	San Pedro Sacatepéquez	Guatemala
2	Santiago Sacatepéquez	Sacatepéquez
3	San Bartolomé Milpas Altas	Sacatepéquez
4	San Lucas Sacatepéquez	Sacatepéquez
5	Mixco	Guatemala
6	Guatemala	Guatemala
7	Santa Catarina Pinula	Guatemala
8	San Miguel Petapa	Guatemala
9	Villa Nueva	Guatemala
10	Santa Lucia Milpas Altas	Sacatepéquez
11	Magdalena Milpas Altas	Sacatepéquez
12	Fraijanes	Guatemala
13	Villa Canales	Guatemala
14	Amatitlán	Guatemala

Fuente: AMSA (2015)

1.4.4 Suelo

Los suelos que conforman la Cuenca del Lago son formaciones de origen volcánico. Son de color café, de textura franca a franca arcillosa, para los suelos superficiales, siendo ligeramente ácidos y de un espesor que varía de 25 a 50 centímetros. Los subsuelos son

en su mayoría de textura franco arcilloso, un pH ligeramente ácido, color café rojizo (PLANDEAMAT, 2015).

1.4.5 Hidrología

Los ríos de la cuenca del Lago de Amatitlán suman 289 km lineales, el río principal de la cuenca es el río Villalobos, el cual inicia a una altura de 1,480 metros sobre el nivel del mar, los ríos tributarios del río Villalobos son: Platanitos, Pínula, Las Minas, Tuluja, El Bosque, Molino, San Lucas y Parrameño (PLANDEAMAT, 2015).

El lago de Amatitlán da origen al río Michatoya el cual es tributario del río María Linda que desemboca en el Océano Pacífico.

1.4.6 Zonas de vida

Dentro de la cuenca del lago de Amatitlán hay dos zonas de vida (según la clasificación de Holdridge), las cuales se complementan al cuerpo de agua:

- Bosque Húmedo subtropical templado (bh-S (t)) se encuentra al Norte y Sur del lago de Amatitlán cubriendo un 87% de la extensión de la cuenca. El bosque húmedo subtropical templado abarca las partes medias bajas de las microcuencas Parrameño, San Lucas, El Molino, Platanitos, toda la microcuenca Villalobos, la mayor parte de la microcuenca Pinula. Las Minas Tuluja, El Bosque y el lago de Amatitlán (PLANDEAMAT, 2015).
- Bosque Húmedo montano bajo (bh-MB), localizado al Noreste y Noroeste abarcando el 13% de la superficie. La zona de bosque húmedo montano bajo cubre las partes altas de las microcuencas Platanitos, Parrameño, San Lucas y Molino (PLANDEAMAT, 2015).

1.4.7 Creación

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Lago de Amatitlán fue creada con el Decreto No. 64-96 del Congreso de la República de Guatemala, el 18 de septiembre de 1996 con el propósito de resguardar y recuperar el Lago de Amatitlán, mediante la descontaminación y el uso racional de los recursos renovables y no renovables de las zonas de recarga de acuíferos y zonas boscosas. AMSA se constituye por divisiones. Dentro de los proyectos de AMSA está la reforestación, el cual repone y estabiliza los suelos mediante la recuperación de áreas boscosas. AMSA también cuenta con programas de

concienciación y formación de una cultura ambiental para la población los cuales son implementados por la división de educación ambiental (Ley no. 64-96, 1996)

1.1.1 Visión

Procurar la integración de recursos necesarios para devolverle a la humanidad, en el menor tiempo posible, el Lago de Amatitlán en condiciones adecuadas para su uso y disfrute sostenible, a través del manejo apropiado de la cuenca de acuerdo a su ley de creación (Girón, 2013).

1.4.8 Misión

Somos la Autoridad para el rescate del Lago de Amatitlán que, a través del trabajo en equipo con los diferentes sectores de la sociedad, procuramos los medios necesarios y aplicamos estrategias socio-ambientales para resguardar los recursos naturales y culturales de los catorce municipios de influencia, mediante la ejecución de planes, programas y proyectos, garantizando la mejora de vida de sus habitantes (Girón, 2013).

1.4.9 Estructura orgánica

- Dirección Ejecutiva
- Junta de Representantes
 - Gobernador Departamental de Guatemala
 - Vicepresidencia de la República
 - El Comandante de la Región Militar Guatemala-Sur
 - Ministro de Salud Pública y Asistencia Social
 - Ministro de Agricultura, Ganadería y Alimentación
 - Procuraduría del Medio Ambiente de la Procuraduría General de la Nación
 - Fiscalía del Medio Ambiente del Ministerio Público
 - Representantes de las municipalidades que estén comprendidas dentro del territorio de las cuencas tributarias.
 - Comisión Nacional del Medio Ambiente
 - Comité de Cámaras Agrícolas, Comerciales, Industriales y Financieras. – CACIF-

- Subdirección Ejecutiva
- Divisiones Administrativas y Financieras
 - Administrativo/financiero
 - Auditoría interna
 - Asesoría jurídica
 - Evaluación y seguimiento
 - Relaciones interinstitucionales
- Divisiones Técnicas
 - División de Planeamiento Urbano y Ordenamiento Territorial
 - División de Manejo de Desechos Líquidos
 - División de Manejo de Desechos Sólidos
 - División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos
 - División de Educación Ambiental y concientización ciudadana
 - División de control y calidad ambiental
 - Unidad de Manejo del lago de Amatitlán

1.4.10 División Forestal, Conservación y manejo de suelos

AMSA, a través de la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos, cuenta con dos viveros forestales destinados para la producción de plantas forestales de especies indicadoras de la cuenca del lago de Amatitlán, dichos viveros se encuentran localizados en la colonia el Morlón, jurisdicción del municipio de Amatitlán y kilómetro 22 Ruta al Pacífico jurisdicción del municipio de Villa Nueva, así como ha llevado a cabo actividades de reforestación en diferentes sectores dentro de la cuenca del lago de Amatitlán. Sin embargo, los esfuerzos realizados no son suficientes considerando la masa forestal que cada año se pierde, es por ello que se trata de involucrar a comunidades, municipalidades y otros entre públicos y privados.

Además debe elaborar estudios científico-técnicos de la caracterización de flora nativa en la cuenca y lago, priorizar las áreas de reforestación y darles su mantenimiento para el control de incendios, promover y estimular el uso de métodos biológicos en la producción de plantas en viveros.

La División Forestal está bajo el eje de Recarga Hídrica y las acciones que actualmente está tomando es el establecimiento de dos viveros forestales para realizar proyectos de

reforestación y conservación de suelo y agua, para mantener e incrementar las áreas boscosas lo cual ayuda a la infiltración de lluvia aportando agua al manto freático, estas actividades se realizan para fortalecer la recarga hídrica que actualmente está siendo afectada por el mal manejo de los bosques, crecimiento urbano, contaminación hídrica. Pero se considera que se deben tomar otras acciones para proponer e implementar metodologías que promuevan la recarga hídrica.

A. Organigrama

La División Forestal cuenta con su división jerárquica la cual se describe en la Figura 2.

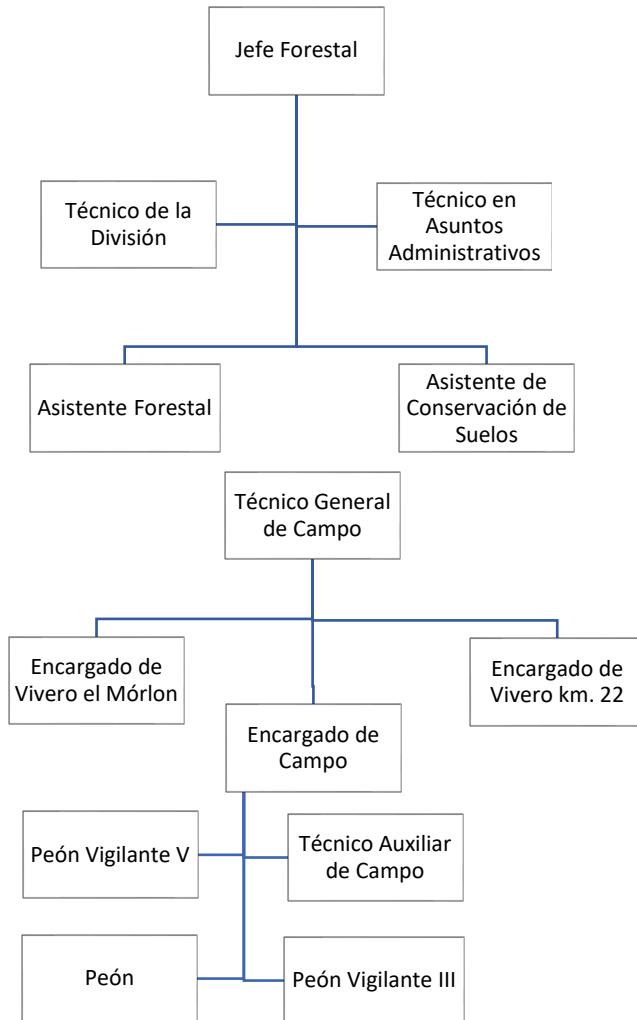


Figura 2. Organigrama de la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos.

B. Viveros

a. Vivero km 22

El vivero del km 22 está ubicado dentro de las instalaciones de AMSA jurisdicción de Villa Nueva, cuenta con una capacidad de producción 50,000 plantas, actualmente se produce pino, ciprés y en menor cantidad naranja, como se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Instalaciones del vivero del km 22.

a. Vivero El Morlón

El vivero El Morlón está ubicado en un costado del destacamento naval en la colonia El Morlón, jurisdicción de Amatitlán, el vivero cuenta con dos alas de vivero tecnificado para producción en bandeja con su riego por microaspersión con una capacidad de producción 200,000 plantas en bandeja y un área a la intemperie con capacidad de 70,000 plantas haciendo un total de producción de 270,000 plantas forestales y frutales, como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Ubicación del vivero El Morlón.

b. Las metas de producción

Según los inventarios y los planes de producción consultados, actualmente la producción de especies frutales ha disminuido debido al costo de producción y al mal manejo agronómico, obteniendo un aumento en las especies forestales (pino, ciprés y otras especies en menor cantidad), con un 90 % de producción de planta forestal y un 10 % de producción de frutales (aguacate, naranja, cuje).

Las semillas para la producción de planta se obtienen de las diferentes áreas dentro de la cuenca promoviendo así las especies endémicas.

C. Áreas de reforestación

Criterios que se consideran para determinar las áreas en donde se realizan los proyectos de reforestación.

- Áreas vulnerables a incendios forestales, tala inmoderada
- El avance de la frontera agrícola, el crecimiento urbano.
- Áreas cercanas a los causes de todo los ríos.
- Entre otros factores, son las causas de la pérdida de bosque en la cuenca del lago de Amatitlán.
- La destrucción de estos bosques tiene como efectos, pérdida de la biodiversidad, incrementa el riesgo de la erosión de los suelos, cambio en las condiciones climáticas, inundaciones, deslaves y otros efectos no cuantificados como lo es la captura de carbono.

Para poder realizar estas actividades y aumentar la cobertura forestal, es necesario hacer alianzas con diferentes actores como municipalidades, establecimientos educativos, Ejército de Guatemala, grupos organizados y dedicados a la protección y conservación del ambiente, sector privado.

Con las alianzas que realiza la institución puede ejecutar los proyectos de reforestación en diferentes áreas dentro de la cuenca, tomando en cuenta los lugares más vulnerables, con el fin de proteger las áreas de recarga hídrica, por lo que eventualmente se deben de establecer las áreas prioritarias buscando la infiltración de agua de lluvia.

Las plantas utilizadas para estas actividades serán suministradas por los dos viveros que AMSA ha establecido, tomando en cuenta las especies endémicas de la cuenca para

mantener un equilibrio ecológico, es por ello que se debe actualizar la información sobre la flora existente en la cuenca. Las áreas donde se realizan los principales proyectos de reforestación se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Áreas donde se realizan los proyectos de reforestación.

No.	Lugar	Municipio	Área Aproximada (ha)
1	La Selva	Villa Nueva	4
2	Monte María	Villa Nueva	10
3	El Tulujá	Villa Canales	2
4	El Pino	Villa Canales	2
5	Mayan Golf	Villa Nueva	2
6	Villa Hermosa	San Miguel Petapa	5
7	Sector río Platanitos	Villa Nueva	2
8	El Solano	Villa Nueva	4
Total			31

Fuente: AMSA (2016)

D. Áreas de conservación de suelos

Es importante mencionar que en algunas de las áreas a reforestar, se hace necesario implementar, prácticas de manejo y conservación de suelo para proporcionar al suelo mayores medidas de protección y así reducir el riesgo de deslaves y reparar las áreas donde estos han ocurrido.

AMSA realizó varios proyectos de conservación de suelo y agua en diferentes áreas siendo estas:

- Parque Nacional Naciones Unidas se establecieron estructuras de acequias de infiltración.
- Aldea El Cerro, se establecieron barreras vivas y terrazas, promoviendo los sistemas agroforestales (Bosque y siembra de granos básicos), estas estructuras se implementaron también en: Finca La Hana, Amatitlán, Bárcenas Villa Nueva.

E. Centro de capacitación y recreación de AMSA

Es un área que actualmente se encuentra en abandonó por falta de mantenimiento, que anteriormente era parte del recorrido que se realiza en la desembocadura del río Villalobos para dar a conocer la problemática del lago de Amatitlán, el cual se ubica en la desembocadura del río Villalobos, aldea Playa de Oro, San Miguel Petapa.

El centro de capacitación cuenta con una laguna artificial que tiene agua del lago ya que está a un mismo nivel de pendiente, tiene dos bodegas y una gran extensión de área verde que actualmente no tiene el mantenimiento debido ya que no se cuenta con el suficiente personal.

1.4.11 Árbol de problemas

Se realizó un árbol de problemas en la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelo en donde se identificó el problema principal, siendo este: Disminución de la recarga hídrica dentro de la cuenca del lago de Amatitlán como se puede observar en la Figura 5.

A partir del problema central se desglosaron cada una de las causas que lo han provocado, así mismo los efectos que han causado en los recursos naturales.

La primera causa es el manejo inadecuado del recurso bosque, ya que en la actualidad existe una alta deforestación dentro de la cuenca, debido a la tala ilícita, incendios forestales y la falta de aplicar las leyes que penalizan esas acciones.

La segunda causa es el cambio de uso del suelo, acciones como el avance de la frontera agrícola, el crecimiento urbanístico, industrial y las invasiones donde se establecen asentamientos han provocado un cambio en el suelos, dándole un uso inadecuado, esto aunado a la falta de un plan de ordenamiento territorial.

La tercera causa se enfoca en la contaminación hídrica, el cual es un problema muy grande dentro de la cuenca ya que la mayoría de los afluentes de agua que desembocan al lago están contaminados, debido a un mal sistema de drenajes y la falta de tratamientos de las aguas residuales.

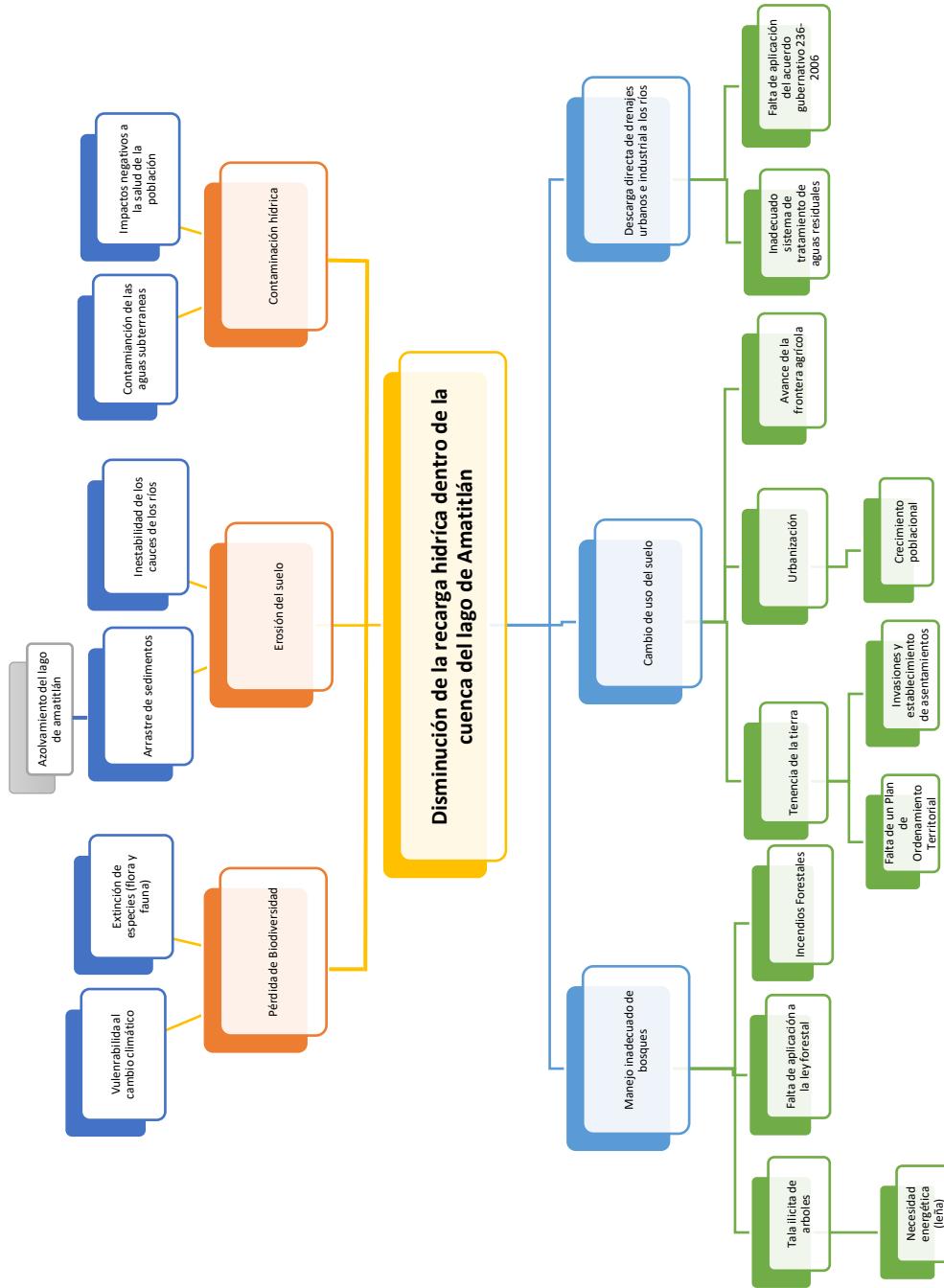


Figura 5. Árbol de problemas.

1.4.12 Problemas relacionados a los ejes estratégicos de recarga hídrica y contaminación.

En relación al árbol de problemas se desarrollaron una serie de cuadros que nos permitirán identificar la problemática de la cuenca del lago de Amatitlán y enfocarse en desarrollar actividades que nos permitan contrarrestar esos problemas.

Los problemas principales en relación a la recarga hídrica y la contaminación que tiene AMSA, son: la deforestación, erosión del suelo y la descarga de aguas residuales a los cauces de los ríos, en una serie de cuadros se describe cada uno de los problemas con sus efectos y causas como se muestran en los Cuadros 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Cuadro 3. Deforestación de la Cuenca del Lago de Amatitlán.

Efectos	Pérdida de suelo, perdida de la biodiversidad, alteración del ciclo del agua, sequía y hasta contaminación.
Problema	La urbanización desordenada ha provocado extensiones de tierra se han removidas para dar cabida a complejos habitacionales, colonias y asentamientos, la tala excesiva de árboles, los incendios, la conversión de bosque en agricultura de subsistencia, la extracción minera.
Causas	Deforestación de las áreas con aptitud forestal por el crecimiento urbanístico, industrial y agrícola actual, en la cuenca del lago de Amatitlán.
Soluciones	Promover campañas de reforestación e implementar tecnologías de producción amigables al ambiente.

Cuadro 4. Erosión del suelo en la Cuenca del Lago de Amatitlán.

Efectos	Erosión cíclica, agotamiento de fuentes de agua, en época lluviosa se provocan desbordes de ríos e inundaciones a comunidades aledañas al cauce del mismo, sedimentación.
Problema	La desprotección de los márgenes del río son la causa principal de la erosión y sedimentación del lago de Amatitlán, ocasionando pérdidas en la sostenibilidad de los recursos suelo y agua, de la biodiversidad florística y faunística y la competitividad que conducen al empobrecimiento del suelo en las zonas de ladera.
Causas	Desestabilización de márgenes de ríos tributarios al lago de Amatitlán, por erosión de laderas y márgenes desprotegidas de vegetación.
Soluciones	Restricción del uso de suelo con aptitud boscosa, promoción de actividades de reforestación con grupos comunitarios y estudiantes.

Cuadro 5. Uso inadecuado del suelo en la Cuenca del Lago de Amatitlán.

Efectos	Dado al crecimiento masivo de la urbanización, industria, frontera agrícola, entre otros, debido a estos crecimientos se genera una alta cantidad de contaminantes. Además se sufre un desgaste entre la rentabilidad y productividad por el sobre uso del suelo.
Problema	El uso del suelo se modifica de forma constante, pasando de áreas de uso agrícola y forestal a áreas urbanas, ya que por la misma demanda de vivienda, la especulación del suelo en las áreas urbanas es mayor aunado a esto la concentración del sector industrial.
Causas	Inadecuado Uso del Suelo de la cuenca del Lago de Amatitlán, debido a la urbanización e industrialización del área metropolitana de Guatemala
Soluciones	Realizar e implementar planes de ordenamiento territorial, lo cual nos permitirá a la vez establecer zonas con uso adecuado.

Cuadro 6. Contaminación del agua superficial y subterránea del lago de Amatitlán y sus principales afluentes.

Efectos	Se produce la contaminación química física, biológica y del paisaje, proliferando agentes patógenos dañinos para el hombre y otras especies, generando una perturbación del ecosistema y malos olores.
Problema	El lago Amatitlán y sus afluentes reciben las aguas residuales de todas las áreas pobladas situadas sobre la vertiente Sur del Área Metropolitana de Guatemala, y también de los otros municipios situados alrededor de la cuenca. Esta situación ha limitado la utilización de estas fuentes como abastecimiento para el consumo.
Causas	Alta contaminación del agua, superficial y subterránea del lago de Amatitlán y de sus principales afluentes
Soluciones	Que las municipalidades cumplan y hagan cumplir el acuerdo gubernativo No. 236-2006, fortalecimiento técnico y logístico municipal y del Ministerio de Ambiente, para fiscalizar y monitorear la infraestructura sanitaria.

Cuadro 7. Vulnerabilidad de la biodiversidad en la Cuenca del Lago de Amatitlán.

Efectos	Esto provoca una disminución de la vida acuática, migración de la fauna, al no tener disponibilidad de alimento, desestabilización de los ecosistemas acuáticos y terrestres.
Problema	Entre las amenazas que enfrenta la diversidad florística y faunística, en la cuenca son las especies acuáticas, así como también, las terrestres y aéreas por la alta deforestación de los bosques nativos y la introducción de especies exóticas afectando así a la existencia de un corredor biológico.
Causas	Amenazas a la Biodiversidad existente en la cuenca del Lago de Amatitlán y dentro de él.
Soluciones	Promoción de incentivos forestal creación de un plan de manejo y uso sostenible e Implementar sistemas agroforestales.

Cuadro 8. Incendios forestales en la Cuenca del Lago de Amatitlán.

Efectos	El departamento de Guatemala evidenció una pérdida de cobertura vegetal, un deficiente manejo forestal.
Problemas	Los incendios forestales son una de las causas de deforestación que afectan directamente los bosques. El departamento de Guatemala en el período 2006 contaba con 62,920 ha de bosque. Para el año 2010 se reportó una cobertura forestal de 57,782 ha. Se pudo determinar una pérdida de 5,138 ha de bosque, ocasionada por los incendios provocados y naturales.
Causa	Riesgos por Incendios Forestales en la Cuenca de la cuenca tributaria del Lago de Amatitlán
Soluciones	Mejorar e implementar los planes de manejo forestal, la distribución de la tenencia de la tierra. Fortalecer el área legal y realizar monitoreos constantes.

Cuadro 9. Reducción y contaminación del recurso hídrico en la cuenca del lago de Amatitlán.

Efectos	La Sobreexplotación de los acuíferos, el poco almacenamiento y aprovechamiento de aguas superficiales y la mala calidad de agua, producen irregularidad en los servicios de agua domestica por escasez y contaminación del recurso.
Problema	Disminución de los caudales disponibles para su aprovechamiento por la intervención acelerada en el comportamiento del ciclo hidrológico, disminuyendo la infiltración al pavimentar las zonas de recarga especialmente en la parte alta de la cuenca en los municipios de Guatemala, Mixco, Santa Catarina Pinula y San Lucas. Por lo que se disminuye la recarga de acuíferos y los caudales en época seca. Si bien el lago de Amatitlán podría ser un reservorio de agua, el grado de contaminación lo hace una fuente no viable.
Causas	Reducción y contaminación del recurso hídrico en la Cuenca del Lago de Amatitlán
Soluciones	Mejorar la disponibilidad hídrica para mejorar la calidad de los servicios, realizar acciones a través de planes, programas y proyectos para el aumento de la recarga hídrica y disminución de la contaminación.

1.5 CONCLUSIONES

1. Dentro de las principales actividades que realiza la División Forestal, está la producción de planta para realizar campañas de reforestación, estructuradas de conservación, jardinería de áreas verdes a cargo de la institución y el control de incendios forestales, estas actividades van orientadas al manejo y conservación de la cobertura forestal en la cuenca del lago de Amatitlán para promover la recarga hídrica a los mantos acuíferos.
2. Por medio del árbol de problemas se identificó la principal problemática que afronta la división forestal, que es la disminución de la recarga hídrica dentro de la cuenca del lago de Amatitlán, esto ha surgido debido a una serie de acciones que son el manejo inadecuado del recurso bosque por la tala inmoderada, incendios forestales; el cambio de uso del suelo por el crecimiento urbanístico e industrial.
3. La problemática principal relacionada a la División Forestal, está bajo el enfoque del eje estratégico de recarga hídrica, el cual está sufriendo fuertes daños, en cuanto a la disminución y contaminación del recurso agua, por el crecimiento urbanístico y de la frontera agrícola, es muy predominante la permeabilización de los suelos dentro de las cuenca, disminuyendo así la infiltración al manto acuífero aunado a esto el desfogue directo de las aguas residuales a los cauces de los ríos.
4. Con relación al análisis de la problemática y las posibles soluciones, la institución debe tomar acciones para aumentar la recarga hídrica, a través de estudios de investigación y metodologías que promuevan la recarga hídrica, la biodiversidad y disminución de la contaminación hídrica dentro de la cuenca del lago de Amatitlán.

1.6 BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, Guatemala). 2015. Calidad del agua de la cuenca y lago de Amatitlán. Guatemala, AMSA, División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos.
2. _____. 2016. Historia. Guatemala. Disponible en: <http://www.amsa.gob.gt/>
3. Congreso de la República de Guatemala. 1996. Decreto no. 46-96: Ley de creación Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán: Art. 1-24. Diario de Centro América, Guatemala, septiembre 18, no. 84:2668-2669. Disponible en https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info_legislativo/decretos/1996/gtdcx64-1996.pdf
4. Fortín Ramírez, TL. 2013. Módulo del programa educativo eco-cine "Aprendizaje y verde diversión" dirigido a docentes del nivel preprimario del sistema educativo nacional. Tesis Licda. Pedag. Admon. Educ. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades. 143 p. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07_3767.pdf
5. Girón Brincker, EJ. 2013. Estimación de la concentración de CO, H₂S, CH₄ O₂ generados por la descomposición de los residuos sólidos desechados en el relleno sanitario ubicado en el kilómetro 22 de la ruta al pacífico, diagnóstico y servicios, realizado en la división de manejo de desechos sólidos, en la autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán. Tesis Inga. Agra. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Disponible en: <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03114.pdf>
6. INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2015. Compendio estadístico ambiental. Guatemala. p. 17-137. Disponible en: <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/12/12/akJPkytmTIGr1QQoommBxUNXhZ9Qhwph.pdf>
7. Méndez Mora, AM. 2013. Elaboración y exemplificación de un sistema para la evaluación de proyectos mediante indicadores socioambientales en la cuenca del Lago de Amatitlán, Guatemala. Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3072/evaluaci%c3%b3n_indicadores_socioambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. NovoTecni, Guatemala; Inypsa, Guatemala. 2015. Plandeamat: Aspectos biofísicos; Actualización del plan maestro integrado de la cuenca del lago de Amatitlán. Guatemala. 773 p.

Prolardo Barrios



CAPÍTULO II

DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LAS MINAS, GUATEMALA C.A.

2.1 PRESENTACIÓN

A nivel mundial el agua es reconocida como uno de los recursos naturales renovables que más conflictos de uso generan, actualmente en Guatemala estos conflictos acentúan en el manejo y uso inadecuado de los recursos naturales, lo que repercute en la reducción del recurso hídrico, la biodiversidad, los recursos forestales y el uso del suelo, así como el deterioro del paisaje en sitios próximos a manantiales, ribera del río, y otros cuerpos de agua, donde la cobertura forestal es un elemento crítico para la regulación del ciclo hidrológico.

La microcuenca del río Las Minas, se ubica en la subcuenca del río Villalobos dentro de la cuenca del lago de Amatitlán, donde los estudios se enfocan principalmente en la contaminación de aguas superficiales, por sedimentos que llegan al lago, que han traído como consecuencia que el proceso de deterioro del lago de Amatitlán, vaya aumentando consecutivamente debido a la falta de ejecución del Plan Maestro del Lago de Amatitlán llamado PLANDEAMAT del año 2015.

Además, en el área de esta microcuenca el uso que predomina es de las actividades agrícolas, industriales y urbanas, con una tendencia de crecimiento. La mayor parte de la microcuenca utiliza fuentes de agua de origen subterráneo como pozos y manantiales para satisfacer sus necesidades (consumo, uso doméstico, higiene), debido a que el uso de las fuentes de agua superficial se ha limitado en su disponibilidad tanto en cantidad como calidad por la urbanización, que como consecuencia disminuye la recarga hídrica y el vertimiento de las aguas residuales, que en su mayoría descarga en forma directa al río, lo que ha provocado contaminación.

Debido a que el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la microcuenca es cada vez mayor, es importante realizar estudios hidrogeológicos en esta región y es fuente de abastecimiento de agua del municipio de Santa Catarina Pinula, se generó información para determinar la recarga hídrica natural de la microcuenca siendo esta de 16.2 millones de $m^3/año$, tomando en cuenta la recarga hídrica de cada unidad de muestreo, la infiltración y otros factores se determinaron las áreas críticas de recarga hídrica con la finalidad de que se le den un manejo adecuado.

Se realizó un diagnóstico de los recursos, bosque, suelo y agua para poder establecer lineamientos que permitan darle un manejo sostenible a los recursos naturales, dentro de los cuales se pueden mencionar: fortalecer con un plan de ordenamiento territorial, mejorar la red de drenaje para no seguir contaminando los ríos y realizar monitoreos constantes en el área boscosa para evitar la tala inmoderada de árboles.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 MARCO CONCEPTUAL

A. Ciclo hidrológico

Los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación de agua sobre nuestro planeta. Además, se debe de tomar en cuenta que el movimiento del agua en el ciclo hidrológico se caracteriza por la irregularidad tanto en espacio como en tiempo.

El ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua vaporada del océano vuelve a él después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea (Custodio y Llamas, 2001).

Las fases principales que intervienen en el ciclo hidrológico son:

- Evaporación.
- Formación y desplazamiento de nubes y niebla.
- Condensación del agua, precipitación en forma de lluvia y granizo, etc.
- Escorrentía superficial, sobre el suelo.
- Infiltración, en el perfil del suelo.
- Percolación a estratos más profundos.
- Flujo subterráneo y retorno a la superficie (manantiales y pozos).
- Formación de corrientes superficiales como ríos y arroyos.
- Descarga en lagos, océanos y mares.

Para la estimación del balance hídrico los componentes del ciclo hidrológico que intervienen principalmente son: las precipitaciones, la escorrentía, la infiltración y la evapotranspiración (Orozco, Padilla, Salguero, 2003).

B. Recarga hídrica

La recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua, lo cual es equivalente a la infiltración eficaz, además se define como el proceso que implica un incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas (Custodio y Llamas, 2001).

Proceso que implica el incremento del agua hasta la zona de saturación donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas, es decir que es la cantidad de agua adicionada a través de pozos de inyección principalmente (recarga artificial) o absorbida a través del suelo y percola hasta llegar a un acuífero (recarga natural).

La recarga hídrica puede ser también a través de la infiltración de lluvia y lateral por el aporte de otras áreas o cuencas (Orozco, Padilla, Salguero, 2003).

a. Recarga de acuíferos

La recarga de agua en los acuíferos cuando proviene de fuentes superficiales, comprende tres pasos: infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelo, el movimiento descendente de agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación y la emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas (Padilla, 2003).

La infiltración se produce debido a la acción combinada de las fuerzas de gravedad y atracción molecular. La atracción molecular se expresa como un gradiente de potencial en aquellos lugares donde la humedad del suelo no está en equilibrio.

b. Recarga por infiltración de la lluvia

Las recargas de agua en la zona de saturación proveniente de fuentes superficiales comprenden tres pasos:

- Infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelos.
- El movimiento descendente del agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación.
- La emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas.

La infiltración se produce debido a la acción combinada de las fuerzas de gravedad y atracción molecular. La atracción molecular se expresa como un gradiente de potencia en aquellos lugares donde la humedad del suelo no está en equilibrio. Una vez que la zona de los suelos ha recibido agua a toda su capacidad, toda el agua adicional desciende por gravedad, ya sea directamente hasta el manto freático o a la zona intermedia (Herrera, 2014).

c. Recarga por infiltración de las corrientes

En general, las corrientes se pueden clasificar en influentes y efluentes; influentes si aportan agua al acuífero, si escurren encima del nivel freático aumentando su caudal de agua y efluentes si escurren en un nivel inferior que el nivel freático, en cuyo caso ejecutan si el acuífero aporta agua a la corriente.

La recarga se debe principalmente a la penetración en el subsuelo de la lluvia, sin embargo, si la lluvia al caer lo más rápidamente que la infiltración, el agua correrá sobre la superficie formando la escorrentía superficial.

Las condiciones que influyen en la cantidad de la recarga del agua subterránea son dos:

i. Las que se refieren a la precipitación pluvial

En general, la proporción de agua infiltrada aumenta en cierto grado con la precipitación, si ocurre en forma de lluvias ligeras y escasas, puede ser absorbida por el suelo, las lluvias que caen una vez satisfechas las deficiencias del suelo son las que enriquecen las reservas subterráneas. Si la lluvia cae en forma fuerte aguaceros de corta duración, solo una pequeña parte del agua se infiltra y otra parte aún más pequeña alcanzará el nivel freático.

ii. Las que se refieren a las facilidades de entrada

Por ciertas condiciones que hacen variar el porcentaje de la lluvia infiltrada. La más importante es la permeabilidad del terreno. Formaciones tales como calizas cavernosas, rocas fracturadas, grava o arena de grano grueso, permiten en gran parte que las lluvias alcancen el nivel freático, en cambio un suelo arcilloso sólo permite el paso del agua a poca profundidad.

La cantidad de recarga de un acuífero depende en cierto modo de la extensión del área de entrada. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables, situados en áreas extensas. Por otra parte, la infiltración es mayor cuando en el área de entrada ocurren no solo la precipitación local, sino el escurrimiento superficial de alguna área tributaria, como sucede en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación (Taracena 1999).

En general, la infiltración es mayor en terrenos planos que inclinados.

C. Acuífero

Es una unidad geológica saturada, capaz de suministrar agua a pozos y manantiales, permitiendo la circulación de agua por sus poros y grietas los que a su vez sirven para que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para cubrir sus necesidades.

Los tipos de acuíferos existentes son:

a. Acuíferos libres, no confinados o freáticos

Son aquellos en los cuales existe una superficie libre de agua encerrada en los mismos y que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica (Salguero, 2002).

b. Acuíferos cautivos, confinados a presión

El agua está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene, saturándola completamente (Salguero, 2002).

c. Acuíferos semicautivos o semiconfinados

Donde el muro (parte inferior) y/o techo (parte superior) que los encierra no es totalmente impermeable sino acuitardo, es decir un material que permite la filtración vertical del agua, muy lenta, que alimenta el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo (Custodio y Llamas, 2001).

D. Manantial

Manantial puede definirse como un punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero o embalse subterráneo. Los manantiales son pues los desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos y pueden ser locales y regionales (Custodio y Llamas, 2001).

E. Agua subterránea

a. Importancia del agua subterránea

El uso del agua subterránea se conoce desde hace muchos siglos, quizá desde los tiempos bíblicos, aunque lógicamente en aquellas épocas la explotación se hacía en forma rústica y primitiva.

b. Distribución del agua subterránea

En general, todos los materiales de la corteza terrestre, a mayor o menor profundidad tienen cierto espesor en el que son porosos, a esta parte se le conoce como zona porosa, a su vez estos poros pueden estar llenos total o parcialmente de agua.

El estrato superior, donde los poros no están completamente llenos de agua, es a lo que se le llama zona de aireación, debajo de ésta, donde los poros están totalmente llenos, se localiza la zona de saturación.

A su vez, la zona de aireación se divide en tres franjas:

- La humedad del suelo, de gran importancia para la vegetación, ya que proporciona el agua necesaria para el desarrollo de las plantas; esta agua es retenida por atracción molecular y acción capilar contra la fuerza de gravedad.
- La franja intermedia, que se encuentra por debajo de la anterior, su espesor es variable. El agua que contiene es un almacenamiento inútil o fósil, puesto que no se puede recuperar para utilizarla; esta parte funciona como tránsito del agua, de la zona húmeda hacia la franja capilar y la zona de saturación.
- La franja capilar, situada inmediatamente arriba de la zona de saturación, sobre la que se retiene agua por acción capilar, contrarrestando la acción de la gravedad, su espesor y la cantidad de agua que retiene depende del tamaño de los granos del material, llegando a alcanzar hasta 3 m de altura en materiales finos como limos y arcillas (Maldonado, 2004).

c. Movimiento de la humedad del suelo

La infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior del mismo, diferente a la percolación, que es el movimiento del agua a través del suelo profundo y las rocas. Una vez que el agua está en contacto con el suelo, el agua gravitacional penetra hacia abajo a través de los intersticios más gruesos, mientras que los más pequeños toman agua por capilaridad.

El agua gravitacional, en su trayecto de descenso, también es interceptada por los intersticios capilares. A medida que los poros capilares de la superficie se llenan de agua, la tasa de infiltración disminuye. En suelos homogéneos, la infiltración disminuye gradualmente hasta la zona de aireación saturada.

Normalmente, el suelo es estratificado y las capas inferiores son menos permeables que en las capas superficiales; en este caso, la tasa de infiltración se reduce a la tasa de percolación del estrato menos permeable (Amisial, 1978).

d. Manifestaciones exteriores del agua subterránea

En general, en las áreas de recarga existe un déficit de humedad en el suelo en ciertas épocas del año, por lo menos en climas templados y con mayor razón en climas áridos y semiáridos. Por ello se caracterizan por tener una vegetación mucho más pobre que la existente en las zonas de descarga próximas. Este empobrecimiento de la vegetación también va acompañado de un suelo pobre, lo cual es un fenómeno ligado al anterior. Por otro lado, las zonas de recarga tienden a tener un sistema más homogéneo y estable que las de descarga.

En las zonas de descarga, que con frecuencia son además de extensión superficial más reducida que las de recarga, el terreno tiene un aporte de humedad suplementario que puede compensar total o parcialmente el déficit hídrico de ciertas épocas del año, produciendo así un fuerte contraste de vegetación según las circunstancias de ese aporte hídrico. Si el exceso de humedad es grande, en las zonas de descarga se inicia la red de drenaje permanente a través de manantiales, con frecuencia acompañadas de rasgos morfológicos erosivos y acumulación superficial de sales.

En general las zonas de descarga se sitúan al pie de zonas más elevadas y la calidad y temperatura del agua es alóctona.

En ausencia de manantiales vistos, puede recurrirse a localizar zonas de descarga subterránea a través de los rasgos de campo que indican un exceso de humedad, los cuales varían con el clima, ambiente y topografía del punto de descarga.

La presencia de manantiales, cuyo caudal varía según el clima, régimen de recarga y volumen de embalse útil, se delata en ocasiones por la existencia de una depresión circular o semicircular. A veces por la presencia de agua en el cauce de desagüe en épocas frías, pueden aparecer nieblas debido al fuerte contraste térmico entre el ambiente y el agua (a la temperatura media anual aproximadamente o algo más caliente (Herrera 2001).

e. Los sistemas de flujo

El primer paso para determinar la recarga es conocer el sistema de flujo del acuífero. Las características de circulación del agua subterránea dependen primariamente de tres factores que condicionan la recarga, presencia en el terreno y descarga:

- Climatología e hidrología.
- Geología (litología y tectónica).
- Geomorfología.

En un sistema con cierta geología, geomorfología y clima se establece un sistema de flujo en el que existen áreas de recarga, áreas de descarga y áreas de transferencia. En las primeras el flujo tiene una composición vertical descendente, en las segundas una componente vertical ascendente y en las terceras el flujo es predominantemente horizontal.

En un esquema simple, las zonas de recarga y de descarga están conectadas por una zona de transferencia. Las variaciones del potencial hidráulico en la vertical de un lugar delatan el carácter de la zona. No obstante, en la realidad los sistemas son muchas veces complejos, con una o varias áreas de recarga y una o varias áreas de descarga y varios modos de transferencia según el lugar y la profundidad. A este respecto es preciso tener en cuenta que el agua puede circular por terrenos considerados poco permeables y también a notables profundidades, aunque lo haga muy lentamente, quizás a solo pocos metros por año, ya sea en medios porosos o a través de fisuras (Maldonado, 2004).

Un terreno al que se considera como no acuífero, desde el punto de vista de que su aptitud para que en él se establezcan captaciones de agua subterránea, puede conducir grandes cantidades de agua subterránea si el gradiente y el espesor saturado es elevado y ello es de gran importancia geodinámicamente e hidrogeológicamente. El movimiento a través de

esos acuitardos puede explicar muchos fenómenos a los que se les había buscado explicaciones complicadas y poco realistas.

F. Precipitación

a. Precipitación pluvial

Cantidad de agua caída en una zona determinada, ya sea en forma de lluvia, nieve, granizo o rocío. El pluviómetro es el instrumento más utilizado para la medición de las precipitaciones, que se expresan en litros y milímetros por metro cuadrado.

Según los fenómenos meteorológicos que las originan existen tres tipos de precipitación, convectiva, frontal o ciclónica y orográfica o lluvia de relieve, (Custodio y Llamas, 2001).

Los aspectos fundamentales de un evento de precipitación que son de interés para la recarga hídrica son la duración, intensidad y frecuencia.

Los factores que determinan el desigual reparto de las precipitaciones son múltiples y complejos, desde los de ámbito general hasta los regionales o locales:

- Los factores de alcance general son los responsables de que en los climas ecuatoriales las lluvias sean fundamentalmente de convección, y en los climas tropicales las estaciones lluviosas coincidan con los solsticios.
- Los factores regionales o locales determinan aspectos tales como la mayor humedad de las zonas costeras y la mayor frecuencia de lluvias en las barreras montañosas, en especial en su vertiente orientada al mar.

b. Precipitación efectiva

Es la porción de la precipitación pluvial que puede infiltrarse en el suelo y estar disponible para las raíces de las plantas o bien infiltrarse al acuífero, por lo que es la precipitación que sirve para estimar el balance hídrico.

c. Factores que intervienen en la precipitación efectiva

i. Intensidad de precipitación

Al aumentar la intensidad de precipitación hasta el grado de rebasar la velocidad de infiltración del suelo, entonces el agua comienza a perderse por escurrimiento y no es aprovechada por el cultivo.

ii. La velocidad de infiltración en el suelo

Está íntimamente relacionada con la intensidad de precipitación y depende de las características físicas del suelo, tales como la textura, estructura, compactación etc., y del contenido de humedad, pues al aumentar éste la cantidad de agua infiltrada disminuye.

iii. Cobertura vegetal

Esta obstaculiza el escurrimiento por lo cual aumenta el tiempo de contacto suelo-agua y por consiguiente habrá mayor infiltración del agua de lluvia. Gran cantidad de lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta es depositada en la cobertura vegetal como intercepción.

Aun cuando el efecto de la cobertura no tiene mayor importancia en las avenidas más grandes, la intercepción debida a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable en la lluvia anual. Se ha encontrado que un bosque de árboles maderables de gran tamaño intercepta hasta un 20 % de lluvia.

iii. Topografía

La topografía influye debido al tiempo de contacto del agua con la superficie, porque al llover sobre una superficie plana el agua se infiltra, cosa que no ocurre en topografías accidentadas donde el agua comienza a escurrir hacia las partes bajas y planas, (Herrera, 2014).

G. Evapotranspiración

El fenómeno físico de la evaporación no es más que el paso del agua líquida al estado de vapor a la temperatura ambiente y constituye un proceso de suma importancia porque contribuye como factor dinámico en el ciclo hidrológico del agua. La evaporación es el resultado del proceso físico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso,

retornando, directamente, a la atmósfera en forma de vapor. Todo tipo de agua en la superficie está expuesta a la evaporación.

El efecto del viento es el de remover las masas de aire húmedo en contacto con la superficie evaporante, facilitando la llegada de aire más seco. Es por ello que existe un incremento de la evaporación a medida que los valores de temperatura y viento son mayores. La humedad relativa influye en una forma inversamente proporcional en la evaporación, ya que la tensión del vapor que se manifiesta cuando la atmósfera se satura de humedad actúa frenando la tasa de evaporación o sea que a una mayor humedad relativa del aire menor evaporación (Orozco, Padilla, Salguero, 2003).

La transpiración resulta del desprendimiento del agua en forma de vapor de las hojas de las plantas, la cual ha sido absorbida desde el suelo y llevada a través de los tallos hasta la superficie foliar de donde pasa a la atmósfera. La evapotranspiración, aun en igualdad de suelo, planta y clima, es variable, por una parte, con la humedad que retenga el suelo en el momento considerado y, de otra, con el estado de la vegetación, por eso es llamada evapotranspiración actual para conocer la evapotranspiración en un momento dado (Orozco, Padilla, Salguero, 2003).

H. Constantes de humedad

La capacidad de los suelos para retener el agua es una característica muy importante en el balance hídrico, mientras menor sea la capacidad de los suelos para retener el agua infiltrada, mayores serán las posibilidades de que esta agua pase a formar parte de la humedad de estratos inferiores hasta alcanzar la zona saturada (acuíferos).

De esta manera para el cálculo del balance hídrico de suelos se determinan las constantes de humedad de un suelo, las cuales son:

a. Capacidad de campo (CC)

Se define como el contenido de humedad que tiene un suelo inmediatamente después de que el agua gravitacional ha drenado, o sea que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de la gravedad. Siendo el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no exista desperdicios ni falta de agua a la planta.

b. Punto de marchitez permanente (PMP)

Se define como el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Al alcanzar el suelo estos valores las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aun cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua. Al medio día muchas veces las plantas se marchitan, pero luego al enfriarse el día se recuperan, este es solo un marchitamiento temporal.

Es decir que corresponde al límite inferior del agua disponible a las plantas y la tensión a la cual el agua está retenida por el suelo. Cuando aumenta la velocidad de transpiración, el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor.

Para la mayoría de los cultivos comerciales se alcanza cuando la tensión de la humedad en el suelo es de 15 atm y es por esto que también se le define como el contenido de humedad que tiene el suelo cuando el agua está retenida a 15 atm.

I. Escorrentía

La escorrentía está afectada por factores topográficos y geológicos que son:

a. Tamaño de la cuenca

Entre mayor área haya en una cuenca, el tiempo requerido para que el área de captación total contribuya a la escorrentía pico es mayor.

b. Forma de la cuenca

Si tenemos la misma área de captación, pero con forma distinta podemos observar que la cuenca alargada necesita mayor tiempo para alcanzar el pico que una cuenca en forma de medio círculo u ovalada.

J. Distribución de los cursos del agua

El patrón y arreglo de los cursos de corrientes naturales determinan la eficiencia del sistema de drenaje. Para otros factores constantes, el tiempo requerido por el agua para fluir una distancia dada es directamente proporcional a la longitud.

K. Pendiente de cuenca

La pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que las muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y, si son menos fuertes, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración. En algunas áreas pareciera que las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para la infiltración que las enteramente planas. Estas últimas a menudo desarrollan suelos herméticos. La textura del suelo juega un papel importante en el proceso de infiltración puesto que está influida por la pendiente del terreno.

Mientras mayor sea la pendiente de captación viajará más rápidamente la escorrentía superficial. El tiempo al pico será más corto. La capacidad de infiltración en pendientes altas es muy baja.

L. Almacenamiento de la cuenca

Ya que el almacenamiento debe llenarse primero antes de vaciarse, este tiene un retardatorio y modificador de la forma del hidrograma.

M. Geología de la cuenca

La pedología y geología de la cuenca influencia primordialmente al componente de agua subterránea y las pérdidas. Altas tasas de infiltración reducen la escorrentía superficial. El tipo de corriente predominante en una cuenca puede tener impacto substancial en la forma del hidrograma.

N. El uso de la tierra

El uso de la tierra puede influenciar fuertemente el coeficiente de escorrentía. Áreas urbanizadas pueden tener un coeficiente del 100 %, La vegetación natural puede tener baja escorrentía. Laboreo, drenaje, intensidad de cultivos, plantación de bosques, etc., también tienen un efecto considerable en la escorrentía.

2.2.2 MARCO REFERENCIAL

A. Ubicación natural

La microcuenca del río Las Minas se ubica dentro de la región fisiográfica de las Tierras Altas Volcánicas. La microcuenca pertenece a la subcuenca del río Villalobos, la cual pertenece a la cuenca del río María Linda, en la vertiente del Océano Pacífico de Guatemala (PLANDEAMAT, 2015).

Colinda al Norte con la microcuenca del río Pinula, al Sur con la cuenca del lago de Amatitlán, al Este con las microcuencas del río Molino y El Bosque y al Oeste con la subcuenca del río Villalobos, según la Figura 6 (IGN, 2016).

B. Localización geográfica

La microcuenca se ubica dentro de los municipios de Santa Catarina Pinula y Villa Canales, tiene una superficie de 35.71 km², como se puede observar en la Figura 7 (PLANDEAMAT, 2015).

C. Zonas de vida

La microcuenca se encuentra en dos zonas de vida, según la Figura 8, la parte alta en el municipio de Santa Catarina Pinula se clasifica como Bosque húmedo montano bajo subtropical con símbolo bh-MB, el resto de la microcuenca que pertenece al municipio de Villa Canales y parte de Santa Catarina Pinula, se clasifica en la zona Bosque húmedo subtropical (templado) con símbolo bh-St (MAGA. 2009).

D. Geología

La geología que presenta la microcuenca, son Tv y Qp, con rocas ígneas y metamórficas de los periodos terciario y cuaternario, tanto en la parte alta, media y baja, como se puede observar en la Figura 9 (MAGA, 2009).

E. Clasificación de suelos

De acuerdo con la clasificación de Simmons y como se observa en la Figura 10, la serie de suelos dentro del área es:

a. Suelos Morán (Mr)

Ocupan la parte media y baja de la microcuenca, se caracterizan por relieves de inclinados a ondulados, los suelos Morán son profundos, bien drenados, y desarrollados sobre ceniza volcánica pomácea en un clima húmedo-seco. Se asemejan a los suelos Guatemala y Cauqué, siendo más rojos que éstos (Mánzo, 2008).

b. Suelos de Guatemala (GT)

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica débilmente cementadas, en un clima húmedo y seco. Ocupan un relieve que es casi plano, con algunas partes onduladas o suavemente ondulada. Los suelos Guatemala están asociados con los suelos Cauqué pero se distinguen de estos porque se encuentran en planicies y los otros, en relieve de ondulado a inclinado. Además, porque estos suelos son más profundos que Cauqué. El suelo superficial es de color café muy oscuro, con textura franco arcilloso, consistencia friable y espesor de 50 cm a 100 cm (Mánzo, 2008).

c. Suelos Aluviales (SA)

Dentro de ellos se encuentran agrupados suelos aluviales jóvenes de diferentes características. Áreas de magnitudes variables, discontinuas, se encuentran a lo largo de arroyos. En muchos lugares están bien drenados con arenas de reacción neutra a alcalina moderadamente oscura. (Mánzo, 2008).

d. Suelos de Áreas Fragosas (AF)

Es una clase de terreno donde barrancas de ladera perpendiculares de casi 100 m de profundidad, cortan la planicie de Guatemala y otros cercanos, dejando inaccesibles unas partes potenciales arables. Estos suelos se encuentran desde la parte alta-media de la microcuenca (Manzo, 2008).

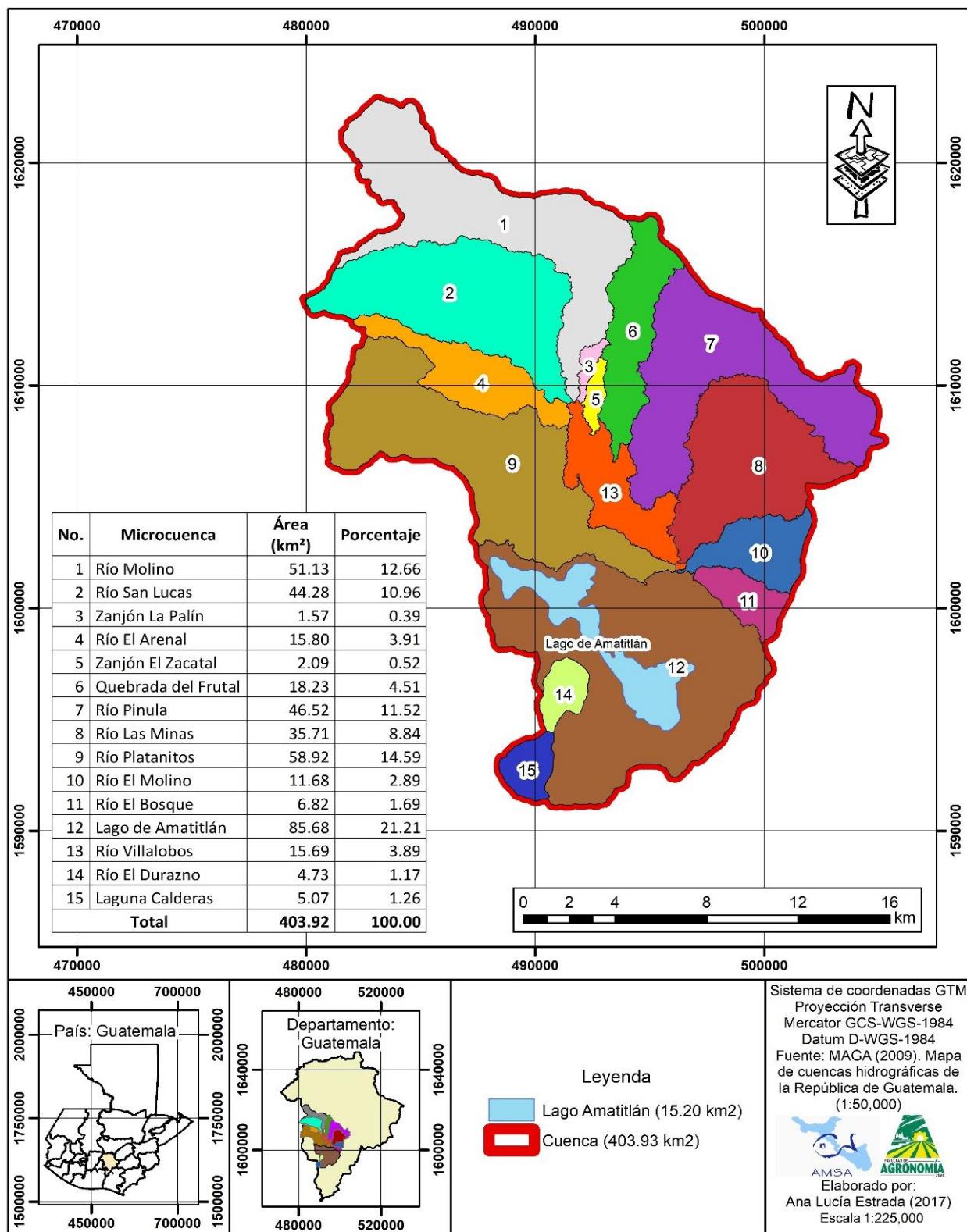


Figura 6. Mapa de microcuenca de la cuenca del río María Linda.

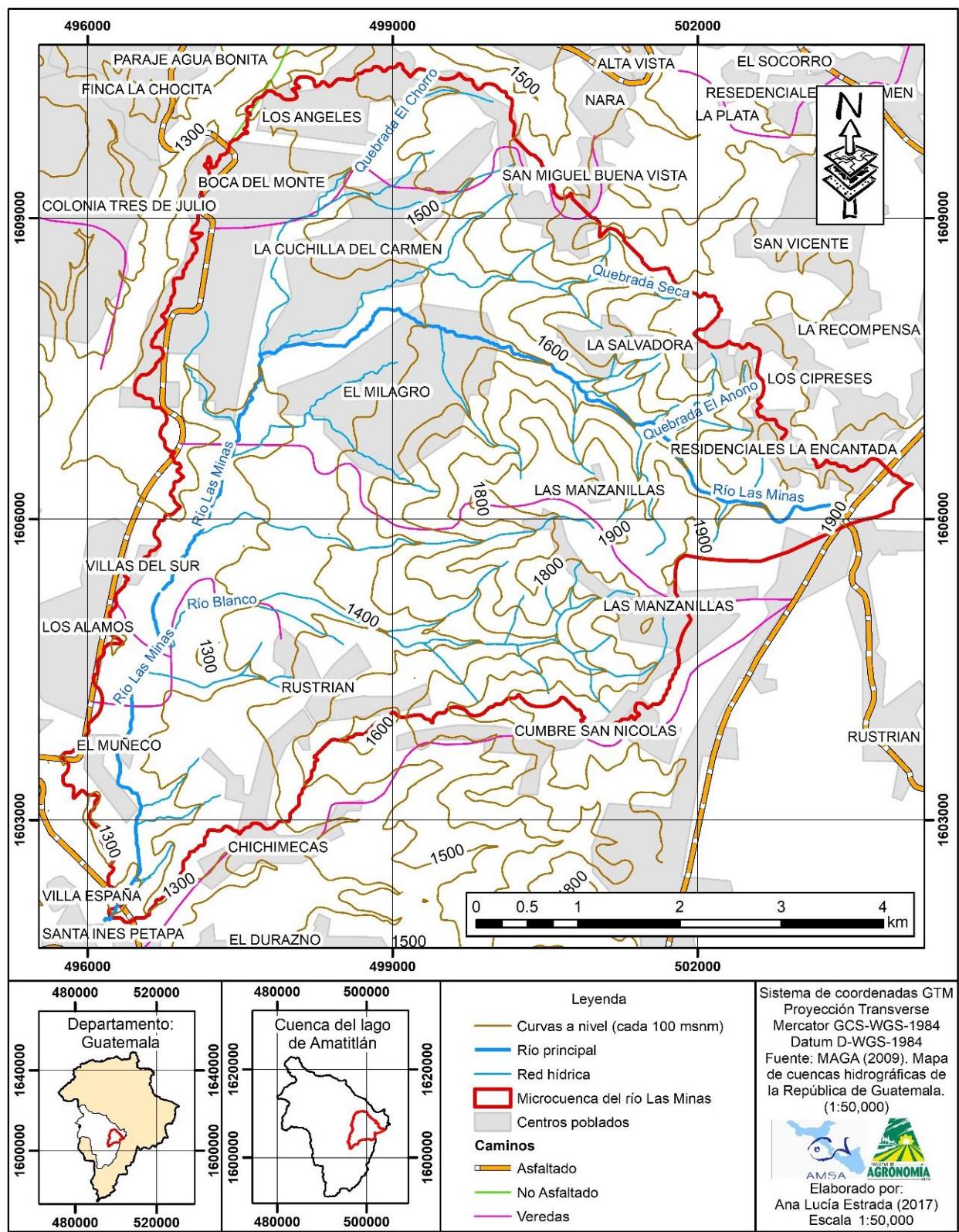


Figura 7. Mapa de localización y área de la microcuenca del río Las Minas.

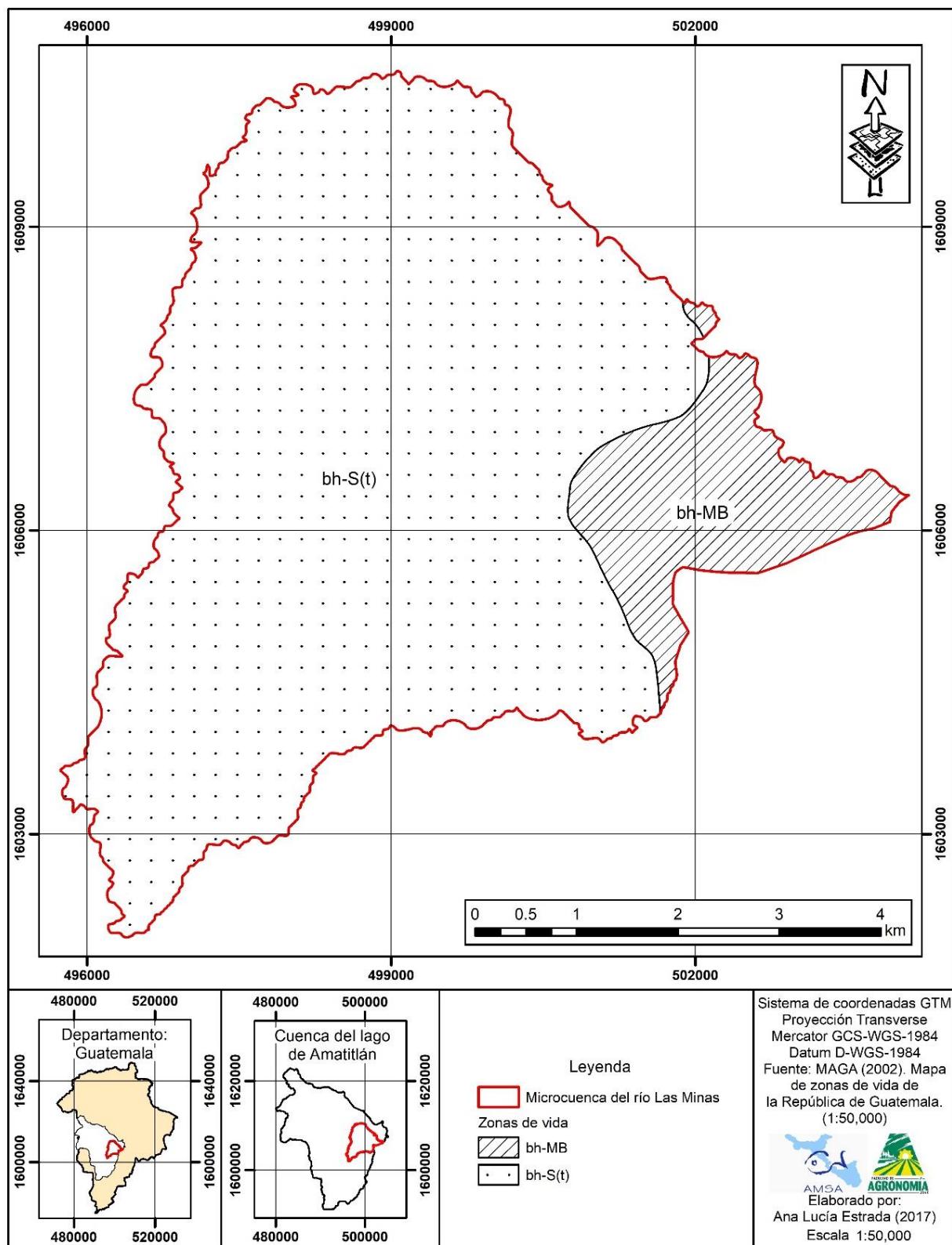


Figura 8. Mapa de zonas de vida de la microcuenca del río Las Minas.

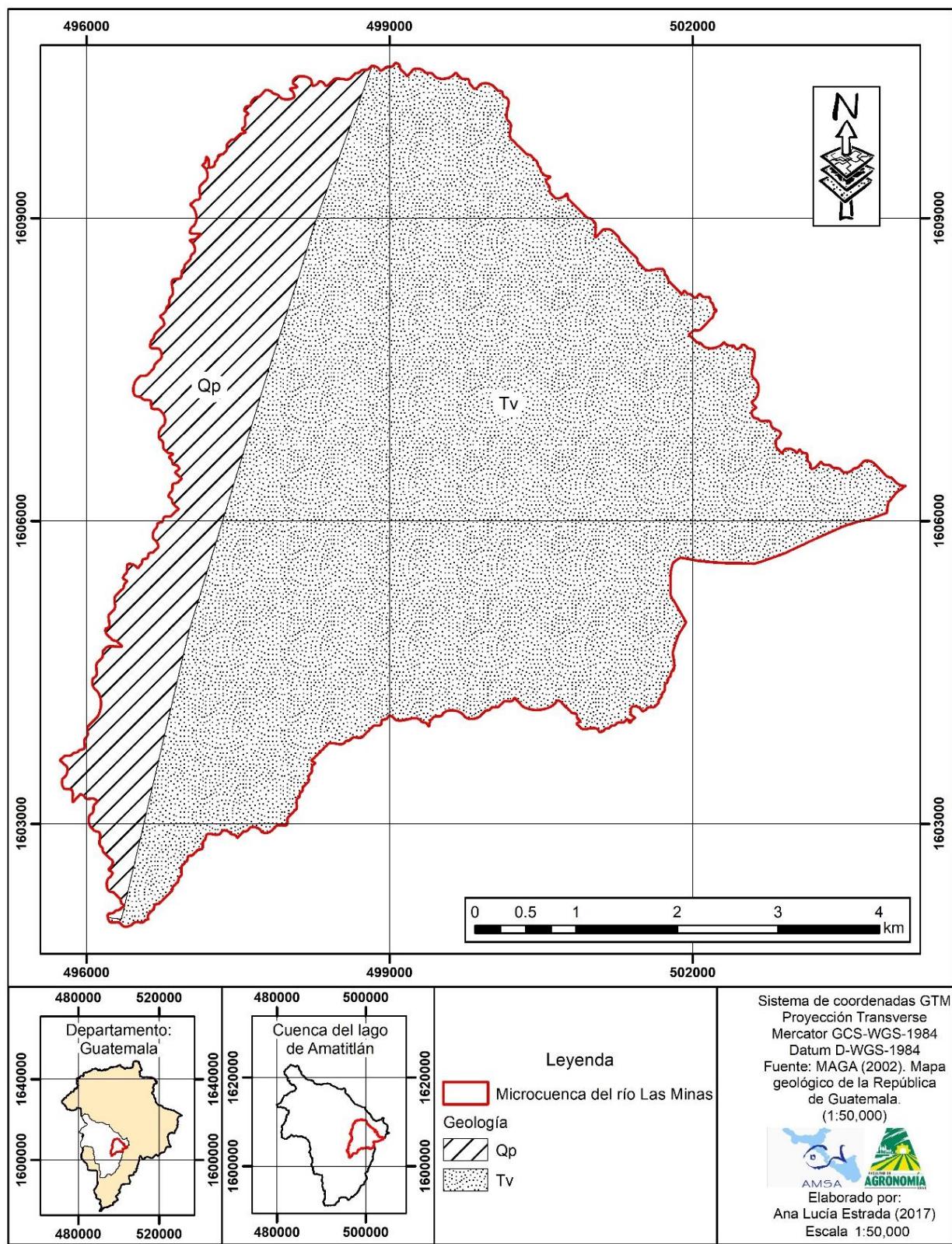


Figura 9. Mapa de la geología de la microcuenca del río Las Minas.

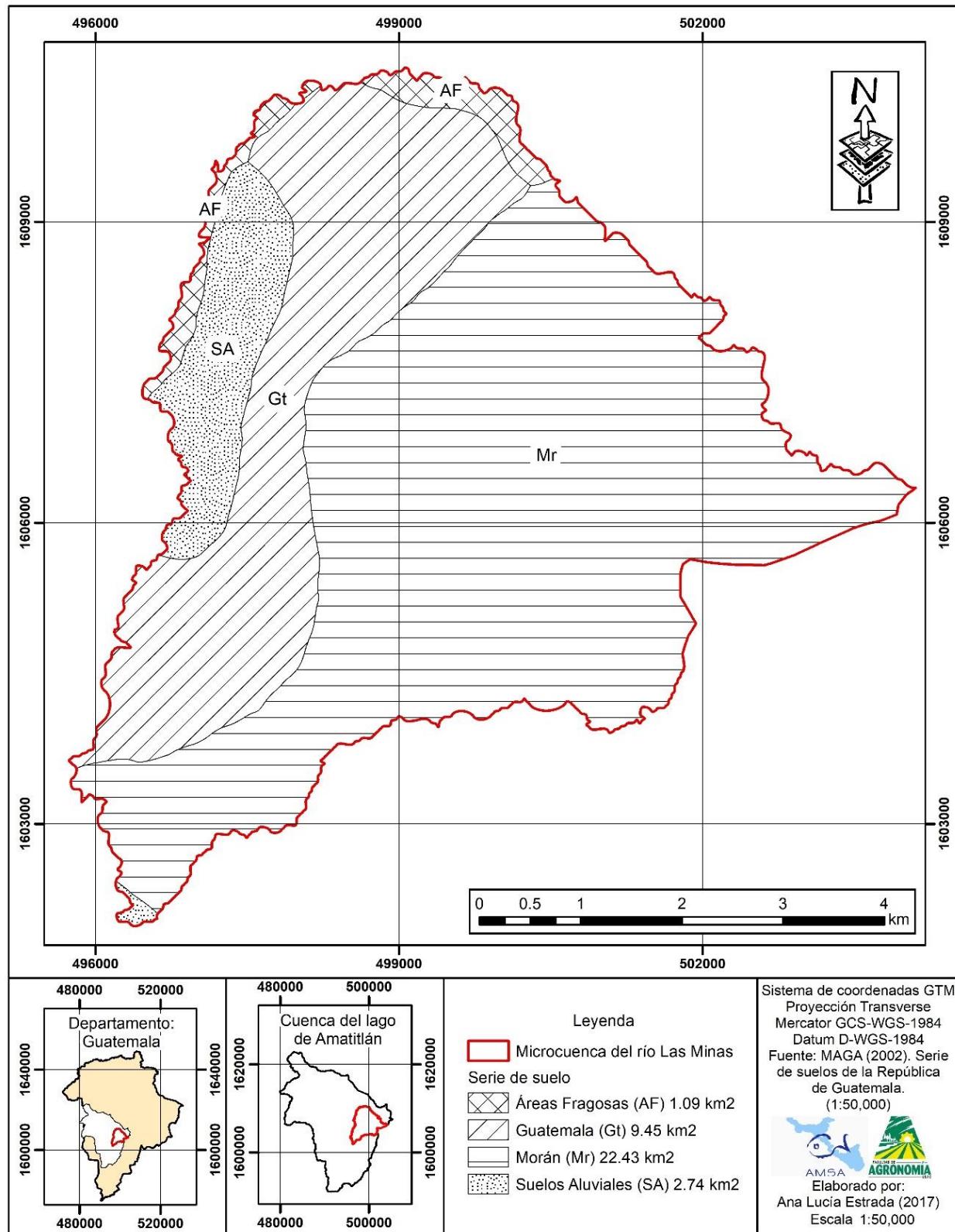


Figura 10. Series de suelos de la microcuenca del río Las Minas.

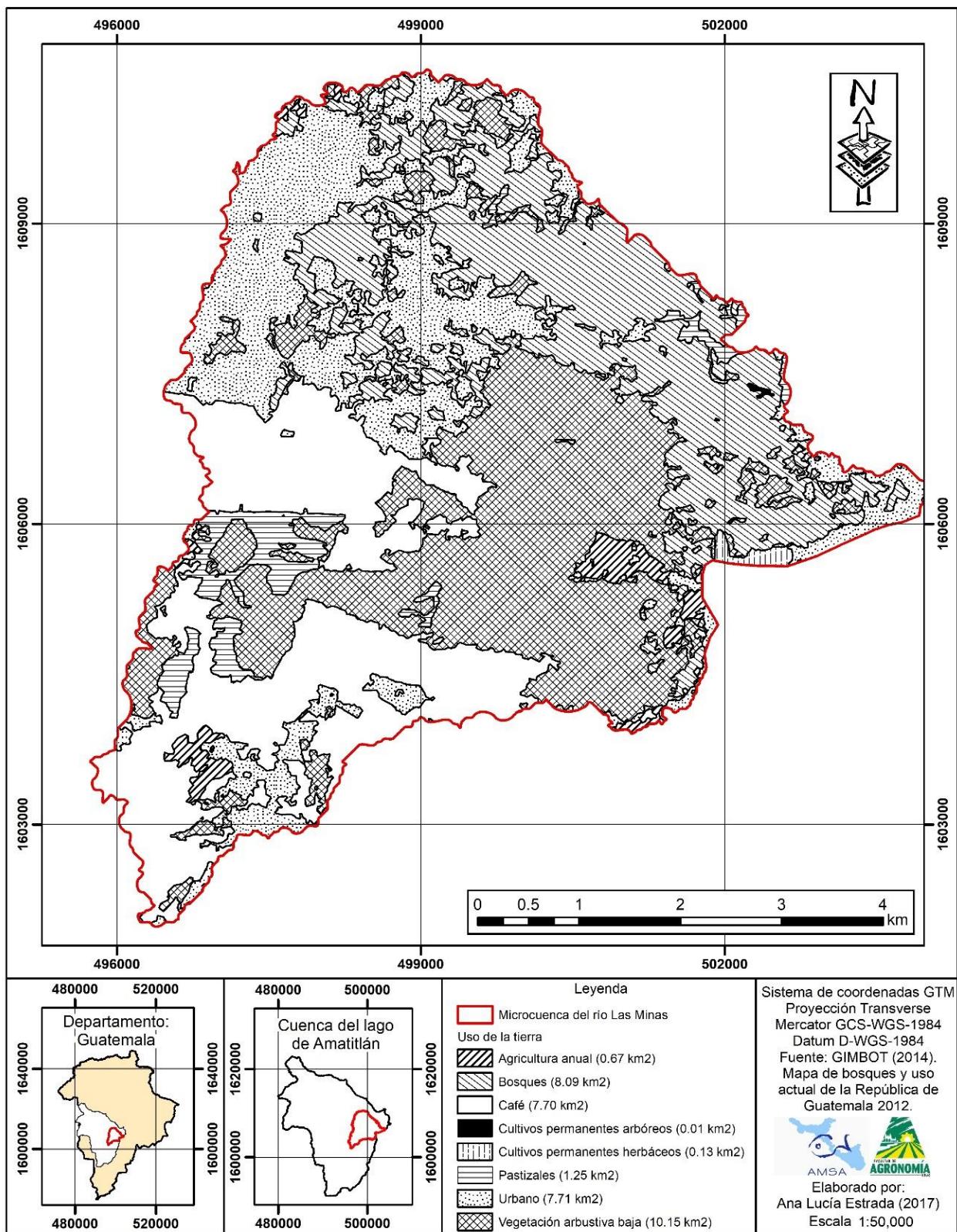


Figura 11. Uso de la tierra en la microcuenca del río Las Minas.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 General

Determinar la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Las Minas, subcuenca del río Villalobos, cuenca del lago de Amatitlán.

2.3.2 Específicos

- 1 Determinar la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Las Minas.
- 2 Determinar el balance hídrico de suelos de la microcuenca del río Las Minas.
- 3 Establecer las zonas de mayor recarga de la microcuenca del río Las Minas.
- 4 Proponer lineamientos para el manejo sostenible de los recursos naturales de la microcuenca del río Las Minas.

2.4 METODOLOGÍA

2.4.1 Fase de gabinete inicial

A. Recopilación de información básica

Se delimitó el área de estudio a través de mapas existentes de Cuencas Hidrográficas de la República de Guatemala a escala 1:50,00 realizados por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA).

Se recopiló información de aspectos biofísicos como lo son: la hidrología de la cuenca, zonas de vida, geología, series de suelos de SIMMONS, uso de la tierra. Esta información se recopiló del Plan maestro del Lago de Amatitlán, shape y mapas temáticos del MAGA 2009 y 2012. (Gimbot, 2014)

Con la información obtenida se generaron los mapas de delimitación de la cuenca, la red hidrológica, zonas de vida, uso de la tierra, series de suelos y geología.

B. Recopilación de información climática

Se identificaron las estaciones meteorológicas automatizadas que son instaladas por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA) en la cuenca, solo se encontró una estación en el área de estudio como se describe en el Cuadro 10, que lleva por nombre AMSA5 ubicada en Santa Catarina Pinula con un buffer de 4 km de diámetro de cobertura.

Cuadro 10. Ubicación de la estación meteorológica.

No.	Nombre	Lugar	Coordenadas UTM	
			X	Y
1	AMSA5	Polideportivo, Santa Catarina Pínula	768467.68	1611858.55

Fuente: elaboración propia (2017).

La información proporcionada de la estación meteorológica fue de precipitación, temperatura y humedad del suelo, las cuales se tabularon promedios mensualmente obteniendo un año como mínimo de información climática.

C. Identificación de unidades de muestreo

Generados los mapas de uso de la tierra, mapa de suelos y geología se interpolaron dichos mapas en ARGIS, determinando así las unidades de muestreo.

2.4.2 Fase de campo

Esta fase consistió en realizar diferentes actividades de campo, como pruebas de infiltración y se recolectó muestras de suelo para su análisis y determinar la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la densidad aparente en el laboratorio, dicha información fue utilizada para generar el balance hídrico de suelos.

A. Prueba de infiltración

Las pruebas de infiltración se realizaron en cada unidad de muestreo determinadas según el mapa de puntos de muestreo, el método que se utilizó fue el de Porchet, el cual consistió en:

- Limpiar el área de los puntos de muestreo.
- Se excavó un agujero con radio y altura conocida.
- Se agregó agua hasta llevar cerca del punto de saturación.
- Se tomaron lecturas en intervalos de tiempo.
- El radio del cilindro se conoce como R , la altura conocida “ h ”, y el cambio de tiempo dt para encontrar la capacidad de infiltración “ f ”.

La ecuación para determinar “ f ” es la siguiente:

$$f = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} * \ln \frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$$

Se midieron pares de valores de (h_1, t_1) y (h_2, t_2) , de manera que t_2 y t_1 no difieran demasiado.

B. Determinación de constantes de humedad, textura y densidad aparente

Se realizó un muestreo de suelos en cada unidad de mapeo, con la finalidad de obtener las constantes (Punto de marchitez permanente (PMP), Capacidad de campo (CC), densidad (da) y textura), dichas muestras se llevaron al Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” FAUSAC.

A través de este análisis, se estima la cantidad de agua de precipitación pluvial, que luego de infiltrarse en el suelo se percola por fuerzas gravitacionales a estratos más profundos.

2.4.3 Fase de gabinete final

A. Balance hídrico de suelos

En esta fase se analizó la información recopilada y generada en la fase de gabinete inicial y fase de campo, para poder determinar el volumen total de recarga hídrica en la microcuenca del río Las Minas.

Se estimó el balance hídrico del suelo, utilizando una hoja de cálculo en Excel®, elaborado por Schosinsky (1999), en la cual se ingresaron las variables: características físicas del suelo (textura, densidad aparente), infiltración básica, constantes de humedad (CC y PMP), clima (precipitación y evapotranspiración potencial), cobertura y profundidad radicular.

Para ello se consideraron los siguientes aspectos:

a. Determinación de la evapotranspiración potencial

El método que se utilizó para la medición es el de Hargreaves el cual es un método práctico y confiable diseñado para la región centroamericana, su ecuación es la siguiente:

$$\text{ETP} = 0.0075 * \text{TMF} * \text{RSM}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración en mm/mes.

TMF = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit.

RSM = Radiación solar incidente mensual.

Siendo: $RSM = 0.075 * RMM * S^{1/2}$

Donde:

RMM = Radiación mensual extraterrestre en mm/mes.

S = Brillo medio mensual (%).

$RMM = RS * \text{No. de días al mes.}$

Donde:

RS : Radiación solar que se determina por el Cuadro 11.

Cuadro 11. Valores medios mensuales de radiación solar extraterrestre (mm/día).

Latitud Norte	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
0	15.1	15.5	15.7	15.3	14.5	14	14.2	15	15.6	15.7	15.2	14.9
5	14.2	15	15.6	15.6	15.1	15	14.9	15.4	15.6	15.2	14.5	14
10	13.3	14.3	15.3	15.7	15.6	15	15.5	15.7	15.5	14.7	13.6	13
15	12.3	13.5	14.8	15.8	16	16	16	15.9	15.3	14.1	12.7	11.9
20	11.2	12.6	14.4	15.7	16.3	16	16.4	16	15	13.3	11.6	10.8

Fuente: Herrera (2014).

b. Determinación de la infiltración básica

Los resultados para determinar la infiltración básica se obtuvieron a partir de la información recopilada en el campo a través de las pruebas de infiltración, los cuales fueron ingresados a una hoja electrónica Excel® donde van los datos de profundidad total del agujero, ancho del agujero, el intervalo de tiempo de medición y el tiempo acumulado para obtener la velocidad de infiltración la cual se utilizó para obtener el balance hídrico de suelo de cada unidad de mapeo.

c. Precipitación efectiva mensual

Para determinar la precipitación efectiva de forma mensual se utilizó el método Schosinsky (1999), el cual considera los aspectos de relación entre la infiltración del agua del suelo y la intensidad de la lluvia.

El método considera tres aspectos:

i. Relación entre la infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia (Kfc), fracción que infiltra por efecto de textura del suelo

La fórmula general es la siguiente:

$$Pef = P * R * Kfc$$

Donde:

Pef = Precipitación efectiva (precipitación que infiltra).

P = Precipitación mensual.

R = 1 – valor de retención (para bosque, la retención es de 0.20, para cultivos en general es de 0.12 y para techos de casas. Caminos y áreas construidas, es de (0.1 a 0.05)).

$$Kfc = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154(f_c) - 0.723$$

Donde:

Kfc = Factor de infiltración de agua en el suelo e intensidad de lluvia.

Ln = Logaritmo natural.

Fc = Valor de infiltración básica en mm/día.

ii. Factor de pendiente del terreno (Kp), fracción que infiltra por efecto de pendiente

Los valores de este factor propuestos por Schosinsky & Losilla (2000) se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.

Valor de pendiente	Coeficiente (kp) propuesto
Muy plana	(0.02 % - 0.06 %) 0.30
Plana	(0.3 % - 0.4 %) 0.20
Algo plana	(1 % - 2 %) 0.15
Promedio	(2 % - 7 %) 0.10
Fuerte	(> 7 %) 0.06

Fuente: Herrera (2014).

iii. Factor de cobertura vegetal (Kv), fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal

La suma de cada uno de los factores indica el valor de coeficiente de infiltración para el respectivo suelo e indica la capacidad de este a permitir la infiltración dentro de él. Adicionalmente se considera la cantidad de agua de lluvia que retiene la vegetación a través de sus hojas y que se evapora sin llegar al suelo y por consiguiente no se infiltra.

Este factor, dependiendo de la cobertura vegetal del terreno, los valores que se asignan se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

Tipo de cobertura vegetal	Coeficiente (kv) propuesto
Zacate	(< 50 %) 0.09
Terrenos cultivados	0.10
Con pastizales	0.18
Bosques	0.20
Zacate	(> 75 %) 0.21

Fuente: Herrera (2014).

La ecuación de precipitación efectiva, según Schosinsky & Losilla (2000) es la siguiente:

$$Pef = (1 - Ki) \times Ci \times P$$

Donde:

Pef = Precipitación efectiva (precipitación que infiltra).

Ki = Valor de retención vegetal (hojas). Para bosque, la retención es de 0.20, para cultivos en general 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas Construidas es de 0.1 a 0.05.

Ci = Coeficiente de infiltración (Kfc + Kp + Kv).

P = Precipitación mensual.

B. Identificación y mapeo de las zonas de mayor recarga hídrica

Con los datos que se obtuvieron en el balance hídrico se priorizaron las áreas de mayor recarga hídrica natural, las que por sus características merezcan una atención especial, partiendo de un manejo inapropiado y un manejo contrario a su capacidad que influya en la disminución del potencial de recarga hídrica natural, tomando en cuenta los siguientes factores y parámetros que se describen en los Cuadros 14, 15, 16, 17 y 18.

Cuadro 14. Matriz de criterios de geología.

Geología	Código
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas	1
Arenas finas, basaltos permeables, karst	2
Arenas gruesas y gravas	3

Fuente: Padilla et al. (2003).

Cuadro 15. Matriz de criterios de infiltración básica.

Tasa de infiltración básica (cm/hr)	Código
< 0.15	0
0.15 – 1.5	1
1.5 – 15	2
> 15	3

Fuente: Padilla et al. (2003).

Cuadro 16. Matriz de criterios de recarga anual.

Recarga anual (mm/año)	Código
0 – 50	0
50 – 100	1
100 – 150	2
150 – 200	3
> 200	4

Fuente: Padilla et al. (2003).

Cuadro 17. Matriz de criterios de pendiente.

Pendiente (%)	Código
0 – 12	0
12 – 26	1
26 – 36	2
36 – 55	3
> 55	4

Fuente: Padilla et al. (2003).

Cuadro 18. Área crítica de recarga hídrica según susceptibilidad.

Categoría	Código
Baja	0 – 5
Moderada	6 – 9
Alto	10 – 12
Muy alto	13 – 14

Fuente: Padilla et al. (2003).

C. Lineamientos de manejo para la protección de los recursos naturales

Los lineamientos se basaron en información técnica generada de este estudio, tomando en cuenta los recursos bosque, suelo y agua.

a. Recurso bosque

Los aspectos que se tomaron en cuenta son: la identificación de áreas con cobertura forestal, deforestación, uso de la tierra del bosque.

b. Recurso suelo

Los aspectos que se tomaron en cuenta son: tipo de suelo, pendiente, uso de la tierra, erosión hídrica.

c. Recurso agua

Los aspectos que se tomaron en cuenta son: la identificación de áreas de recarga, protección de los manantiales y contaminación de las fuentes de agua.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Unidades de muestreo

Las unidades de muestreo se definieron en base a los factores: geología, series de suelo y uso de la tierra; se interpolaron en el programa ArcGIS® generando así 25 unidades representativas. El área de la microcuenca del río Las Minas es de 35.71 km².

A. Geología

Para determinar la geología que predomina en la microcuenca se utilizó el mapa temático del MAGA 2002 a escala 1:50,000, según la Figura 8, la geología es: rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario y cuaternario las del periodo terciario son rocas volcánicas sin dividir y las del cuaternario con cenizas volcánicas como lo describe el Cuadro 19.

Cuadro 19. Geología de la microcuenca del río Las Minas.

Simbología	Tipo de roca	Periodo	Características	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Tv	Rocas Ígneas y Metamórficas	Terciario	Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos	28.66	80.25
Qp	Rocas Ígneas y Metamórficas	Cuaternario	Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómmez de origen diverso	7.05	19.75
Total				35.71	100.00

B. Series de suelos

La microcuenca del río Las Minas según la clasificación MAGA 2002 y como se puede observar en la Figura 9 tiene 4 tipos de suelos, los más representativos son los suelos Morán que abarcan 22.43 km² del área total de la microcuenca y el resto del área se dividen en los suelos Guatemala, Suelos Aluvial y Áreas Frágiles según el Cuadro 20.

Cuadro 20. Series de suelos de la microcuenca del río Las Minas.

Simbología	Nombre de la serie	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Mr	Morán	22.43	2242.66	62.81
AF	Áreas Fragosas	1.09	109.06	3.05
Gt	Guatemala	9.45	945.21	26.47
SA	Suelos Aluviales	2.74	273.75	7.67
Total		35.71	3570.68	100.00

C. Uso de la tierra

Se generó el mapa de uso de la tierra según GIMBOT 2014 como se muestra en la Figura 10 para poder así completar los factores que intervienen para determinar las unidades de mapeo; los usos predominantes son: bosque, vegetación arbustiva, café y la urbanización, en el Cuadro 21 se describe cada una de ellas con el área que abarcan dentro de la microcuenca.

Cuadro 21. Uso de la tierra de la microcuenca del río Las Minas.

Categoría	Área (km ²)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura anual	0.67	66.70	1.87
Bosques	8.09	808.56	22.64
Café	7.70	769.92	21.56
Cultivos permanentes arbóreos	0.01	1.19	0.03
Cultivos permanentes herbáceos	0.13	13.33	0.37
Pastizales	1.24	124.45	3.49
Urbano	7.71	771.14	21.60
Vegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	10.15	1015.39	28.44
Total	35.71	3570.68	100.00

Con estos tres factores se determinó las unidades de muestreo, se tomó en cuenta las unidades representativas en cuanto al área que abarca, las cuales se describen en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Descripción y ubicación de las unidades de muestreo.

Punto	Unidad	Área (ha)	GTM X	GTM Y
1	TvMrVegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	807.848061	500115	1606099
2	TvMrBosques	566.729705	500689	1608498
3	TvMrCafe	399.428469	498423	1604690
4	TvMrUrbano	310.59036	499079	1607958
5	TvGtBosques	173.352346	499399	1608923
6	QpSAUrbano	153.007888	497382	1608300
7	TvGtUrbano	140.201863	498943	1608510
8	TvGtCafe	139.808528	497612	1604368
9	TvGtVegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	113.082235	497426	1604963
10	QpGtUrbano	100.625173	498004	1609687
11	QpGtCafe	90.082321	496776	1604361
12	QpSACafe	71.034837	497068	1606560
13	QpMrCafe	65.342621	496328	1603167
14	QpGtVegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	62.964977	496287	1604554
15	TvGtPastizales	57.028883	497512	1605888
16	TvMrAgricultura anual	51.617103	500867	1605679
17	QpAFUrbano	40.709505	496974	1608314
18	QpGtPastizales	29.916516	496585	1604496
19	QpGtBosques	28.676168	498123	1608895
20	TvMrPastizales	25.781248	501665	1607926
21	TvAFUrbano	24.977545	499056	1610335
22	TvAFBosques	24.539795	499610	1610298
23	QpSAVegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	21.185101	497101	1605842
24	TvMrCultivos permanentes herbáceos	13.331812	502301	1605662
25	QpSAPastizales	11.724629	496959	1606023

El mapa resultante se presenta en la Figura 12 con las características que influyen en el proceso de recarga hídrica.

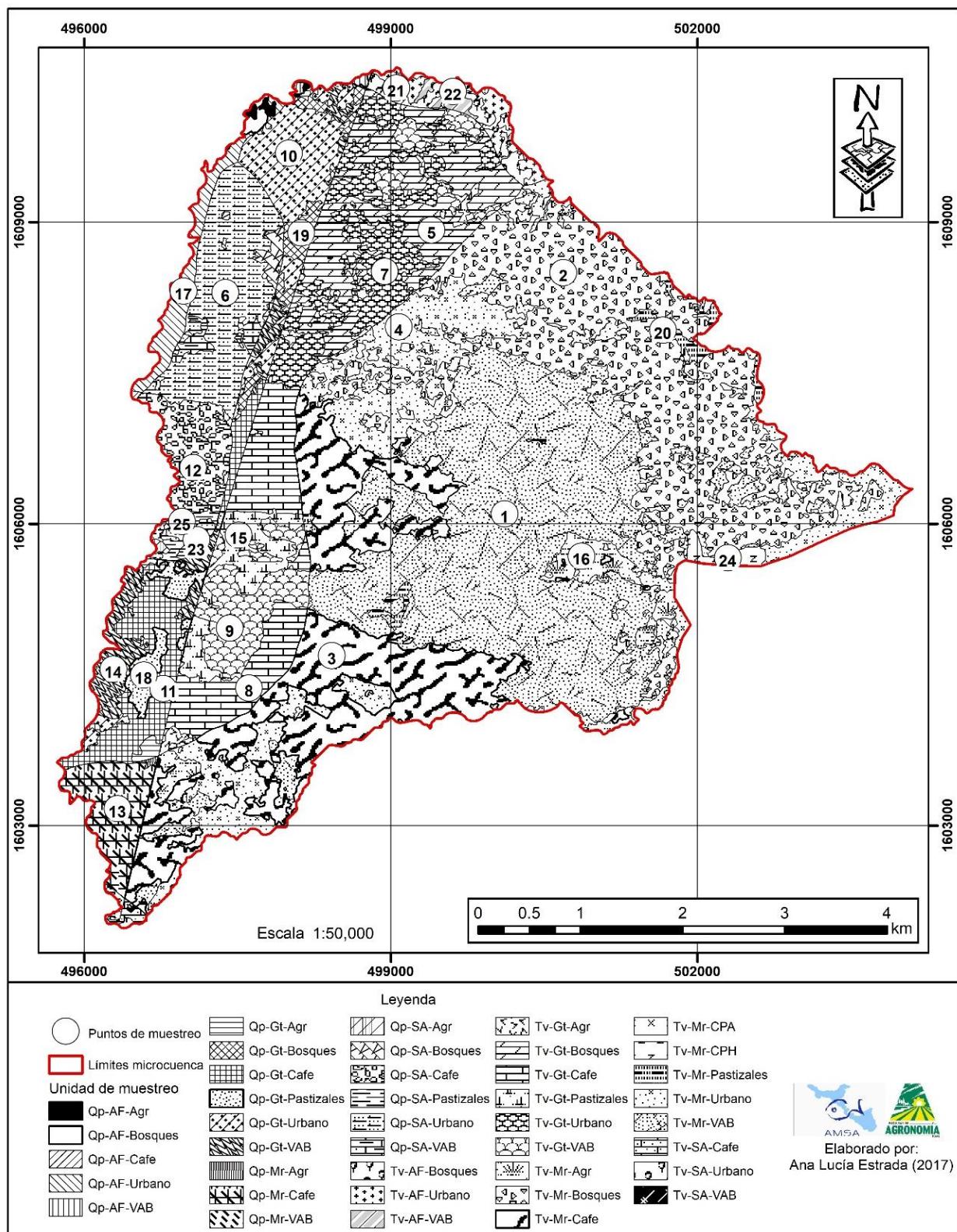


Figura 12. Mapa de unidades de muestreo.

2.5.2 Información climática

Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica automatizada instalada por AMSA como se describe en los Cuadros 23 y 24, ubicada en el polideportivo cuchilla el Carmen en el municipio de Santa Catarina Pinula, la cual es la más cerca al área de estudio.

Cuadro 23. Estación meteorológica.

No.	Nombre	Lugar	Coordenadas	
			X	Y
1	AMSA5	Polideportivo la cuchilla del Carmen, Santa Catarina Pinula	768467.68	1611857.55

Cuadro 24. Datos meteorológicos de la microcuenca del río Las Minas.

Mes	Año 2016						Año 2017						Total mm/año
	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
P (mm)	262.8	230.64	375.72	493.2	14.88	7.2	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
T °C	19.97	19.59	19.13	18.46	18.57	17.41	17.44	16.49	17.73	17.64	20.72	19.92	18.59
HR (%)	19.97	81	85	88	83	82	80	76	78	74	73	84	80

Los meses con índice más alto de precipitación fueron de mayo a septiembre, el total de precipitación anual es de 1,673.04 mm/año, en cuanto a la temperatura se obtuvo una temperatura promedio anual de 18.59 °C y humedad relativa promedio anual de 80 %.

2.5.3 Pruebas de infiltración

El análisis de las pruebas de infiltración y sus respectivas gráficas de infiltración se realizaron en una hoja de Excel® como se puede ver en anexo 2.9.1, para poder determinar la capacidad de infiltración de cada unidad de mapeo se promediaron los últimos 5 datos, ya que según las gráficas de cada unidad en estos últimos datos se estabilizó su tendencia, como se describe en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Infiltración básica por cada unidad de muestreo.

Unidad de mapeo	Coordenadas GTM		Infiltración básica	
	X	Y	cm/hr	mm/día
1	500115	1606099	0.486	116.920
2	500689	1608498	0.561	134.547
3	498423	1604690	0.362	86.923
4	499079	1607958	0.173	41.421
5	497788	160583	0.545	130.686
6	497382	1608300	0.076	18.214
7	498943	1608510	0.179	42.920
8	497426	1604963	0.435	104.438
9	498004	1609687	0.320	76.897

Fuente: elaboración propia 2017

2.5.4 Análisis físico de suelos

Las propiedades físicas del suelo analizadas fueron: textura, densidad aparente, y las constantes de humedad (CC-PMP), se hizo mediante análisis físico del suelo en el laboratorio de la Facultad de Agronomía (FAUSAC) para cada unidad de mapeo. Las texturas dominantes fueron franco arcilloso, arenoso y franco arenoso y un rango de densidad aparente de 1.08 gr/cm³ – 1.25 gr/cm³, en el Cuadro 26 se describen cada una de las características analizadas.

Cuadro 26. Análisis de suelos para cada unidad de muestreo.

Unidad de muestreo	Densidad aparente gr/cm ³	Constantes de humedad (%)		Clase textural
		CC	PMP	
1	1.21	29.03	14.94	Franco arcilloso
2	1.2	33.23	12.34	Franco arcilloso arenoso
3	1.15	30.21	19.58	Franco arenosa
4	1.25	17.63	10.76	Franco arcillosa
5	1.08	35.54	23.71	Franco arcilloso arenoso
6	1.2	20.12	12.51	Franco arcilloso
7	1.21	23.35	13.18	Franco arcilloso arenoso
8	1.21	24.8	15.56	Franco arcilloso arenoso
9	1.17	17.1	11.13	Franco arenoso

2.5.5 Precipitación media mensual

La precipitación media anual de la microcuenca del río Las Minas es de 1,673.04 mm/año, según el Cuadro 27.

Cuadro 27. Precipitación media mensual.

Año		Año 2016												Año 2017					Total mm/año
Mes		Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May						
P (mm)		262.8	230.64	375.72	493.2	14.88	7.2	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04		1673.04				

La precipitación efectiva se calculó por el método de Schosinsky, esta para cada una de las unidades de muestreo ya que en esta intervienen la infiltración y los factores de retención de lluvia, este último va a depender del uso de la tierra de la microcuenca; los datos de la precipitación efectiva se encuentran en las hojas de Excel® del balance hídrico de suelos para cada una de las unidades de muestreo.

2.5.6 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial se determinó por el método de Hargreaves, para ello se utilizaron los datos climatológicos de temperatura y humedad relativa, luego se interpolaron los datos de radiación solar para cada mes en base a los valores establecidos en el Cuadro 11, dando como resultado una ETP anual de 1,073.59 mm/año, según el Cuadro 28.

Cuadro 28. Evapotranspiración potencial mensual y anual.

Mes	Días	Tem.	Tem.°F	Radiación solar extraterrestre		Humedad relativa (%)	S	RSM	ETP	
				mm/día	mm/mes				mm/mes	mm/día
Jun	30	19.97	67.946	15.94	478	81	5.45	195.41	99.58	3.32
Jul	31	19.59	67.262	15.97	495	81	5.45	202.31	102.06	3.29
Ago	31	19.13	66.434	15.73	488	85	4.84	177.05	88.22	2.85
Sep	30	18.46	65.228	15.35	461	88	4.33	149.55	73.16	2.44
Oct	31	18.57	65.426	14.13	438	83	5.15	169.32	83.08	2.68
Nov	30	17.41	63.338	12.76	383	82	5.30	152.26	72.33	2.41
Dic	31	17.44	63.39	12.02	373	80	5.59	156.23	74.28	2.40
Ene	31	16.49	61.682	12.29	381	76	6.12	174.98	80.95	2.61
Feb	28	17.73	63.914	13.61	381	78	5.86	167.57	80.33	2.87
Mar	31	17.64	63.752	14.87	461	74	6.37	220.36	105.36	3.40
Abr	30	20.72	69.30	15.76	473	73	6.50	230.32	119.70	3.99
May	31	19.92	67.856	15.98	495	84	5.00	185.77	94.54	3.05
Anual (mm)									1073.59	35.30

2.5.7 Cálculo de la recarga hídrica

Para el cálculo de la recarga hídrica de cada unidad de muestreo se trabajó en una hoja de Excel® por el método de Schosinsky, como se puede observar en anexo 9.2, en donde van involucrados los factores que intervienen en el balance hídrico del suelo que como resultado nos da la recarga hídrica de un área.

Se realizó un balance hídrico de suelo para cada unidad de muestreo con características de infiltración básica y las constantes del análisis de suelo, a continuación, se presentan un resumen de la recarga de cada una de las unidades de mapeo influencias por un área determinada, según el Cuadro 29.

Cuadro 29. Resumen de la recarga hídrica de la microcuenca del río Las Minas.

Unidad	Recarga hídrica mm/año	Área (ha)	Área (m ²)	Área (km ²)	Vol. recarga (m ³)	Recarga hídrica M ³ /KM ² /AÑO
TvMrVegetacion arbustiva baja (guamil-matorral)	583.95	807.848061	8,078,480.61	8.08	4,717,440.08	583,951.40
TvMrBosques	536.22	566.729705	5,667,297.05	5.67	3,038,919.61	536,220.28
TvMrCafe	543.05	399.428469	3,994,284.69	3.99	2,169,104.62	543,052.08
TvMrUrbano	232.17	310.59036	3,105,903.60	3.11	721,096.80	232,169.73
TvGtBosques	571.99	173.352346	1,733,523.46	1.73	1,002,984.47	578,581.42
QpSAUrbano	104.48	153.007888	1,530,078.88	1.53	159,864.85	104,481.44
TvGtUrbano	280.82	140.201863	1,402,018.63	1.40	393,709.64	280,816.27
TvGtCafe	598.53	139.808528	1,398,085.28	1.40	836,804.79	598,536.30
TvGtVegetacion arbustiva baja (guamil-matorral)	634.53	113.082235	1,130,822.35	1.13	717,526.52	634,517.46
QpGtUrbano	373.77	100.625173	1,006,251.73	1.01	376,124.75	373,787.93
QpGtCafe	538.62	90.082321	900,823.21	0.90	485,188.90	538,606.12
QpSACafe	31.13	71.034837	710,348.37	0.71	22,111.64	31,127.88
QpMrCafe	66.18	65.342621	653,426.21	0.65	43,242.01	66,177.35
QpGtVegetacion arbustiva baja (guamil-matorral)	433.72	62.964977	629,649.77	0.63	273,070.11	433,685.72
TvGtPastizales	361.19	57.028883	570,288.83	0.57	205,986.66	361,197.07
TvMrAgricultura anual	423.16	51.617103	516,171.03	0.52	218,435.19	423,183.75
QpAFUrbano	38.51	40.709505	407,095.05	0.41	15,677.42	38,510.47
QpGtPastizales	541.66	29.916516	299,165.16	0.30	162,064.67	541,723.08
QpGtBosques	626.48	28.676168	286,761.68	0.29	179,674.46	626,563.72
TvMrPastizales	559.97	25.781248	257,812.48	0.26	144,360.27	559,942.89
TvAFUrbano	253.29	24.977545	249,775.45	0.25	63,271.84	253,314.90
TvAFBosques	680.97	24.539795	245,397.95	0.25	167,110.04	680,975.69
QpSAVegetacion arbustiva baja (guamil-matorral)	72.97	21.185101	211,851.01	0.21	15,462.34	72,986.87
TvMrCultivos permanentes herbaceous	375.2	13.331812	133,318.12	0.13	50,014.16	375,149.00
QpSAPastizales	118.47	11.724629	117,246.29	0.12	13,884.68	118,423.23
Total		3523.587689	35,235,876.89	35.24	16,193,130.52	9,587,682.05

2.5.8 Identificación y mapeo de las zonas de mayor recarga hídrica

Luego de cuantificar la recarga hídrica en cada unidad de muestreo y con los datos obtenidos de geología, pendiente e infiltración básica se procedió a realizar la categorización para priorizar las zonas de mayor recarga hídrica y por consiguiente su grado de susceptibilidad, con la finalidad de darles un manejo adecuado a dichas áreas como se muestra en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Identificación de las zonas de mayor recarga hídrica en la microcuenca del río Las Minas.

Unidad	Geología	Pendiente	Infiltración básica	Recarga (mm/año)	Total	Susceptibilidad
1	1	4	1	4	10	Alto
2	1	4	1	4	10	Alto
3	0	1	1	4	6	Moderada
4	1	1	1	4	7	Moderada
5	1	0	1	4	6	Moderada
6	0	1	0	2	4	Bajo
7	1	0	1	4	5	Bajo
8	0	1	1	4	6	Moderada
9	1	0	1	4	6	Moderada
10	1	2	1	4	8	Moderada
11	0	1	1	4	6	Moderada
12	0	2	1	0	3	Bajo
13	0	1	0	1	2	Bajo
14	1	1	1	4	7	Moderada
15	1	2	1	4	8	Moderada
16	1	3	1	4	9	Moderada
17	0	3	0	0	3	Bajo
18	1	1	1	4	7	Moderada
19	1	3	1	4	9	Moderada
20	1	4	1	4	10	Alto
21	1	4	1	4	10	Alto
22	1	4	1	4	10	Alto
23	0	2	0	1	3	Bajo
24	0	4	1	4	9	Moderada
25	0	2	0	2	4	Bajo

La microcuenca del río Las Minas se encuentra entre los municipios de Santa Catarina Pinula y Villa Canales que pertenecen al departamento de Guatemala, la microcuenca se caracteriza por tener un crecimiento urbanístico e industrial muy elevado, generando disminución y contaminación en el recurso hídrico.

El municipio de Santa Catarina se abastece de agua superficial del manantial Las Minas y de agua subterránea de 17 pozos mecánicos y en el municipio de Villa Canales se abastecen de 6 pozos mecánicos ubicados en aldea el Porvenir y Rustríán y uno artesanal ubicado en la finca municipal Las Manzanillas.

Considerando la problemática de la microcuenca en cuanto al alto deterioro de los recursos naturales y considerando la importancia que tiene el manantial Las Minas en el abastecimiento de agua al municipio del río Las Minas se realizó un estudio que determinó la recarga hídrica anual siendo es 16.2 millones de $m^3/año$, utilizando el manual técnico “Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural, en Guatemala” realizado por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Instituto Nacional de Bosques.

Las unidades de muestreo 1, 2, 20, 21 y 22 se clasifican como áreas críticas de recarga hídrica, como se observa en la Figura 13, estas áreas son las que se encuentran ubicadas en la parte alta de la microcuenca, es el área boscosa en donde se tiene una vegetación natural, se encuentran el nacimiento del río y los manantiales que lo alimentan, pero se puede enfatizar como zonas de mayor recarga las unidades 1 ubicada entre la finca San Agustín las Minas y finca Las Manzanillas y la 2 en la aldea la Salvadora por el área que abarcan de la microcuenca, si bien las unidades 20, 21 y 22 poseen alta recarga pero el área que abarcan el mínima.

Las unidades 6, 7, 12, 13, 17, 23 y 25 tienen un parámetro bajo en relación con el área crítica de recarga, un factor importante en estas unidades es la presencia de la urbanización, impermeabilización del suelo y sectores con poca vegetación. Las demás unidades de muestreo son de recarga moderada están comprenden principalmente la parte media de la microcuenca.

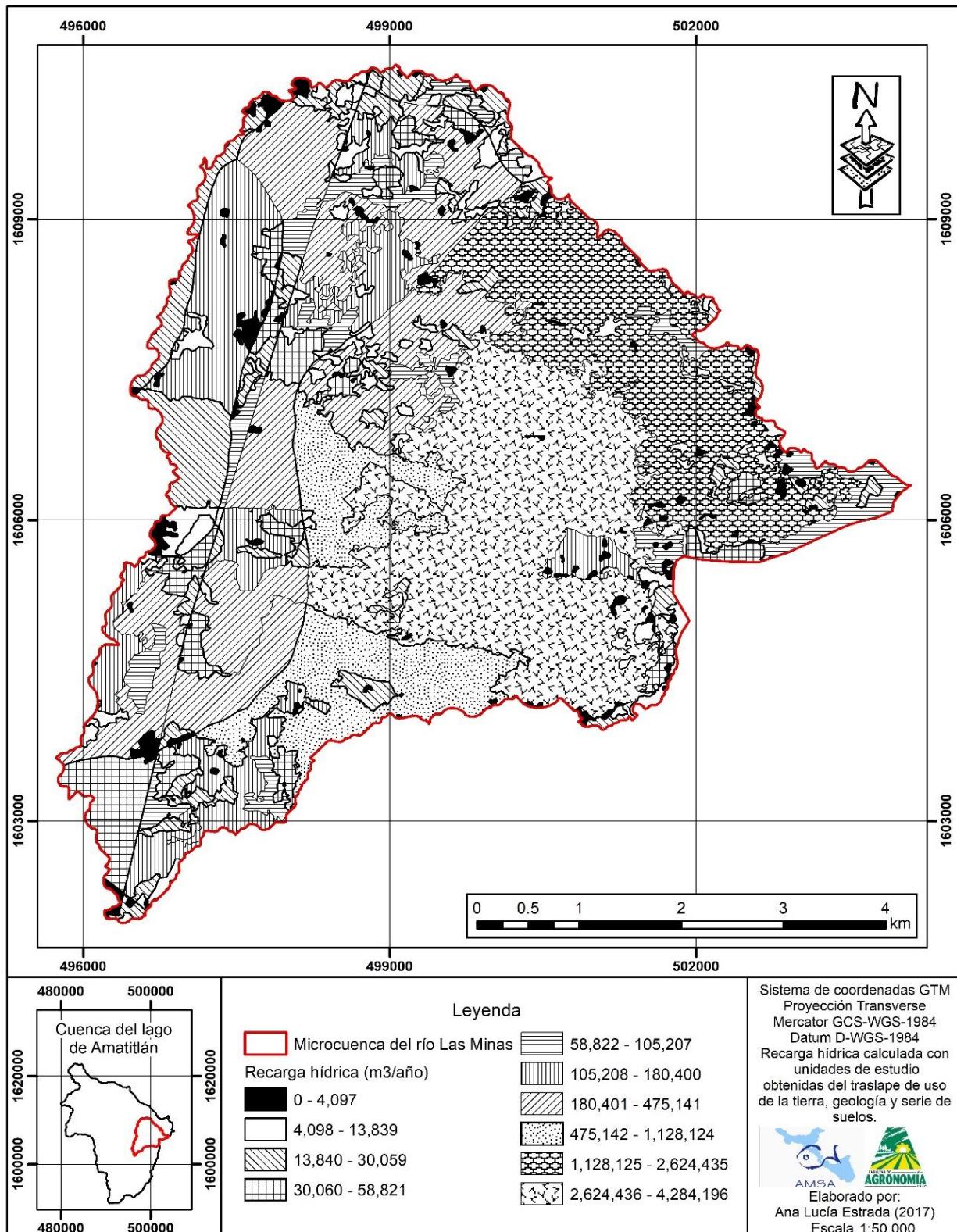


Figura 13. Mapa de recarga hídrica de la microcuenca del río Las Minas.

2.5.9 Lineamientos de manejo para la protección de los recursos naturales

A. Diagnóstico de los recursos naturales

a. Bosque

Actualmente las áreas boscosas lo abarcan la finca San Agustín Las Minas, finca Moran MAGA (2002), estas también cuentan con un porcentaje de cultivo de café; finca municipal Las Manzanillas y La Salvadora, estas últimas en las visitas de reconocimiento de campo se observó que es un bosque donde predomina el encino género *Quercus* sp., dicho recurso está siendo víctima de una tala inmoderada, lo cual está afectando directamente a la disminución de la recarga hídrica ya que se encuentra cerca del nacimiento del río Las Minas.

b. Suelo

Según los análisis de suelos realizados se determinó que el tipo de textura de suelo que predomina es el Franco Arcilloso-Arenoso, el uso de la tierra de la microcuenca lo predominan los bosques, áreas de cultivo y la urbanización, la parte alta de la microcuenca tiene una pendiente pronunciada, en la parte media se presentan problemas de erosión de suelos, entre la aldea El Porvenir, El Carmen y Boca del Monte debido a la falta de un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), ha ocasionado que la urbanización abarque parte del cauce natural del río, provocando así en el futuro deslaves e inundaciones, además la tala inmoderada de la Aldea La Salvadora, existe una alta posibilidad que más adelante puedan presentarse problemas de erosión del suelo, esto afectaría directamente sobre el cauce principal del río Las Minas.

c. Agua

En base a los recorridos realizados en campo se observó que casi el 90 % del cauce del río Las Minas está contaminado por las descargas directas de las aguas de drenajes de casi toda el área urbanizada y la existencia de basureros clandestinos en las laderas del cauce del río Las Minas, actualmente han disminuido los manantiales que tributan al cauce del río Las Minas, algunos que eran fuentes permanentes ahora se ha convertido en fuentes efímeras, corrientes de agua que solo se presentan en época de lluvia, debido a la mala o nula distribución de los sistemas de drenajes, basureros clandestinos y deforestaciones el daño es considerable para dicho recurso en cuanto a su disminución y su contaminación.

B. Lineamientos para protección de los recursos naturales

a. Recurso bosque

Dentro de los principales lineamientos y acciones que se deben tomar para mitigar los efectos que están ocasionando daño al recurso bosque son:

- Realizar una verificación de la parte legal de la tala de árboles, si estas tienen sus respectivas licencias.
- Coordinar con instituciones como DIPRONA y municipalidad para hacer monitoreos constantes en las áreas diferentes áreas con cobertura forestal.
- Desarrollar programas y proyectos de campañas de reforestación y establecer un manejo forestal.
- Dar a conocer los programas de incentivos forestales a los propietarios de tierras con vocación forestal para facilitar la conservación de los bosques.
- Fomentar y concientizar a la población la importancia de los bosques, tomando en cuenta los aspectos sociales, económicos y ambientales.

Estas actividades deben de ser promovidas principalmente por las municipalidades en cada una de sus jurisdicciones y los actores de cooperación están AMSA, INAB, CONAP, DIPRONA, MARN entre otras instituciones públicas y del sector privado.

b. Recurso suelo

Dentro de los principales lineamientos y acciones que se deben tomar para mitigar los efectos que están ocasionando daño al recurso suelo son:

- En relación a la erosión del suelo por la falta de vegetación se deben tomar en cuenta los lineamientos del recurso bosque.
- Dar a conocer y promover los sistemas agroforestales y silvopastoriles con los agricultores del área.

- Establecer estructuras de conservación de suelos en las áreas con pendiente pronunciada y protección de taludes en el cauce del río Las Minas.
- Fortalecer con un plan de ordenamiento territorial para darle un uso adecuado al suelo.

c. Recurso agua

Dentro de los principales lineamientos y acciones que se deben tomar para mitigar los efectos que están ocasionando daño al recurso agua son:

- Darle mantenimiento de la planta de tratamiento que se encuentra en la finca San Agustín Las Minas, aunque se debe saber que esta planta no trata todo el caudal del río.
- Mejorar y verificar la red de drenaje del sector industrial y urbano de la microcuenca.
- Realizar monitoreos constantes para controlar y disminuir la contaminación del agua, con el fin de mantener la calidad del recurso hídrico.
- Proteger las zonas de nacimientos de agua que posee la microcuenca del río Las Minas, realizando acciones para recuperar la parte boscosa.

2.6 CONCLUSIONES

1. El balance hídrico de suelos que se utilizó es a través del método de Schosinsky el cual integra varios factores como es la precipitación, la infiltración básica, características propias de la unidad de muestreo como los factores de pendiente del terreno y cobertura vegetal, se realizó un balance hídrico de suelos para cada unidad de muestreo para poder determinar la recarga hídrica de la microcuenca del río Las Minas.
2. De acuerdo a los análisis realizados en la microcuenca del río Las Minas, se estima que la recarga hídrica natural es de 16.2 millones de $m^3/año$.
3. Tomando en cuenta los factores que afectan la recarga hídrica como lo es la geología, pendiente, infiltración básica se priorizaron las zonas de mayor recarga hídrica, estas zonas se ubican en la parte alta de la microcuenca del río Las Minas, siendo las unidades de mapeo 1 con una recarga de 583.95 mm/año y 2 con una recarga hídrica de 543.05 mm/año, que pertenecen a la finca San Agustín Las Minas, finca municipal las Manzanillas y aldea la Salvador.
4. Los lineamientos para la protección de los recursos naturales dentro de la microcuenca del río Las Minas se enfocaron en los recursos: bosque, suelo y agua, en los resultados se enumeró una serie de acciones para cada uno de los recursos naturales, con el fin de que se les dé un manejo adecuado ya que son parte importante en el proceso de la recarga hídrica al manto acuífero.

2.7 RECOMENDACIONES

1. Las zonas de mayor recarga de la microcuenca del río Las Minas identificadas en este estudio, deben ser de un manejo especial para conservar y mejorar la captación de agua, promoviendo la recarga hídrica al manto acuífero, así como realizar monitoreos con la municipalidad para el control de tala inmoderada de árboles.
2. Prolongar los datos climatológicos para futuros estudios tener un registro de datos más largo, para la mejor validación de los datos resultantes, así como darle su respectivo mantenimiento a la estación meteorológica.
3. Implementar metodologías para promover la recarga hídrica tales como: plan de manejo forestal, pozos de infiltración con la colecta del agua de lluvia de los techos de las casas, zangas de infiltración, micropozos de absorción esta metodología es aplicable en áreas pequeñas como jardines y parqueos.
4. Determinar específicamente las fuentes de contaminación del cauce del río Las Minas además de realizar los análisis químicos del agua de los manantiales y áreas del cauce principal.
5. Fortalecer el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y establecer una política de recarga hídrica para hacer uso del suelo en base a su capacidad, esto con la finalidad de que la urbanización no afecte o dañe las zonas de recarga hídrica.

2.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Amisial L, RA. 1978. Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 75 p. (Serie Hidrología).
2. Barreno Rosales, VP. 2008. Identificación de las áreas de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago Atitlán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 302 p. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9268/1/T-02792.pdf>
3. COMUDE (Consejo Municipal de Desarrollo, Santa Catarina Pinula, Guatemala); SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2010. Plan de desarrollo Santa Catarina Pinula 2011-2025. Guatemala. 119 p. Disponible en <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/biblioteca-documental/biblioteca-documentos/category/50-guatemala?download=58:pdm-santa-catarina-pinula>
4. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega.
5. De la Cruz S, JR. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
6. GIMBOT (Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra, Guatemala). 2014. Mapa de bosques y uso de la tierra de la tierra de la república de Guatemala 2012; Mapa de cambios en uso de la tierra 2001 – 2010; para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero. Guatemala. Disponible en http://www.sia.marn.gob.gt/publicaciones/otros/Documento%20informativo_GIMBOT_oct2014.pdf
7. Herrera Ibáñez, IR. 2014. Manual de hidrología. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 223 p.
8. IGN (Instituto Geográfico Nacional, Guatemala). 1970a. Mapa geológico de la república de Guatemala; hoja Amatitlán, no. 2059-II. Guatemala. Esc. 1:50,000. (Imagen JPG).
9. _____. 1970b. Mapa geológico de la república de Guatemala; hoja Ciudad de Guatemala, no. 2059-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. (Imagen JPG).
10. _____. 1970c. Mapa geológico de la república de Guatemala; hoja San José Pinula, no. 2159-IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. (Imagen JPG).
11. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2009. Mapa de cuencas hidrográficas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:50,000. (Shape).

12. Maldonado Ramos, BR. 2004. Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 109 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2126.pdf
13. Mánzo Barrientos, DE. 2008. Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Pinula, jurisdicción de Santa Catarina Pinula, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 37 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2418.pdf
14. NovoTecni, Guatemala; Inypsa, Guatemala. 2015. PLANDEAMAT: Aspectos biofísicos; Actualización del plan maestro integrado de la cuenca del lago de Amatitlán. Guatemala. 773 p.
15. Orozco Orozco, EO; Padilla Cámbara, TA; Salguero Barahona, MR. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural en Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 106 p.
16. Padilla Cámbara, TA. 2003. Evaluación del potencial hídrico en la microcuenca del río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 102 p.
17. Salguero Barahona, MR. 2002. Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Acomé, Escuintla, Guatemala. Tesis MSc. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 112 p. Disponible en <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Marvin-Roberto-Salguero.pdf>
18. Taracena Hernández, JJ. 1999. Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y propuestas de políticas y estrategias de uso en la cuenca del río Itzapa del departamento de Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 139 p. Disponible en <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-01809.pdf>



Polando Barrios

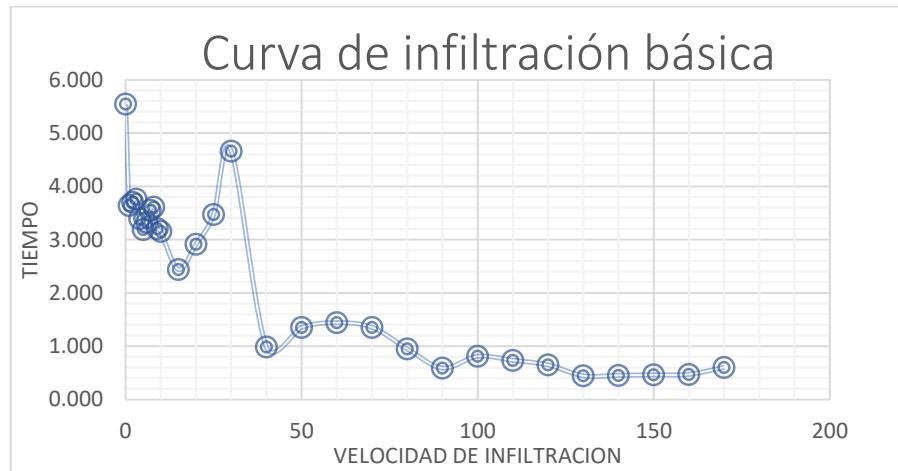
2.9 ANEXOS

2.9.1 Pruebas de infiltración

Características de la unidad de muestreo:	TV-Mr-Vegetación arbustiva baja	Tipo de Suelo:	Franco arcilloso
Ubicación:	Finca las manzanillas		
Coordenadas (GTM):	X= 500115 Y=1606099		
Diámetro de agujero:	15 cm		
Profundidad del agujero:	25cm		
Infiltación Básica (mm/dia):	116.72		

No. 1

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	Ln(2h1+R)/(2h2+R)	Vel. Infiltación (cm/min)	Vel. Infiltación (cm/hra)
0	25				
1	24.3	3.75	0.0246	0.0924	5.546
2	23.85	3.75	0.0162	0.0606	3.639
3	23.4	3.75	0.0164	0.0616	3.699
4	22.95	3.75	0.0167	0.0627	3.761
5	22.55	3.75	0.0151	0.0566	3.396
6	22.18	3.75	0.0142	0.0531	3.188
7	21.8	3.75	0.0148	0.0554	3.322
8	21.4	3.75	0.0158	0.0592	3.550
9	21	3.75	0.0160	0.0601	3.607
10	20.65	3.75	0.0142	0.0534	3.205
15	19	0.75	0.0700	0.0525	3.151
20	17.8	0.75	0.0542	0.0406	2.439
25	16.45	0.75	0.0647	0.0485	2.911
30	14.95	0.75	0.0772	0.0579	3.472
40	11.45	0.375	0.2072	0.0777	4.663
50	10.8	0.375	0.0437	0.0164	0.983
60	9.95	0.375	0.0602	0.0226	1.354
70	9.1	0.375	0.0641	0.0240	1.441
80	8.35	0.375	0.0601	0.0226	1.353
90	7.85	0.375	0.0422	0.0158	0.950
100	7.55	0.375	0.0262	0.0098	0.590
110	7.15	0.375	0.0360	0.0135	0.811
120	6.8	0.375	0.0326	0.0122	0.734
130	6.5	0.375	0.0288	0.0108	0.649
140	6.3	0.375	0.0197	0.0074	0.443
150	6.1	0.375	0.0201	0.0075	0.452
160	5.9	0.375	0.0205	0.0077	0.462
170	5.7	0.375	0.0209	0.0079	0.471
180	5.45	0.375	0.0268	0.0101	0.603

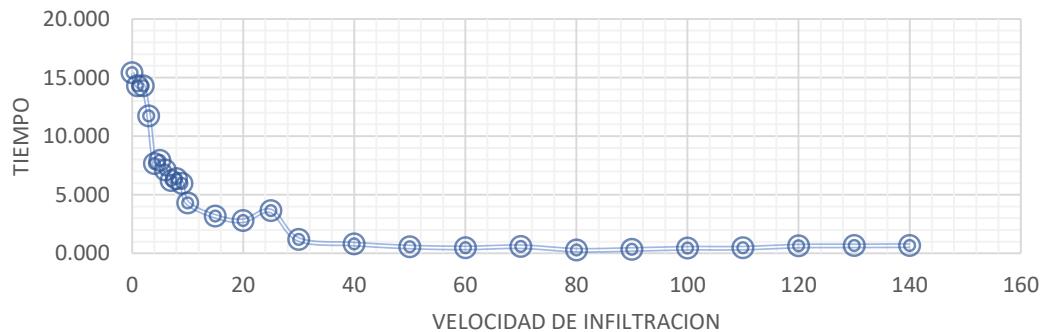


Características de la unidad de muestreo: TV-MR-bosque
Tipo de Suelo: Franco arcilloso arenoso
Ubicación: La salvadora, Santa Catarina Pinula
Coordenadas (GTM): X=500689 Y=1608498
Diámetro de agujero: 15 cm
Profundidad del agujero: 25 cm
Infiltración Básica (mm/dia): 134.54

No. 2

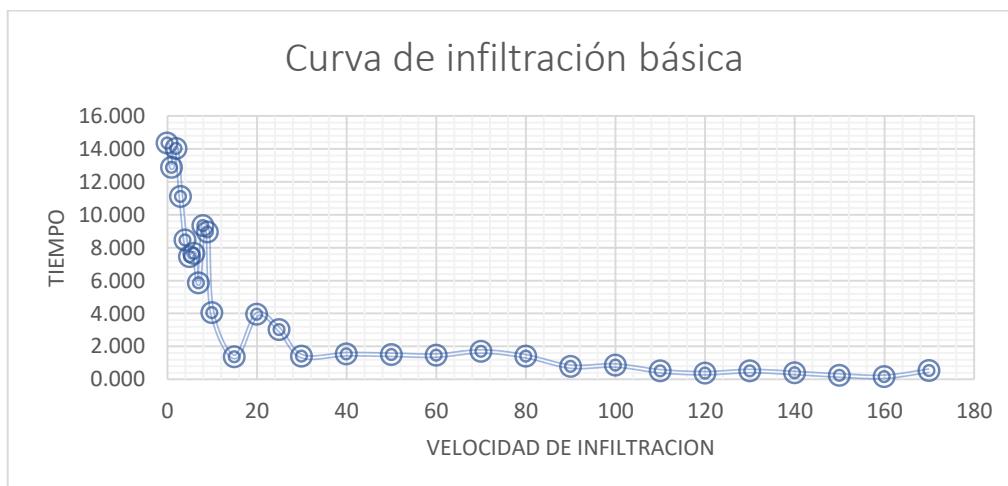
Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	$\ln(2h_1+R)/(2h_2+R)$	Vel. Infiltración (cm/min)	Vel. Infiltración (cm/hra)
0	25				
1	23.1	3.75	0.0684	0.2564	15.384
2	21.45	3.75	0.0634	0.2378	14.270
3	19.9	3.75	0.0635	0.2381	14.283
4	18.7	3.75	0.0521	0.1953	11.716
5	17.95	3.75	0.0340	0.1274	7.645
6	17.2	3.75	0.0352	0.1319	7.914
7	16.55	3.75	0.0315	0.1182	7.091
8	16	3.75	0.0275	0.1030	6.180
9	15.45	3.75	0.0282	0.1059	6.355
10	14.95	3.75	0.0264	0.0990	5.937
15	13.25	0.75	0.0953	0.0715	4.289
20	12.1	0.75	0.0700	0.0525	3.152
25	11.15	0.75	0.0618	0.0464	2.781
30	10	0.75	0.0803	0.0602	3.615
40	9.3	0.375	0.0523	0.0196	1.176
50	8.85	0.375	0.0351	0.0132	0.790
60	8.55	0.375	0.0241	0.0090	0.542
70	8.3	0.375	0.0205	0.0077	0.462
80	8	0.375	0.0252	0.0095	0.567
90	7.86	0.375	0.0120	0.0045	0.270
100	7.69	0.375	0.0148	0.0055	0.332
110	7.47	0.375	0.0194	0.0073	0.437
120	7.25	0.375	0.0198	0.0074	0.446
130	6.95	0.375	0.0277	0.0104	0.622
140	6.65	0.375	0.0284	0.0107	0.640
150	6.35	0.375	0.0293	0.0110	0.659

Curva de infiltración básica



Características de la unidad de muestreo:	Tv-MR- café	Tipo de Suelo:	Franco arenoso
Ubicación:	Caserio Rustrian, Villa canales		
Coordenadas (GTM):	X= 498423	Y=1604690	
Diámetro de agujero:	20cm		
Profundidad del agujero:	25 cm		
Infiltración Básica (mm/dia):	86.92		No. 3

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	Ln(2h1+R)/(2h2+R)	Vel. Infiltración (cm/min)	Vel. Infiltración (cm/hra)
0	25				
1	23.6	5	0.0478	0.2390	14.337
2	22.4	5	0.0429	0.2143	12.859
3	21.15	5	0.0467	0.2335	14.008
4	20.2	5	0.0370	0.1850	11.102
5	19.5	5	0.0282	0.1409	8.451
6	18.9	5	0.0248	0.1240	7.438
7	18.3	5	0.0254	0.1271	7.628
8	17.85	5	0.0195	0.0975	5.851
9	17.15	5	0.0311	0.1556	9.334
10	16.5	5	0.0298	0.1489	8.935
15	15.1	1	0.0673	0.0673	4.040
20	14.65	1	0.0226	0.0226	1.359
25	13.4	1	0.0657	0.0657	3.944
30	12.5	1	0.0501	0.0501	3.009
40	11.7	0.5	0.0468	0.0234	1.404
50	10.87	0.5	0.0510	0.0255	1.529
60	10.1	0.5	0.0497	0.0249	1.492
70	9.39	0.5	0.0482	0.0241	1.445
80	8.6	0.5	0.0565	0.0282	1.694
90	7.98	0.5	0.0467	0.0233	1.400
100	7.65	0.5	0.0258	0.0129	0.773
110	7.3	0.5	0.0281	0.0140	0.842
120	7.1	0.5	0.0164	0.0082	0.492
130	6.95	0.5	0.0125	0.0062	0.374
140	6.75	0.5	0.0169	0.0084	0.506
150	6.6	0.5	0.0128	0.0064	0.385
160	6.51	0.5	0.0078	0.0039	0.234
170	6.45	0.5	0.0052	0.0026	0.157
180	6.25	0.5	0.0176	0.0088	0.529

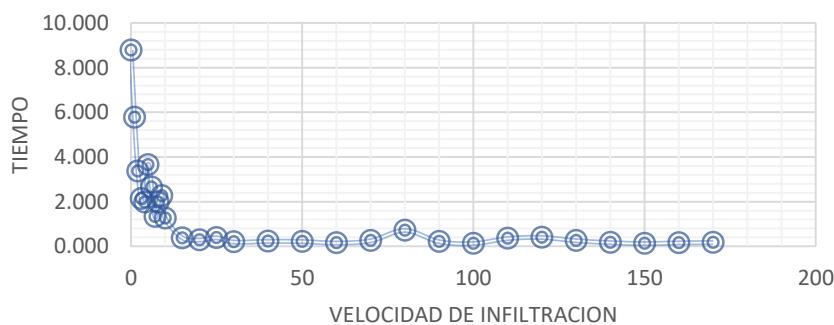


Características de la unidad de muestreo: TV-Mr-Urbano **Tipo de Suelo:** Franco arcilloso
Ubicación: Aldea el Porvenir 1
Coordenadas (GTM): X= 499079 Y=1607958
Diámetro de agujero: 15 cm
Profundidad del agujero: 25 cm
Infiltración Básica (mm/dia): 41.42

No. 4

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	$\ln(2h_1+R)/(2h_2+R)$	Vel. Infiltración (cm/min)	Vel. Infiltración (cm/hra)
0	25				
1	23.9	3.75	0.0390	0.1463	8.778
2	23.2	3.75	0.0256	0.0962	5.770
3	22.8	3.75	0.0150	0.0561	3.365
4	22.55	3.75	0.0095	0.0355	2.129
5	22.32	3.75	0.0088	0.0329	1.976
6	21.9	3.75	0.0162	0.0609	3.654
7	21.6	3.75	0.0118	0.0441	2.647
8	21.45	3.75	0.0059	0.0223	1.335
9	21.23	3.75	0.0088	0.0329	1.973
10	20.98	3.75	0.0101	0.0377	2.263
15	20.3	0.75	0.0279	0.0209	1.255
20	20.1	0.75	0.0084	0.0063	0.376
25	19.95	0.75	0.0063	0.0047	0.284
30	19.75	0.75	0.0085	0.0064	0.381
40	19.55	0.375	0.0085	0.0032	0.192
50	19.32	0.375	0.0099	0.0037	0.223
60	19.1	0.375	0.0096	0.0036	0.216
70	18.95	0.375	0.0066	0.0025	0.148
80	18.7	0.375	0.0111	0.0042	0.249
90	18	0.375	0.0317	0.0119	0.713
100	17.8	0.375	0.0092	0.0035	0.208
110	17.68	0.375	0.0056	0.0021	0.126
120	17.35	0.375	0.0155	0.0058	0.349
130	16.98	0.375	0.0177	0.0066	0.398
140	16.75	0.375	0.0112	0.0042	0.251
150	16.6	0.375	0.0073	0.0028	0.165
160	16.49	0.375	0.0054	0.0020	0.122
170	16.35	0.375	0.0069	0.0026	0.156
180	16.2	0.375	0.0075	0.0028	0.169

Curva de infiltración básica

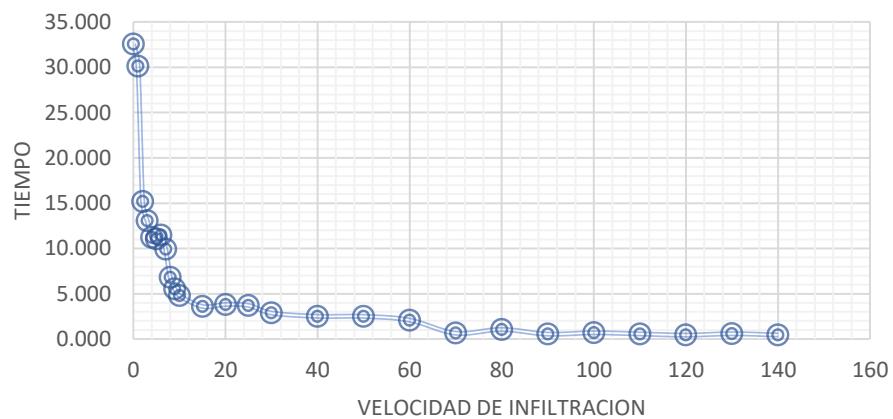


Características de la unidad de muestreo:	TV-gt-bosque	Tipo de Suelo:	Franco arcilloso arenoso
Ubicación:	El carmen, Santa Catarina Pinula		
Coordenadas (GTM):	X= 497788	Y=160583	
Diámetro de agujero:	20 cm		
Profundidad del agujero:	30 cm		
Infiltración básica (mm/dia):	130.68		

No. 5

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	$\ln(2h_1+R)/(2h_2+R)$	Vel. Infiltración (cm/min)	Vel. Infiltración (cm/hra)
0	30				
1	26.4	5	0.1085	0.5427	32.562
2	23.4	5	0.1004	0.5021	30.126
3	22	5	0.0506	0.2528	15.166
4	20.85	5	0.0435	0.2176	13.058
5	19.9	5	0.0374	0.1872	11.233
6	19	5	0.0368	0.1841	11.044
7	18.1	5	0.0382	0.1911	11.466
8	17.35	5	0.0330	0.1650	9.902
9	16.85	5	0.0226	0.1131	6.788
10	16.45	5	0.0185	0.0924	5.543
15	14.8	1	0.0800	0.0800	4.803
20	13.65	1	0.0598	0.0598	3.590
25	12.5	1	0.0636	0.0636	3.819
30	11.45	1	0.0619	0.0619	3.713
40	9.95	0.5	0.0956	0.0478	2.868
50	8.75	0.5	0.0837	0.0418	2.510
60	7.65	0.5	0.0834	0.0417	2.501
70	6.8	0.5	0.0696	0.0348	2.087
80	6.55	0.5	0.0214	0.0107	0.642
90	6.15	0.5	0.0352	0.0176	1.057
100	5.95	0.5	0.0181	0.0091	0.543
110	5.7	0.5	0.0231	0.0115	0.693
120	5.5	0.5	0.0189	0.0094	0.566
130	5.35	0.5	0.0144	0.0072	0.432
140	5.15	0.5	0.0195	0.0098	0.585
150	5	0.5	0.0149	0.0074	0.447

Curva de infiltración básica



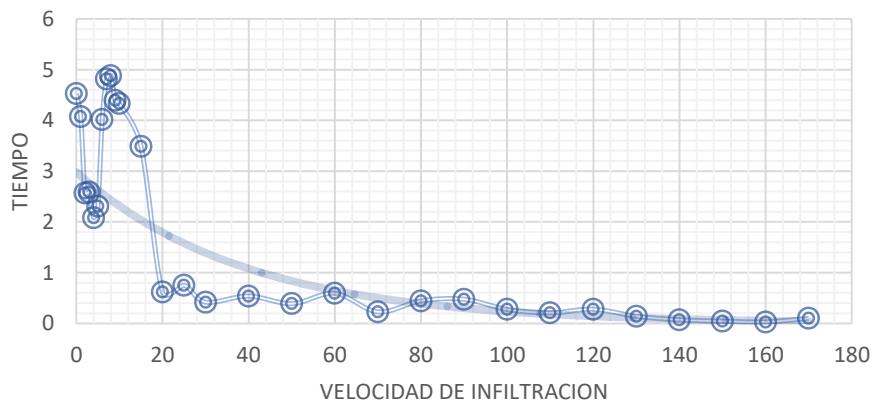
Características de la unidad de muestreo: Qp-SA-Urbano
Tipo de Suelo: Franco arcilloso
Ubicación: 4 avenida Boca del Monte
Coordenadas (GTM): X= 497382 Y=1608300
Diámetro de agujero: 24 cm
Profundidad del agujero: 30 cm
Infiltación Básica (mm/d) 18.21

No. 6

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	Ln(2h1+R)/(2h2+R)	Vel. Infiltación (cm/min)	Vel. Infiltación (cm/hra)
0	30				
1	29.55	6	0.01257878	0.07547269	4.5283616
2	29.15	6	0.01131554	0.06789323	4.0735937
3	28.9	6	0.00713779	0.04282673	2.5696041
4	28.65	6	0.0071891	0.04313462	2.5880773
5	28.45	6	0.00578873	0.03473237	2.0839421
6	28.23	6	0.00640654	0.03843927	2.3063562
7	27.85	6	0.01116345	0.06698072	4.0188431
8	27.4	6	0.0133831	0.0802986	4.8179158
9	26.95	6	0.01356464	0.08138783	4.8832701
10	26.55	6	0.01221389	0.07328335	4.3970012
15	24.65	1.2	0.06014471	0.07217365	4.3304189
20	23.2	1.2	0.04846395	0.05815674	3.4894046
25	22.95	1.2	0.00859851	0.01031821	0.6190924
30	22.65	1.2	0.01041676	0.01250011	0.7500068
40	22.32	0.6	0.01158517	0.0069511	0.4170663
50	21.9	0.6	0.01494158	0.00896495	0.5378969
60	21.6	0.6	0.01081092	0.00648655	0.389193
70	21.15	0.6	0.01643873	0.00986324	0.5917941
80	20.98	0.6	0.0062812	0.00376872	0.226123
90	20.65	0.6	0.0123067	0.00793402	0.4430412
100	20.3	0.6	0.01322021	0.00793213	0.4759276
110	20.1	0.6	0.00763362	0.00458017	0.2748105
120	19.95	0.6	0.0057637	0.00345822	0.2074934
130	19.75	0.6	0.00773698	0.00464219	0.2785314
140	19.65	0.6	0.00389106	0.00233463	0.140078
150	19.6	0.6	0.00195122	0.00117073	0.0702439
160	19.57	0.6	0.00117256	0.00070354	0.0422122
170	19.55	0.6	0.00078247	0.00046948	0.028169
180	19.48	0.6	0.00274349	0.00164609	0.0987655

Curva de infiltación básica

—○— Vel. Infiltación (cm/hra)

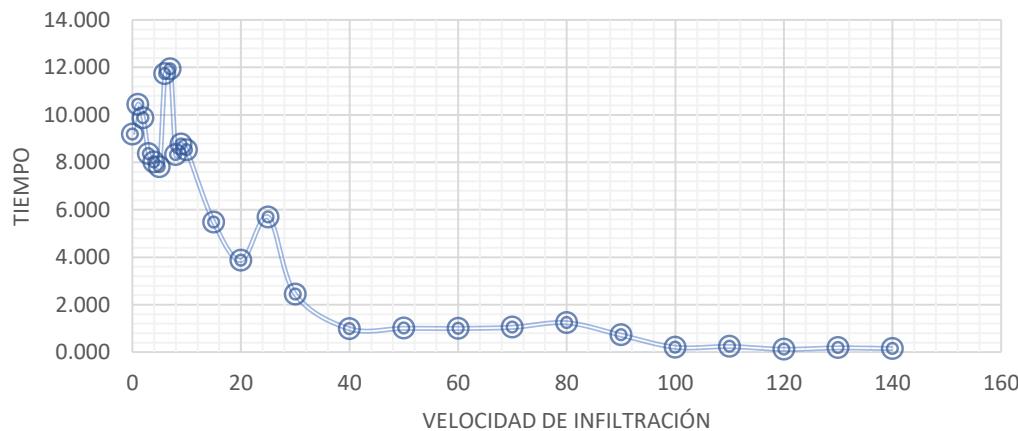


Características de la unidad de muestreo: TV-Gt-Urbano
Tipo de Suelo: Franco arcilloso arenoso
Ubicación: Aldea el porvenir 2 (el zarzal)
Coordenadas (GTM): X= 498943 Y=1608510
Diámetro de agujero: 15 cm
Profundidad del agujero: 25 cm
Infiltación Básica (mm/dia): 42.91

No. 7

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	$\ln(2h_1+R)/(2h_2+R)$	Vel. Infiltación (cm/min)	Vel. Infiltación (cm/hra)
0	25				
1	23.85	3.75	0.0408	0.1531	9.185
2	22.6	3.75	0.0463	0.1738	10.428
3	21.47	3.75	0.0438	0.1644	9.862
4	20.55	3.75	0.0372	0.1394	8.361
5	19.7	3.75	0.0356	0.1335	8.011
6	18.9	3.75	0.0347	0.1302	7.810
7	17.75	3.75	0.0521	0.1954	11.724
8	16.64	3.75	0.0530	0.1988	11.927
9	15.9	3.75	0.0370	0.1386	8.318
10	15.15	3.75	0.0389	0.1459	8.756
15	11.89	0.75	0.1893	0.1420	8.520
20	10.1	0.75	0.1215	0.0912	5.470
25	8.96	0.75	0.0859	0.0644	3.865
30	7.45	0.75	0.1265	0.0949	5.691
40	6.3	0.375	0.1083	0.0406	2.438
50	5.87	0.375	0.0437	0.0164	0.984
60	5.45	0.375	0.0446	0.0167	1.004
70	5.05	0.375	0.0445	0.0167	1.000
80	4.65	0.375	0.0465	0.0174	1.047
90	4.2	0.375	0.0551	0.0206	1.239
100	3.95	0.375	0.0320	0.0120	0.719
110	3.88	0.375	0.0091	0.0034	0.205
120	3.8	0.375	0.0105	0.0040	0.237
130	3.76	0.375	0.0053	0.0020	0.120
140	3.7	0.375	0.0080	0.0030	0.180
150	3.65	0.375	0.0067	0.0025	0.152

Curva de infiltación básica



Características de la unidad**de muestreo:**

Tv-Gt-Café

Tipo de**Suelo:**

Franco arcilloso arenoso

Ubicación:

Finca Moran, Villa Canales

Coordenadas (GTM):

X= 497426 Y=1604963

Diámetro de agujero:

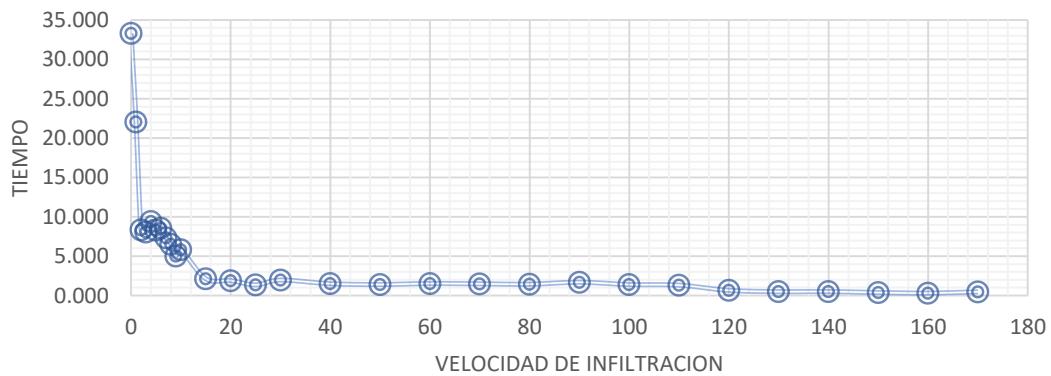
20cm

Profundidad del agujero:

30 cm

No. 8**Infiltración básica (mm/dia):** 104.43

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	$\ln(2h1+R)/(2h2+R)$	Vel. Infiltración (cm/min)	Vel. Infiltración (cm/hra)
0	30				
1	26.32	5	0.1111	0.5555	33.327
2	24.1	5	0.0735	0.3676	22.056
3	23.3	5	0.0279	0.1394	8.363
4	22.55	5	0.0269	0.1343	8.058
5	21.7	5	0.0313	0.1567	9.402
6	20.97	5	0.0277	0.1386	8.316
7	20.24	5	0.0285	0.1426	8.554
8	19.63	5	0.0245	0.1223	7.339
9	19.1	5	0.0218	0.1088	6.526
10	18.7	5	0.0167	0.0837	5.021
15	16.5	1	0.0974	0.0974	5.845
20	15.75	1	0.0355	0.0355	2.130
25	15.1	1	0.0318	0.0318	1.910
30	14.65	1	0.0226	0.0226	1.359
40	13.4	0.5	0.0657	0.0329	1.972
50	12.5	0.5	0.0501	0.0251	1.504
60	11.7	0.5	0.0468	0.0234	1.404
70	10.87	0.5	0.0510	0.0255	1.529
80	10.1	0.5	0.0497	0.0249	1.492
90	9.39	0.5	0.0482	0.0241	1.445
100	8.6	0.5	0.0565	0.0282	1.694
110	7.98	0.5	0.0467	0.0233	1.400
120	7.42	0.5	0.0441	0.0221	1.323
130	7.15	0.5	0.0220	0.0110	0.659
140	6.95	0.5	0.0166	0.0083	0.498
150	6.75	0.5	0.0169	0.0084	0.506
160	6.6	0.5	0.0128	0.0064	0.385
170	6.48	0.5	0.0104	0.0052	0.312
180	6.3	0.5	0.0158	0.0079	0.474

Curva de infiltración básica

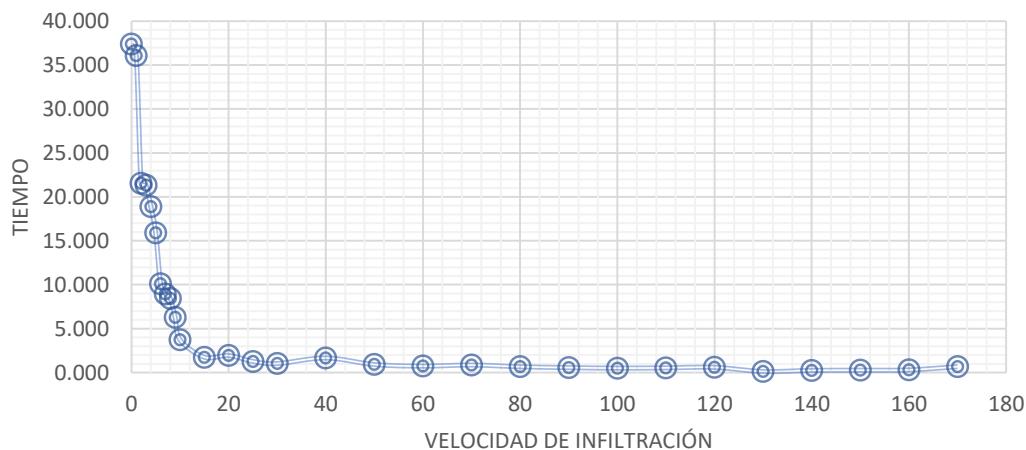
Características de la unidad TV-gt-
de muestreo: urbano
Ubicación: Finca San agustin las minas
Coordenadas (GTM): X= 498004 Y=1609687
Diámetro de agujero: 20 cm
Profundidad del agujero: 30 cm
Infiltración básica (mm/dia): 76.89

Tipo de
Suelo: Franco arenoso

No. 9

Tiempo (min)	Altura (cm)	R/2(T2-T1)	$\ln(2h1+R)/(2h2+R)$	Vel. Infiltración (cm/min)	Vel. Infiltración (cm/hra)
0	30				
1	25.9	5	0.1246	0.6230	37.378
2	22.4	5	0.1202	0.6011	36.064
3	20.5	5	0.0719	0.3593	21.559
4	18.75	5	0.0711	0.3555	21.329
5	17.3	5	0.0630	0.3150	18.899
6	16.15	5	0.0529	0.2647	15.884
7	15.45	5	0.0337	0.1683	10.097
8	14.85	5	0.0298	0.1489	8.934
9	14.3	5	0.0281	0.1405	8.430
10	13.9	5	0.0209	0.1047	6.283
15	12.76	1	0.0622	0.0622	3.733
20	12.25	1	0.0291	0.0291	1.748
25	11.7	1	0.0324	0.0324	1.944
30	11.35	1	0.0212	0.0212	1.271
40	10.8	0.5	0.0342	0.0171	1.027
50	9.95	0.5	0.0553	0.0276	1.659
60	9.5	0.5	0.0306	0.0153	0.917
70	9.15	0.5	0.0244	0.0122	0.733
80	8.75	0.5	0.0287	0.0143	0.860
90	8.45	0.5	0.0221	0.0110	0.662
100	8.2	0.5	0.0188	0.0094	0.563
110	7.98	0.5	0.0168	0.0084	0.504
120	7.75	0.5	0.0179	0.0089	0.536
130	7.5	0.5	0.0198	0.0099	0.594
140	7.45	0.5	0.0040	0.0020	0.120
150	7.35	0.5	0.0081	0.0040	0.242
160	7.24	0.5	0.0089	0.0045	0.268
170	7.12	0.5	0.0099	0.0049	0.296
180	6.85	0.5	0.0225	0.0113	0.676

Curva de infiltración gráfica



2.9.2 Balances hídricos de suelos

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio:	Finca Las Manzanillas		
Estación climática:	Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula		
Textura de Suelo:	Franco arcilloso		
Características:	TMR/vegetación arbustiva baja		
fc [mm/d]	116.72	CC	1
kp [0.01%]	0.06	PM	0.12
kv [0.01%]	0.20	(CC-PM)	
Ifc [0.01%]	0.52989		
I [0.01%]	0.78989		
DS (g/cm ³):	1.21		
PRR (mm)	1500.00		
HSI (mm)	526.89		
Nº de mes con que inicia HSI;1,2,3...12?			
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12			

**Unidad de
Muestreo**

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	222.65
Pi (mm)	182.67	160.32	261.16	342.82	7.80	1.74	0.00	1.93	4.01	19.56	16.24	147.39	1145.64
ESC (mm)	48.59	42.65	69.47	91.19	2.08	0.46	0.00	0.51	1.07	5.20	4.32	39.21	304.75
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
Hsi (mm)	526.89	526.89	526.89	526.89	526.89	463.85	418.37	381.82	353.75	334.83	327.18	317.51	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76	0.58	0.44	0.34	0.33	0.28	0.76	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	0.55	0.41	0.30	0.23	0.19	0.15	0.48	
HD (mm)	438.40	416.05	516.90	598.56	263.54	194.42	147.21	112.59	86.60	83.23	72.25	193.74	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	70.85	47.21	36.55	30.00	22.93	27.21	25.91	58.38	682.07
HSF (mm)	526.89	526.89	526.89	526.89	463.85	418.37	381.82	353.75	334.83	327.18	317.51	406.52	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	63.05	108.52	145.07	173.14	192.06	199.72	209.38	120.38	
Rp (mm)	83.09	58.26	172.94	269.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	583.95
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	75.28	133.64	182.80	224.09	249.46	277.80	303.18	156.53	1602.79

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: La Salvadora, Santa Catarina Pinula
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco arcilloso
Característica: TmMrBosque

Unidad de
Muestreo

Por peso (%)		(mm)
CC	33.23	797.52
PM	12.34	296.16
(CC-PM)	20.89	501.36
134.54		
< p [0.01%]	0.06	
< v [0.01%]	0.20	
< fc [0.01%]	0.56508	
[0.01%]	0.82508	
CS (g/cm ³):	1.20	
PR (mm)	2000.00	
-Si (mm)	797.52	
Nº de mes con que inicia HSi; 1, 2, 3...: 12?		

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	52.56	46.13	75.14	98.64	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.95	5.11	42.41	349.66
Pi (mm)	173.46	152.24	248.00	325.54	8.15	1.82	0.00	2.01	4.19	19.64	16.87	139.96	1091.89
ESC (mm)	36.78	32.28	52.58	69.02	1.73	0.38	0.00	0.43	0.89	4.16	3.58	29.67	231.49
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	797.52	797.52	797.52	797.52	797.52	728.80	672.46	620.84	574.36	536.93	507.62	476.49	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	0.75	0.65	0.56	0.52	0.46	0.64	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.74	0.64	0.55	0.47	0.41	0.35	0.52	
HD (mm)	674.82	653.60	749.36	826.90	509.51	434.46	376.30	326.69	282.39	260.41	228.33	320.29	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	76.87	58.16	51.62	48.49	41.62	48.95	48.01	54.70	791.44
HSf (mm)	797.52	797.52	797.52	728.80	672.46	620.84	574.36	536.93	507.62	476.49	561.75		
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	68.72	125.06	176.68	223.16	260.59	289.90	321.03	235.77	
Rp (mm)	73.88	50.18	159.78	252.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	536.22
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	74.93	139.23	199.34	255.62	299.30	346.25	392.73	275.61	1983.01

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Aldea Rustrián, Villa Canales
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Características: TMrCafé

fc [mm/d]	86.92											
Kp [0.01%]	0.20											
Kv [0.01%]	0.10											
Kfc [0.01%]	0.45577											
I [0.01%]	0.75577											
DS (g/cm ³):	1.15											
PR (mm)	1500.00											
Hsi (mm)	521.12											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1											
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12											

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	222.65
Pi (mm)	174.78	153.39	249.88	328.01	7.47	1.66	0.00	1.84	3.84	18.71	15.54	141.02	1096.16
ESC (mm)	56.48	49.57	80.75	106.00	2.41	0.54	0.00	0.60	1.24	6.05	5.02	45.57	354.23
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	521.12	521.12	521.12	521.12	521.12	462.64	424.23	396.29	377.37	366.34	366.69	362.11	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	0.47	0.33	0.24	0.26	0.24	0.90	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.59	0.42	0.28	0.18	0.13	0.11	0.08	0.44	
HD (mm)	358.15	336.76	433.25	511.38	190.83	126.55	86.47	60.38	43.45	47.30	43.47	165.38	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	65.95	40.07	27.93	20.77	14.87	19.36	19.12	63.29	634.38
HSf (mm)	521.12	521.12	521.12	521.12	462.64	424.23	396.29	377.37	366.34	365.69	362.11	439.85	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	58.48	96.89	124.83	143.76	154.78	155.43	159.01	81.27	
Rp (mm)	75.20	51.33	161.66	254.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	543.05
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	75.61	129.15	171.17	203.93	220.25	241.37	259.59	112.53	1413.61

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Aldea El Povenir 1
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso
Características: TM Urbano

fc [mm/d]	41.42												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.09												
Kfc [0.01%]	0.26487												
I [0.01%]	0.45487												
DS (g/cm ³):	1.25												
PR (mm)	1000.00												
HSi (mm)	264.45												
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
													(%)
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	222.65
Pi (mm)	105.19	92.32	150.39	197.42	4.49	1.00	0.00	1.11	2.31	11.26	9.35	84.88	659.73
ESC (mm)	126.07	110.64	180.24	236.60	5.39	1.20	0.00	1.33	2.77	13.50	11.21	101.72	790.66
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	264.45	220.38	216.42	220.38	220.38	179.80	158.23	146.58	141.12	138.98	140.59	139.18	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.54	0.28	0.15	0.10	0.18	0.18	0.18	1.00	
C2	1.00	0.89	1.00	1.00	0.08	0.09	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	235.14	178.20	232.32	283.29	90.37	46.30	23.73	13.19	8.93	15.74	15.44	89.56	
ETR (mm)	99.58	96.27	88.22	73.16	45.07	22.58	11.65	6.57	4.45	9.65	10.76	47.27	515.23
HSf (mm)	220.38	216.42	220.38	220.38	179.80	158.23	146.58	141.12	138.98	140.59	139.18	176.79	
DCC (mm)	0.00	3.95	0.00	0.00	40.57	62.15	73.79	79.26	81.39	79.78	81.19	43.59	
Rp (mm)	49.69	0.00	58.22	124.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	232.17
NR (mm)	0.00	9.74	0.00	78.59	111.90	136.43	153.63	157.28	175.43	190.13	190.13	90.86	1103.99

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca San Agustín Las Minas parte baja
Estación climática: Polideportivo Cuchilla EL Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso Arenoso
Características: TvGtBosques

Unidad de
Muestreo
5

fc [mm/d]	130.68	Por peso (%)	(mm)
Kp [0.01%]	0.10	CC	35.54
Kv [0.01%]	0.20	PM	537.36
Kfc [0.01%]	0.5579	(CC-PM)	23.71
I [0.01%]	0.8579		358.50
DS (g/cm ³):	1.08		11.83
PR (mm)	1400.00		178.87
Hsi (mm)	537.36		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20		

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	52.56	46.13	75.14	98.64	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.95	5.11	42.41	349.66
Pi (mm)	180.36	158.29	257.86	338.49	8.48	1.89	0.00	2.09	4.36	20.42	17.54	145.53	1135.32
ESC (mm)	29.88	26.22	42.71	56.07	1.40	0.31	0.00	0.35	0.72	3.38	2.91	24.10	188.05
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
Hsi (mm)	537.36	537.36	537.36	537.36	480.09	442.14	414.62	396.32	385.99	386.51	386.77		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	0.47	0.33	0.24	0.27	0.27	0.25	0.95	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	0.41	0.27	0.18	0.13	0.11	0.08	0.45	
HD (mm)	359.23	337.16	436.73	517.36	187.35	123.48	83.64	58.21	42.19	47.92	45.56	170.80	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	65.75	39.84	27.52	20.38	14.69	19.91	20.29	66.42	637.82
HSf (mm)	537.36	537.36	537.36	537.36	480.09	442.14	414.62	396.32	385.99	386.51	383.77	462.88	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	57.28	95.23	122.75	141.04	151.37	150.86	153.60	74.49	
Rp (mm)	80.78	56.23	169.64	265.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	571.99
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	74.60	127.72	169.51	201.61	217.01	236.25	253.01	102.61	1382.32

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: 4 Avenida Boca del Monte
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso
Características: QpSA Urbano

fc [mm/d]	18.21													
Kp [0.01%]	0.10													
Kv [0.01%]	0.09													
Kfc [0.01%]	0.04902													
I [0.01%]	0.23902													
DS (g/cm ³):	1.35													
PR (mm)	10000.00													
Hsi (mm)	428.00													
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	1													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													

Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total	
													(%)	(mm)
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04	
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	55.28	48.51	79.03	103.74	2.36	0.53	0.00	0.58	1.21	5.92	4.91	44.60	346.68	
ESC (mm)	175.99	154.45	251.60	330.28	7.52	1.67	0.00	1.86	3.87	18.84	15.65	141.99	1103.72	
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53	
Hsi (mm)	428.00	285.39	260.98	285.39	233.45	206.11	189.94	180.71	176.03	175.48	174.48			
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.56	0.32	0.19	0.11	0.11	0.10	0.10	0.43		
C2	1.00	0.54	0.66	1.00	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	0.00	0.08		
HD (mm)	314.39	165.02	165.44	195.83	118.87	65.09	37.23	21.64	13.04	13.07	11.51	50.20		
ETR (mm)	99.58	78.61	73.35	73.16	54.30	27.87	16.17	9.81	5.89	6.47	5.91	24.21	475.32	
Hsf (mm)	285.39	255.30	260.98	285.39	233.45	206.11	189.94	180.71	176.03	175.48	174.48	194.88		
DCC (mm)	0.00	30.09	24.41	0.00	51.94	79.28	95.45	104.68	109.36	109.91	110.91	90.51		
Rp (mm)	98.31	0.00	0.00	6.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	104.48	
NR (mm)	0.00	53.55	39.28	0.00	80.72	123.74	153.56	175.81	183.79	208.74	224.70	160.85	1404.74	

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Aldea El Porvenir 2
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso Arenoso
Características: TvGtUrbano

fc [mm/d]	42.91														
Kp [0.01%]	0.10														
Kv [0.01%]	0.09														
Kfc [0.01%]	0.27407														
I [0.01%]	0.46407														
DS (g/cm ³):	1.21														
PR (mm)	1200.00														
HSi (mm)	423.80														
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1														
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12														

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Unidad de Muestreo	
													Por peso (%)	(mm)
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04	
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	107.32	94.19	153.44	201.42	4.59	1.02	0.00	1.13	2.36	11.49	9.54	86.59	673.09	
ESC (mm)	123.94	108.77	177.20	232.60	5.29	1.18	0.00	1.31	2.72	13.27	11.02	100.00	777.30	
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53	
HSi (mm)	423.80	339.04	333.89	339.04	282.63	249.52	227.63	213.88	206.39	206.39	205.72	203.75		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	0.62	0.39	0.25	0.17	0.18	0.16	0.67	
C2	1.00	0.95	1.00	1.00	0.47	0.32	0.20	0.11	0.08	0.05	0.05	0.03	0.24	
HD (mm)	339.75	241.86	295.96	349.08	152.25	92.28	58.15	37.39	24.87	26.51	23.89	98.97		
ETR (mm)	99.58	99.34	88.22	73.16	61.00	34.13	21.89	14.88	9.85	12.16	11.52	43.08	568.80	
Hsf (mm)	339.04	333.89	339.04	339.04	282.63	249.52	227.63	213.88	206.39	205.72	203.75	247.26		
DCC (mm)	0.00	5.15	0.00	0.00	56.41	89.52	111.41	125.16	132.65	133.32	135.30	91.78		
Rp (mm)	92.50	0.00	60.07	128.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	280.82	
NR (mm)	0.00	7.87	0.00	78.49	127.72	163.80	191.23	203.13	226.46	243.48	143.24		1385.44	

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca moran
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco arcillos arenoso
Características: TVGtCafe

fc [mm/d]	104.43		
Kp [0.01%]	0.20		
Kv [0.01%]	0.10		
Kfc [0.01%]	0.50207		
I [0.01%]	0.80207		
DS (g/cm ³):	1.30		
DS (g/cm ³):	1500.00		
PR (mm)	483.60		
HSi (mm)			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		

Unidad de Muestreo
8

	Por peso (%)	(mm)
CC	24.80	483.60
PM	15.56	303.42
(CC-PM)	9.24	180.18

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	185.49	162.79	265.19	348.11	7.92	1.76	0.00	1.96	4.07	19.86	16.49	149.66	1163.32
ESC (mm)	45.77	40.17	65.44	85.90	1.96	0.44	0.00	0.48	1.01	4.90	4.07	36.93	287.07
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	483.60	483.60	483.60	483.60	425.77	387.71	360.13	341.65	331.07	331.28	328.09		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	0.69	0.47	0.33	0.23	0.26	0.25	0.97	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	0.41	0.27	0.18	0.13	0.11	0.08	0.46	
HD (mm)	365.67	342.97	445.37	528.29	188.10	124.12	84.29	58.66	42.30	47.51	44.35	174.33	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	65.75	39.82	27.59	20.44	14.66	19.65	19.67	67.47	
HSf (mm)	483.60	483.60	483.60	483.60	425.77	387.71	360.13	341.65	331.07	331.28	328.09	410.28	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	57.83	95.89	123.47	141.95	152.53	152.32	155.51	73.32	
Rp (mm)	85.91	60.73	176.97	274.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	75.16	128.39	170.17	202.47	218.21	237.97	255.53	100.39	

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Aldea Rustríán
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Características: Tg/Gt/Vegetación arbustiva baja

fc [mm/d]	104.43													
Kp [0.01%]	0.15													
Kv [0.01%]	0.18													
Kfc [0.01%]	0.50207													
I [0.01%]	0.83207													
DS (g/cm ³):	1.17													
PR (mm)	1500.00													
HSi (mm)	300.00													
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abrí	May	Unidad de Muestreo		
													Por peso (%)	(mm)	
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04		
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	192.43	168.88	275.11	361.13	8.22	1.83	0.00	2.03	4.23	20.60	17.11	155.26	1206.83		
ESC (mm)	38.84	34.08	55.52	72.88	1.66	0.37	0.00	0.41	0.85	4.16	3.45	31.33	243.56		
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53		
HSi (mm)	300.00	300.07	300.07	300.07	254.90	228.97	213.57	205.99	205.99	203.18	209.48	208.73			
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.59	0.32	0.19	0.14	0.27	0.30	1.00			
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.29	0.18	0.09	0.04	0.03	0.00	0.00	0.71			
HD (m)	297.10	273.62	379.85	465.87	112.96	61.40	33.64	20.27	14.89	28.45	31.26	168.66			
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	53.39	27.76	15.40	9.61	7.04	14.30	17.86	80.72	589.10		
HSf (mm)	300.07	300.07	300.07	254.90	228.97	213.57	205.99	203.18	209.48	208.73	283.27				
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	45.17	71.10	86.50	94.08	96.89	90.59	91.34	16.80				
Rp (mm)	92.78	66.82	186.89	287.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	634.46		
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	74.86	115.67	145.38	165.42	170.18	181.59	193.18	30.62			1076.90	

Zona de Estudio:	7ta. avenida Boca del Monte	Unidad de mapeo	10
Estación climática:	Polideportivo Cuchilla EL Carmen, Santa Catarina Pinula		
Textura de Suelo:	Franco Arenoso		
Características:	QpGtUrbano		

fc [mm/d]	76.89	Por peso (%)	(mm)
Kp [0.01%]	0.10	CC	17.10
Kv [0.01%]	0.09	PM	240.08
Kfc [0.01%]	0.42457	(CC-PM)	11.13
I [0.01%]	0.61457		156.27
DS (g/cm ³):	1.17		83.82
PR (mm)	1200.00		
HSi (mm)	240.08		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	142.13	124.74	203.20	266.73	6.07	1.35	0.00	1.50	3.12	15.22	12.64	114.68	891.37
ESC (mm)	89.14	78.23	127.44	167.28	3.81	0.85	0.00	0.94	1.96	9.54	7.92	71.92	559.02
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	240.08	240.08	240.08	240.08	201.24	179.86	168.22	163.00	161.20	163.76	162.02		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	0.28	0.16	0.12	0.16	0.24	0.24	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.08	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.31	
HD (mm)	225.94	208.55	287.02	350.55	89.89	46.33	23.60	13.45	9.86	20.15	20.13	120.43	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	44.92	22.73	11.65	6.72	4.92	12.66	14.37	61.87	542.85
Hsf (mm)	240.08	240.08	240.08	201.24	179.86	168.22	163.00	161.20	163.76	162.02	162.02	214.83	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	38.84	60.22	71.87	77.09	78.88	76.32	78.06	25.26		
Rp (mm)	42.54	22.68	114.98	193.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	373.77
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	77.01	109.82	134.50	151.32	154.29	168.97	183.39	57.93		1037.22

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca las Mercedes
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco arcilloso arenoso
Características: QpGtCafe

fc [mm/d]	104.43		
Kp [0.01%]	0.15		
Kv [0.01%]	0.10		
Kfc [0.01%]	0.50207		
I [0.01%]	0.75207		
DS (g/cm ³):	1.30		
PR (mm)	1500.00		
HSi (mm)	483.60		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		

11

Unidad de Muestreo

	Por peso (%)	(mm)
CC	24.80	483.60
PM	15.56	303.42
(CC-PM)	9.24	180.18

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	173.93	152.64	248.66	326.41	7.43	1.65	0.00	1.84	3.82	18.62	15.46	140.33	1090.80
ESC (mm)	57.34	50.32	81.97	107.60	2.45	0.55	0.00	0.60	1.26	6.14	5.10	46.26	359.59
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	483.60	483.60	483.60	483.60	425.39	387.38	359.90	341.42	330.75	330.37	330.37	327.01	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	0.47	0.32	0.23	0.26	0.24	0.24	0.91	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	0.41	0.27	0.18	0.13	0.11	0.08	0.43	
HD (mm)	354.11	332.82	428.84	506.59	187.61	123.63	83.96	58.32	41.82	45.95	42.41	163.93	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	65.64	39.67	27.48	20.31	14.49	19.01	18.82	63.45	
HSf (mm)	483.60	483.60	483.60	483.60	425.39	387.38	359.90	341.42	330.75	330.37	327.01	403.90	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	58.21	96.22	123.70	142.18	152.85	153.23	156.59	79.70	
Rp (mm)	74.35	50.58	160.44	253.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	75.65	128.88	170.50	202.81	218.69	239.53	257.47	110.79	

538.62

1404.33

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca San agustín las minas (reservorio)
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso
Características: QpSACafe

fc [mm/d]	18.21														
Kp [0.01%]	0.15														
Kv [0.01%]	0.10														
Kfc [0.01%]	0.04902														
I [0.01%]	0.29902														
DS (g/cm ³):	1.35														
PR (mm)	1500.00														
HSi (mm)	428.00														
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	1														
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12														

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total		
													CC	PM	(CC-PM)
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04		
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	69.15	60.69	98.87	129.78	2.95	0.66	0.00	0.73	1.52	7.40	6.15	5.80	433.70		
ESC (mm)	162.11	142.27	231.77	304.24	6.93	1.54	0.00	1.71	3.56	17.36	14.41	130.80	1016.69		
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53		
HSi (mm)	428.00	406.27	383.35	402.60	428.09	367.01	330.13	304.43	286.71	275.87	270.67	266.24			
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.65	0.65	0.44	0.30	0.20	0.17	0.13	0.39			
C2	0.83	0.64	0.80	1.00	0.54	0.38	0.25	0.16	0.11	0.07	0.04	0.18			
HD (mm)	243.83	213.63	228.89	279.05	177.71	114.34	76.81	51.83	34.90	29.95	23.49	68.71			
ETR (mm)	90.89	83.61	79.62	73.16	64.03	37.53	25.71	18.45	12.36	12.61	10.58	27.11	535.65		
HSf (mm)	406.27	383.35	402.60	428.09	367.01	330.13	304.43	286.71	275.87	270.67	266.24	294.92			
DCC (mm)	21.82	44.74	25.49	0.00	61.08	97.95	123.66	141.38	152.21	157.42	161.85	133.17	31.13		
Rp (mm)	0.00	0.00	31.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
NR (mm)	30.51	63.19	34.09	0.00	80.13	132.75	172.23	203.88	220.19	250.11	270.97	200.59	1658.64		

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Chichimecas
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso
Características: QpMrCafe

fc [mm/d]	18.21													
Kp [0.01%]	0.20													
Kv [0.01%]	0.09													
Kfc [0.01%]	0.04902													
I [0.01%]	0.33902													
Ds (g/cm ³):	1.35													
DS (g/cm ³)	1500.00													
PR (mm)	428.00													
Hsi (mm)														
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	1													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													

Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	78.40	68.81	112.09	147.14	3.35	0.75	0.00	0.83	1.72	8.39	6.97	63.26	491.71
ESC (mm)	152.86	134.15	218.54	286.88	6.53	1.45	0.00	1.61	3.36	16.37	13.59	123.34	958.68
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
Hsi (mm)	428.00	412.88	393.78	420.28	428.09	367.31	330.40	304.60	286.88	276.12	271.38	267.08	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	0.66	0.44	0.30	0.20	0.18	0.14	0.44	
C2	0.88	0.72	0.94	1.00	0.54	0.38	0.25	0.16	0.11	0.07	0.05	0.20	
HD (mm)	253.08	228.36	252.54	314.10	178.11	114.72	77.07	52.10	35.28	31.18	25.02	77.01	
ETR (mm)	93.52	87.91	85.59	73.16	64.13	37.66	25.80	18.54	12.49	13.13	11.27	30.39	553.59
HSf (mm)	412.88	393.78	420.28	428.09	367.31	330.40	304.60	286.88	276.12	271.38	267.08	299.95	
DCC (mm)	15.20	34.31	7.80	0.00	60.78	97.69	123.49	141.20	151.97	156.70	161.00	128.14	
Rp (mm)	0.00	0.00	66.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NR (mm)	21.26	48.45	10.43	0.00	79.73	132.36	171.97	203.61	219.81	248.87	269.43	192.28	1598.22

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Granja Apache, Villa Canales
Estación climática: Polideportivo Cuchilla El Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Características: QpGtV/vegetación arbustiva baja

fc [mm/d]	76.89								
Kp [0.01%]	0.15								
Kv [0.01%]	0.09								
Kfc [0.01%]	0.42457								
I [0.01%]	0.66457								
DS (g/cm ³):	1.17								
PR (mm)	1000.00								
HSi (mm)	200.07								
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	1								
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12								

Unidad de
mapeo

14

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	153.69	134.88	219.73	288.44	6.57	1.46	0.00	1.62	3.38	16.45	13.66	124.01	963.89
ESC (mm)	77.57	68.08	110.90	145.58	3.31	0.74	0.00	0.82	1.70	8.31	6.90	62.59	486.50
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	200.07	200.07	200.07	200.07	200.07	165.10	147.74	138.43	134.35	133.41	135.06	132.87	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	0.25	0.14	0.11	0.28	0.26	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	
HD (mm)	223.54	204.73	289.58	358.28	76.41	36.34	17.52	9.83	7.51	19.65	18.50	126.65	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	41.54	18.81	9.32	5.69	4.32	14.81	15.85	69.00	542.37
Hsf (mm)	200.07	200.07	200.07	200.07	165.10	147.74	138.43	134.35	133.41	135.06	132.87	187.87	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	34.97	52.33	61.64	65.72	66.66	65.01	67.20	12.20	
Rp (mm)	54.11	32.82	131.51	215.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	76.51	105.84	126.61	140.97	142.67	155.50	171.05	37.73	

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca San Agustín Las Minas parte baja
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso Arenoso
Características: TvGtPastizales

fc [mm/d]	42.91														
Kp [0.01%]	0.15														
Kv [0.01%]	0.18														
Kfc [0.01%]	0.27407														
I [0.01%]	0.60407														
DS (g/cm ³):															
PR (mm)	1.21														
HSi (mm)	900.00														
	254.28														
Nº de mes con que inicia HSi; 1, 2, 3...12?	1														
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12														

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Unidad de Muestreo	
													Por peso (%)	(mm)
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04	
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	139.70	122.60	199.73	262.18	5.97	1.33	0.00	1.47	3.07	14.96	12.42	112.72	876.14	
ESC (mm)	91.56	80.36	130.91	171.84	3.91	0.87	0.00	0.97	2.01	9.80	8.14	73.88	574.25	
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53	
HSi (mm)	254.28	254.28	254.28	254.28	206.09	179.32	163.37	154.96	151.32	154.93	154.48			
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	0.32	0.19	0.13	0.13	0.21	0.22	1.00		
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.20	0.11	0.05	0.04	0.01	0.00	0.26		
HD (mm)	250.45	233.36	310.48	372.93	116.72	63.89	35.79	21.31	14.49	22.75	23.82	123.67		
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	54.16	28.10	15.95	9.88	6.70	11.35	12.87	59.70		
HSf (mm)	254.28	254.28	254.28	206.09	179.32	163.37	154.96	151.32	154.93	154.48	154.48	207.49		
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	48.19	74.96	90.92	99.32	102.96	99.35	99.80	46.79			
Rp (mm)	40.12	20.54	111.51	189.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	77.11	119.19	149.24	170.39	176.59	193.30	206.63	206.63	81.63		
													361.19	1174.07

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca San Francisco la Unión
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Características: TMrAgricultura Anual

fc [mm/d]	86.92								
Kp [0.01%]	0.10								
Kv [0.01%]	0.10								
Kfc [0.01%]	0.45577								
I [0.01%]	0.65577								
DS (g/cm ³):	1.15								
PR (mm)	1500.00								
HSi (mm)	521.12								
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1								
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12								

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	151.66	133.10	216.82	284.61	6.48	1.44	0.00	1.60	3.33	16.24	13.48	122.36	951.12
ESC (mm)	79.61	69.87	113.82	149.40	3.40	0.76	0.00	0.84	1.75	8.52	7.08	64.23	499.27
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	521.12	521.12	521.12	521.12	461.87	423.56	395.84	376.91	365.70	363.85	359.93		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.68	0.47	0.33	0.23	0.24	0.22	0.79		
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	0.41	0.28	0.18	0.13	0.10	0.07	0.38	
HD (mm)	335.02	316.46	400.19	467.98	189.85	125.56	85.80	59.68	42.48	44.19	39.58	144.54	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	65.73	39.76	27.72	20.53	14.53	18.09	17.40	55.31	622.09
Hsf (mm)	521.12	521.12	521.12	461.87	423.56	395.84	376.91	365.70	363.85	359.93	426.98		
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	59.25	97.57	125.28	144.22	155.42	157.27	161.19	94.14	
Rp (mm)	52.07	31.04	128.60	211.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	423.16
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	76.60	130.14	171.85	204.63	221.21	244.48	263.49	133.37	1445.77

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Granja Florencia Boca del Monte
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso
Características: QpAFUrbano

fc [mm/d]	18.21														
Kp [0.01%]	0.15														
Kv [0.01%]	0.09														
Kfc [0.01%]	0.04902														
I [0.01%]	0.28902														
Ds (g/cm ³):	1.35														
PR (mm)	900.00														
HSi (mm)	256.85														
Nº de mes con que inicia HSi; 1, 2, 3...12?	1														
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12														

Nº de mes con que inicia HSi; 1, 2, 3...12?

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	66.84	58.66	95.56	125.44	2.86	0.64	0.00	0.71	1.47	7.16	5.94	53.93	419.20
ESC (mm)	164.42	144.30	235.07	308.58	7.02	1.56	0.00	1.73	3.61	17.60	14.62	132.67	1031.20
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	256.85	239.66	225.75	243.08	256.85	208.41	183.27	168.96	161.29	157.67	158.38	157.29	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.54	0.30	0.17	0.10	0.10	0.12	0.12	0.56	
C2	0.69	0.42	0.77	1.00	0.23	0.17	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00	0.06	
HD (mm)	171.69	146.32	169.31	216.53	107.71	57.05	31.27	17.67	10.76	12.83	12.33	59.22	
ETR (mm)	84.03	72.57	78.22	73.16	51.30	25.78	14.31	8.38	5.09	6.44	7.04	29.32	455.64
HSf (mm)	239.66	225.75	243.08	256.85	208.41	183.27	168.96	161.29	157.67	158.38	157.29	181.89	
DCC (mm)	17.19	31.10	13.77	0.00	48.44	73.59	87.89	95.56	99.18	98.47	99.56	74.96	
Rp (mm)	0.00	0.00	38.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NR (mm)	32.74	60.59	23.76	0.00	80.22	120.14	147.87	168.14	174.42	197.32	212.22	140.17	1357.60

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Los Alamos, Villa Canales
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Característica: QpGtPastizales

fc [mm/d]	76.90													
Kp [0.01%]	0.15													
Kv [0.01%]	0.18													
Kfc [0.01%]	0.42461													
I [0.01%]	0.75461													
DS (g/cm ³):	1.17													
PR (mm)	900.00													
Hsi (mm)	180.04													
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abrí	May	Total	
													(%)	(mm)
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04	
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	174.51	153.16	249.50	327.51	7.46	1.66	0.00	1.84	3.83	18.68	15.51	140.81	1094.48	
ESC (mm)	56.75	49.81	81.14	106.50	2.42	0.54	0.00	0.60	1.25	6.08	5.05	45.79	355.92	
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53	
HSi (mm)	180.04	180.04	180.04	180.04	145.96	130.11	122.48	119.73	119.50	120.60	118.10			
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.48	0.21	0.11	0.10	0.33	0.30	1.00		
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75		
HD (mm)	237.35	216.00	312.34	390.35	70.30	30.42	12.91	7.12	6.37	20.98	18.92	141.71		
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	41.54	17.51	7.63	4.59	4.07	17.58	18.02	82.75	556.70	
HSf (mm)	180.04	180.04	180.04	180.04	145.96	130.11	122.48	119.73	119.50	120.60	118.10	176.16		
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	34.08	49.93	57.56	60.31	60.54	59.44	61.94	3.88		
Rp (mm)	74.93	51.10	161.28	254.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	541.66	
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	75.62	104.75	124.21	136.67	136.80	147.16	163.63	15.68	904.53	

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Granja Galicia, Santa Catarina Pinula
Estación climática: Polideportivo Cuachilla EL Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso Arenoso
Características: QpGtBosques

fc [mm/d]	130.68	Por peso (%)	29.76	25.56	212.04	1673.04
Kp [0.01%]	0.15		5.95	5.11	42.41	349.66
Kv [0.01%]	0.20		5.00	2.22	21.62	1201.49
Kfc [0.01%]	0.5579	CC	35.54	575.75		
I [0.01%]	0.9079	PM	23.71	384.10		
DS (g/cm ³):	1.08	(CC-PM)	11.83	191.65		
PR (mm)	1500.00					
HSi (mm)	575.74					
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	1					
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20					

Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	52.56	46.13	75.14	98.64	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.95	5.11	42.41	349.66
Pi (mm)	190.88	167.52	272.89	358.22	8.97	2.00	0.00	2.22	4.61	21.62	18.56	154.01	1201.49
ESC (mm)	19.36	16.99	27.68	36.34	0.91	0.20	0.00	0.22	0.47	2.19	1.88	15.62	121.88
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	575.74	575.75	575.75	575.75	517.70	478.18	448.78	428.71	417.01	416.90	413.40		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	0.49	0.35	0.26	0.28	0.27	0.96		
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.61	0.44	0.30	0.20	0.15	0.13	0.10	0.48	
HD (mm)	382.51	359.16	464.54	549.87	200.62	135.60	94.08	66.90	49.22	54.53	51.36	183.31	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	67.02	41.52	29.40	22.29	16.31	21.73	22.06	68.12	651.46
Hsf (mm)	575.75	575.75	575.75	517.70	478.18	448.78	428.71	417.01	416.90	413.40	499.29		
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	58.05	97.57	126.97	147.04	158.73	158.85	162.35	76.46		
Rp (mm)	91.29	65.46	184.67	285.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	626.48
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	74.11	128.38	171.85	205.70	222.76	242.42	259.98	102.88		1408.07

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio:	Finca San Vicente, La Salvadora	Unidad de Muestreo
Estación climática:	Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula	
Textura de Suelo:	Franco arcilloso	
Características:	TuMrPastizales	

	Por peso (%)	(mm)
CC	29.03	316.14
PM	14.94	162.70
(CC-PM)	14.09	153.44
f _c [mm/d]	116.72	
k _p [0.01%]	0.06	
k _v [0.01%]	0.18	
Kf _c [0.01%]	0.52989	
I [0.01%]	0.76989	
D _S (g/cm ³):	1.21	
PR (mm)	900.00	
H _{Si} (mm)	316.13	

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65
Pi (mm)	178.05	156.26	254.55	334.14	7.61	1.69	0.00	1.88	3.91	19.06	15.83	143.66	1116.64
ESC (mm)	53.22	46.70	76.08	99.87	2.27	0.51	0.00	0.56	1.17	5.70	4.73	42.94	333.76
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	316.13	316.14	316.14	316.14	261.10	226.73	203.23	188.64	181.01	183.22	181.75		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.65	0.42	0.28	0.19	0.19	0.24	0.24	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.51	0.34	0.22	0.13	0.09	0.08	0.08	0.44	
HD (mm)	331.48	309.70	407.99	487.58	161.05	100.09	64.03	42.42	29.85	37.38	36.36	162.71	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	62.65	36.06	23.49	16.47	11.54	16.85	17.30	68.27	615.66
HSt (mm)	316.14	316.14	316.14	316.14	261.10	226.73	203.23	188.64	181.01	183.22	181.75	257.14	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	55.04	89.41	112.90	127.50	135.13	132.91	134.38	59.00	
Rp (mm)	78.46	54.20	166.33	260.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	559.97
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	75.47	125.68	163.69	191.98	203.92	221.36	236.78	85.27	1304.15

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: La Cuchilla El Carmen
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Texture de Suelo: Franco Arcilloso Arenoso
Características: TvaF Urbano

fc [mm/d]	42.91								
Kp [0.01%]	0.15								
Kv [0.01%]	0.09								
Kfc [0.01%]	0.27407								
I [0.01%]	0.51407								
DS (g/cm ³):	1.21								
PR (mm)	1000.00								
Hsi (mm)	282.53								
Nº de mes con que inicia HSi; 1, 2, 3...12?	1								
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12								

Nº de mes con que inicia HSi; 1, 2, 3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Unidad de Muestreo		
													Por peso (%)	(mm)	
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04		
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	118.89	104.34	169.97	223.12	5.08	1.13	0.00	1.25	2.61	12.73	10.57	9.92	745.61		
ESC (mm)	112.38	98.63	160.66	210.90	4.80	1.07	0.00	1.19	2.47	12.03	9.99	9.67	704.78		
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53		
Hsi (mm)	282.53	282.54	282.54	282.54	230.86	201.90	184.02	173.89	169.01	170.84	170.45				
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.59	0.34	0.21	0.14	0.18	0.18	0.18	0.87			
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.37	0.24	0.14	0.07	0.05	0.03	0.03	0.20			
HD (mm)	241.94	227.39	293.03	346.17	128.14	72.52	42.42	25.80	17.02	22.26	21.93	106.90			
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	56.75	30.10	17.88	11.39	7.48	10.90	10.96	50.58	559.05		
HSf (mm)	282.54	282.54	282.54	230.86	201.90	184.02	173.89	169.01	170.84	170.45	170.45	215.80			
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	51.67	80.64	98.51	108.65	113.52	111.69	112.08	66.74			
Rp (mm)	19.30	2.28	81.75	149.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	78.00	122.87	154.92	178.21	186.37	206.09	220.82	220.82	110.70	1257.98		

Zona de Estudio: Colonia Vista Azul, Santa Catarina Pinula
Estación climática: Polideportivo Cuichilla EL Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso Arenoso
Características: TVAFBosques

**Unidad de
Muestreo**

22

fc [mm/d]	130.68	Por peso (%) (mm)
Kp [0.01%]	0.20	
Kv [0.01%]	0.20	
Kfc [0.01%]	0.5579	
I [0.01%]	0.9579	
DS (g/cm ³):	1.08	
PR (mm)	1400.00	
HSi (mm)	537.35	
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	1	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20	

Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	52.56	46.13	75.14	98.64	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.95	5.11	42.41	349.66
Pi (mm)	201.39	176.74	287.92	377.95	9.46	2.11	0.00	2.34	4.87	22.81	19.59	162.49	1267.66
ESC (mm)	8.85	7.77	12.65	16.61	0.42	0.09	0.00	0.10	0.21	1.00	0.86	7.14	55.71
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
HSi (mm)	537.35	537.36	537.36	537.36	480.85	442.80	415.06	396.77	396.77	386.81	388.26	385.87	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.47	0.33	0.24	0.28	0.28	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.59	0.41	0.28	0.18	0.13	0.12	0.09	0.53	
HD (mm)	380.24	355.61	466.79	556.82	188.33	124.46	84.31	58.90	43.14	50.92	49.36	189.87	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	65.98	40.15	27.74	20.63	15.02	21.15	21.98	72.46	648.14
Hsf (mm)	537.36	537.36	537.36	480.85	442.80	415.06	396.77	386.81	388.26	385.87	475.90		
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	56.52	94.56	122.30	140.59	150.75	149.10	151.49	61.46	
Rp (mm)	101.79	74.68	199.70	304.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	680.97
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	73.62	126.74	168.84	200.92	216.06	233.25	249.21	83.54	1352.17

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Villas del Sur, Villa Canales
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Texture de Suelo: Franco Arcilloso
Características: QpSAVegetación arbustiva baja

fc [mm/d]	18.21														
Kp [0.01%]	0.20														
Kv [0.01%]	0.09														
Kfc [0.01%]	0.04902														
I [0.01%]	0.33902														
DS (g/cm ³):	1.35														
PR (mm)	10000.00														
HSi (mm)	285.39														
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	1														
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12														

Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total	
													(%)	(mm)
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04	
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	25.44	222.65	
Pi (mm)	78.40	68.81	112.09	147.14	3.35	0.75	0.00	0.83	1.72	8.39	6.97	63.26	491.71	
ESC (mm)	152.86	134.15	218.54	286.88	6.53	1.45	0.00	1.61	3.36	16.37	13.59	123.34	958.68	
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53	
HSi (mm)	285.39	273.26	259.89	284.38	285.39	234.09	206.60	190.22	181.00	176.47	176.95	176.20		
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	0.32	0.19	0.12	0.14	0.13	0.13	0.61		
C2	0.82	0.61	0.99	1.00	0.32	0.21	0.12	0.06	0.04	0.01	0.00	0.11		
HD (mm)	194.91	173.19	203.10	262.63	119.85	65.95	37.71	22.16	13.84	15.98	15.03	70.57		
ETR (mm)	90.53	82.18	87.60	73.16	54.65	28.23	16.38	10.05	6.25	7.92	7.72	34.03	498.71	
HSf (mm)	273.26	259.89	284.38	285.39	234.09	206.60	181.00	176.47	176.95	176.20	205.42			
DCC (mm)	12.13	25.50	1.01	0.00	51.30	78.79	95.17	104.39	108.92	108.44	109.19	79.97		
Rp (mm)	0.00	0.00	72.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
NR (mm)	21.18	45.38	1.63	0.00	79.73	122.89	153.07	175.29	183.00	205.83	221.17	140.47		

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Villas del Pinar I (Las Manzanillas)

Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula

Textura de Suelo: Franco Arenoso

Características: TMR Cultivos permanentes herbaceos

fc [mm/d]	86.92												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.45577												
I [0.01%]	0.61577												
DS (g/cm ³):	1.15												
PR (mm)	1200.00												
Hsi (mm)	416.89												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												

**Unidad de Muestreo
24**

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04
Ret [mm]	31.54	27.68	45.09	59.18	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	222.65
Pi (mm)	142.40	124.98	203.59	267.25	6.08	1.35	0.00	1.50	3.13	15.25	12.66	114.90	893.10
ESC (mm)	88.86	77.99	127.04	166.76	3.80	0.85	0.00	0.94	1.95	9.51	7.90	71.70	557.29
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53
Hsi (mm)	416.89	416.90	416.90	416.90	361.71	328.56	306.49	292.90	285.76	286.83	286.83	285.34	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	0.40	0.26	0.18	0.21	0.20	0.89	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.48	0.32	0.20	0.12	0.08	0.06	0.04	0.32	
HD (mm)	289.09	271.67	350.29	413.95	152.78	92.86	58.36	37.79	25.82	30.80	29.29	130.04	
ETR (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	61.28	34.50	22.07	15.10	10.27	14.17	14.15	56.80	591.35
Hsf (mm)	416.90	416.90	416.90	361.71	328.56	306.49	292.90	285.76	286.83	285.34	285.34	343.44	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	55.19	88.34	110.40	124.00	131.14	130.07	131.56	73.46	
Rp (mm)	42.82	22.92	115.37	194.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	375.20
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	77.00	126.17	162.62	189.85	201.20	221.20	237.11	111.20	1326.34

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca San Agustín Las Minas (planta de tratamiento)
Estación climática: Polideportivo Cuchilla el Carmen, Santa Catarina Pinula
Textura de Suelo: Franco Arcilloso
Características: QPSAP astizales

fc [mm/d]	18.21														
Kp [0.01%]	0.20														
Kv [0.01%]	0.18														
Kfc [0.01%]	0.04902														
I [0.01%]	0.42902														
DS (g/cm ³):	1.35														
PR (mm)	1200.00														
HSi (mm)	342.46														
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	1														
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20														

Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

Concepto	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Total	
P (mm)	262.80	230.64	375.72	493.20	14.88	7.20	3.72	7.44	10.08	29.76	25.56	212.04	1673.04	
Ret [mm]	52.56	46.13	75.14	98.64	5.00	5.00	3.72	5.00	5.00	5.95	5.11	42.41	349.66	
Pi (mm)	90.20	79.16	128.95	169.27	4.24	0.94	0.00	1.05	2.18	10.21	8.77	72.78	567.76	
ESC (mm)	120.04	105.35	171.62	225.29	5.64	1.26	0.00	1.39	2.90	13.59	11.68	96.86	755.62	
ETP (mm)	99.58	102.06	88.22	73.16	83.08	72.33	74.28	80.95	80.33	105.30	119.70	94.54	1073.53	
HSi (mm)	342.46	336.42	324.09	342.47	287.05	255.27	234.74	222.16	215.46	214.87	213.37			
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.61	0.38	0.24	0.16	0.16	0.15	0.15	0.60		
C2	0.93	0.79	1.00	1.00	0.44	0.29	0.18	0.10	0.07	0.04	0.02	0.19		
HD (mm)	230.00	212.92	250.38	309.08	144.04	85.33	52.61	33.13	21.68	23.02	20.98	83.48		
ETR (mm)	96.24	91.49	88.22	73.16	59.65	32.73	20.53	13.63	8.88	10.81	10.27	37.37	542.97	
HSf (mm)	336.42	324.09	342.47	342.47	287.05	255.27	234.74	222.16	215.46	214.87	213.37	248.78		
DCC (mm)	6.05	18.38	0.00	0.00	55.42	87.20	107.72	120.31	127.00	127.60	129.10	93.69		
Rp (mm)	0.00	22.35	96.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	118.47	
NR (mm)	9.39	28.95	0.00	0.00	78.84	126.80	161.48	187.63	198.46	222.09	238.52	150.86	1403.02	



CAPÍTULO III

**SERVICIOS REALIZADOS EN LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE
DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN.**

3.1 PRESENTACIÓN

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán realiza sus actividades bajo cuatro ejes institucionales, siendo uno de ellos el de recarga hídrica; la división forestal, conservación y manejo de suelos realiza sus funciones bajo este eje institucional, como lo son la producción de plantas, reforestaciones, control de incendios, establecimiento de estructuras de conservación de suelos, monitoreos de los ríos pertenecientes a la cuenca y otras actividades propias de la institución.

Para poder contrarrestar los daños ocasionados a los recursos naturales por la urbanización y la tasa de deforestación, se cuenta con dos viveros, uno ubicado en el km 22 Ruta al Pacífico y el otro en El Morlón Amatitlán en donde se producen plantas forestales y frutales para reforestar las áreas dañadas, y así contribuir a mantener o incrementar la recarga hídrica y biodiversidad, aunado a esto se hace necesario realizar estudios de la flora nativa de la cuenca para poder direccionar mejor las especies que se deben producir en el vivero, por lo que se realizó un estudio del estrato arbóreo en la finca Las Manzanillas, Villa Canales.

Con el incremento en las metas de producción de frutales se debe de considerar la forma de establecerlo y mantenerlo por lo que se hace necesario la elaboración del manejo agronómico para frutales en vivero ya que actualmente no existe y la manera de realizarse es poco tecnificada.

Actualmente AMSA cuenca con varias instalaciones, con un Centro de capacitación y recreación el cual se encuentra a la orilla del lago, el área se encuentra abandonada ya que no se le ha dado el debido mantenimiento, considerando que es un área cercana en donde se llevan a cabo los mayores proyectos, se hace necesario recuperar este espacio, para poder realizar giras de campo y dar charlas de concientización ambiental, así mismo AMSA tiene a cargo la supervisión del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran en jurisdicción de la cuenca. Dentro del plan de trabajo de la institución en la rehabilitación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que se encuentran abandonadas, aunado a los trabajos de las estructuras de operación de las plantas se implementará proyectos de jardinería para mejorar el aspecto visual de las plantas de tratamiento.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo general

Realizar proyectos de servicios profesionales relacionado a las actividades que realiza la División Forestal, Conservación y Manejo de Suelos de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

3.2.2 Objetivos específicos

- Producir frutales nativos de la Cuenca del Lago de Amatitlán a nivel de vivero, ubicadas en el vivero El Morlón.
- Diseñar jardines en el Centro de Capacitación de AMSA y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Elaborar estudios técnicos sobre la flora de la Cuenca del Lago de Amatitlán a nivel de estrato arbóreo.

3.3 Producción de frutales a nivel de vivero, ubicado en el vivero El Morlón, Amatitlán.

3.3.1 Presentación

A lo largo de los años se han implementado sistemas agroforestales en la cuenca del Lago de Amatitlán, actualmente se ha abandonado esta práctica, aunado a la perdida de cobertura forestal y crecimiento de zonas urbanas, se ha afectado la diversidad biológica.

Con la implementación de este servicio, se producirá especies de árboles frutales endémicas o nativas de la región, facilitando a los pobladores del área, las plantas que serán utilizadas para la formación de sistemas agroforestales y huertos familiares, contribuyendo a la recuperación y conservación de la diversidad biológica, y la seguridad alimentaria de los pobladores de la cuenca.

Por la falta de interés de las últimas administraciones de seguir produciendo frutales se ha realizado un proyecto de producción de los mismos con el fin de fomentar los sistemas agroforestales y silvícolas, por lo que en base a referencias históricas de los frutales que existen dentro de la cuenca del lago de Amatitlán se establece el plan de producción.

3.3.2 Objetivos

- Producir frutales para la restauración de la flora frutícola de la Cuenca del Lago de Amatitlán.

3.3.3 Metodología

A. Fase de gabinete inicial

- Se realizó recopilación de información por medio de informes anteriores sobre la producción de plantas en vivero, presentándose una disminución de la producción de planta frutal en el vivero, enfocándose a la producción de especies forestales.
- Se revisó documentación sobre los planes de manejo de producción, se encontró información sobre el manejo agronómico de plantas forestales.

- Se realizó un listado de los insumos que se utilizarían para la producción de planta: bolsa de almacigo de polietileno 6*8 calibre 2, sustrato (tierra, arena pómex y materia orgánica), semillas (recolectadas en diferentes áreas dentro de la cuenca del lago de Amatitlán), fertilizantes, insecticidas, fungicidas, abono orgánico (lombricompost) y mangueras para riego.
- Se procedió a adquirir todos los insumos necesarios para la producción de planta, descritos anteriormente.

B. Fase de campo

- Se realizó un inventario de planta producida en el vivero “El Morlón”.
- Se establecieron áreas específicas para la producción de planta frutal, esto consistió en la selección del terreno y preparación, realizado por el personal de campo a mi cargo. Así mismo se designó a un equipo de trabajo la recolección de semilla de frutales dentro de la cuenca del lago de Amatitlán.
- Para las especies de aguacate, se realizó primero un semillero para luego trasplantar las plántulas a las bolsas, se puede observar en las Figuras 14, 26A, 27A.
- Se preparó el terreno donde se colocaron las bolsas que se llenaron para la producción de planta, en la Figura 28A.
- Se prepara el sustrato (tierra, arena pómex y materia orgánica) con una proporción 2.1.1 como se observa en la Figura 29A.
- Se procedió al llenado de bolsa, siendo un total de 30,000 bolsas como se observa en la Figura 30A.
- Se realiza la siembra en las bolsas anteriormente llenadas, este proceso de realizó de dos maneras uno consistió en la siembra directa y en el otro previamente se estableció un semillero para luego proceder a su transplante.
- Dependiendo de la semilla del frutal se espera un tiempo promedio de dos a cuatro semanas para determinar cuanta planta germino y proceder a la resiembra.
- Después de establecida la producción se realizaron actividades de mantenimiento (control de maleza, fertilización, riego, control de plagas y enfermedades).

- Se realizó nuevamente un inventario de planta para obtener la producción total de frutales a nivel de vivero.

C. Fase de gabinete final

- Se digitalizó la información obtenida en el inventario inicial y final de planta producida.

3.3.4 Resultados

A. Producción de planta

La producción total de planta frutal fue de 20,000 plantas, las cuales son especies nativas de la región, las cuales serán utilizadas para las diferentes campañas de reforestación que se realizan dentro de la cuenca del lago de Amatitlán, en el Cuadro 31 se describe cada una de las especies y su respectiva cantidad.

Cuadro 31 Producción de frutales

PRODUCCIÓN DE FRUTALES			Producción total planificada
No.	Especies		
	Nombre Común	Nombre Científico	
1	Aguacate	<i>Persea americana</i>	5000
2	Naranja	<i>Citrus sp</i>	3000
3	Mandarina	<i>Citrus sp</i>	1000
4	Cuje	<i>Ingas sp.</i>	8000
5	Níspero	<i>Eriobotrya japónica</i>	1000
6	Matasano	<i>Casimiroa edulis</i>	2000
Total			20000

B. Mantenimiento de la producción de planta

a. Riego del vivero

El riego es manual, este se realizó en época seca cada 1 -2 días, manteniendo las plantas a capacidad de campo, no encharcando las mismas como se ve en la Figura 15.

b. Fertilización

El requerimiento nutricional de las plantas a nivel de vivero, es básicamente de los elementos mayores Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), por lo que se realizaron fertilizaciones de UREA (46-0-0), triple quince (15-15-15) y (20-20-0). Y para darle un fortalecimiento al follaje y estabilización de las plantas se aplicó un fertilizante foliar (bayfolan), según el Cuadro 32.

Se recomienda que las plantas un mes antes de ir a campo definitivo pasen por un proceso llamado endurecimiento, el cual consiste en dejar de fertilizar las plantas para que esas se adapten rápidamente a las condiciones de campo definitivo.

Cuadro 32. Plan de fertilización.

No.	Producto	Fecha de aplicación	Frecuencia (periodo total de producción)	Dosis
1	46 -0 - 0 (Urea)	En el transplante	1	2 gr./bolsa
2	46 -0 - 0 (Urea)	15 DDT	1	2 gr./bolsa
3	20-20-0	30-35 DDT	2	2 gr./bolsa
4	15-15-15	110 DDT	2	2 gr./bolsa
5	Bayfolan	40 DDUA	4	2-3 copas bayer/ bomba (16L.)

c. Cuidados y Control fitosanitario

Esta actividad consiste en el monitoreo y control preventivo de plagas y enfermedades que pueden atacar a la producción de planta. Después de establecida toda la producción se deben de realizar monitoreos constantes para controlar la aparición de alguna plaga.

Las plagas más comunes que se dan en los viveros son: Zompopos, Roedores, Mosca blanca, Trips, Ácaros y minador de la hoja. Las enfermedades más comunes son: Damping-off y cola de zorro.

Si la plaga o enfermedad sobrepasa el umbral de daño, se debe aplicar un plaguicida, para que no siga causando daño, como se puede observar en el Cuadro 33 existen aplicaciones preventivas y curativas.

Cuadro 33. Plan fitosanitario.

No	Plaga	Producto	Estrategia	Aplicación	Frecuencia (en base a la presencia de la plaga)	Dosis
1	Plagas del suelo	Captan	Preventivo	Al momento de preparar el sustrato	1	150 gr./10m ³
2	Plagas del suelo (gusanos)	Lorsban	Preventivo	Después del llenado de bolsa	1	1 copa bayer/bomba a 16 L.)
3	Mosca Blanca	Monarca/Vidate	Preventivo-curativo	Cada 15 días	3	2 copa bayer/bomba a 16 L.)
4	Minador de la hoja, áfidos y trips		Preventivo-curativo	Cada 21 días	4	3 copa bayer/bomba a 16 L.)
5	Zompopo	Terminator	Curativo	Cada 30 días	4	Depende del tamaño de la bomba a utilizar
6	Zompopo	Mirex	Curativo	Cada 30 días	2	2 gr.

d. Control malezas

La eliminación de las malezas, tiene como objetivo disminuir la posibilidad de que las malezas sean refugio de otras plagas, también puede existir competencia por luz, nutrientes y aire. El control de malezas se debe realizar tanto en las calles, como en las bolsas, y se recomienda realizarlo en forma manual como se ve en la Figura 31A, ya que por las condiciones de concentración de plantas y del tamaño de las mismas, la aplicación de herbicidas es de alto riesgo.

El desmalezado debe hacerse cada mes, dependiendo la cantidad de maleza que tenga la plántula que se haya sembrado.

3.3.5 **Constancias**



Figura 14. Cobertura de semilleros



Figura 15. Riego de plántulas

3.4 Descripción general de las especies arbóreas de la finca municipal Las Manzanillas, Villa Canales.

3.4.1 Presentación

Las instituciones encargadas de la investigación biológica en Guatemala han realizado varios estudios, buscando conocer su riqueza, dinámica y su estado de conservación, estos estudios tienen como finalidad proteger, conservar, regenerar y darles un manejo adecuado a los recursos naturales propios del lugar que forman parte de la riqueza del patrimonio nacional del país.

Si bien existe estudios en áreas de la Cuenca del Lago de Amatitlán es necesario elaborar un estudio técnico actualizado, ya que existe poca información biológica actualizada y además se debe considerar que conforme avanzan los años las condiciones climáticas del lugar cambian.

El fin de este estudio es realizar una descripción general del estrato arbóreo de la finca Las Manzanillas aledaña a el nacimiento del río Las Minas, para contribuir al conocimiento biológico del área, considerando que es un área importante ya que sirve de suministro de agua a varias comunidades del municipio de Santa Catarina Pinula y es parte de la Cuenca del Lago de Amatitlán.

El informe documento y registró sistemáticamente la presencia de especies arbóreas del área, consideradas endémicas y amenazadas, se hará un inventario de las especies con su respectiva descripción, para que esté disponible en la institución y municipalidades especialmente para la priorización de áreas de conservación y detección de áreas críticas y amenazadas.

3.4.2 Objetivo

- Realizar un estudio técnico que permita la descripción del estrato arbóreo de la finca Las Manzanillas.
- Elaborar un inventario de especies arbóreas existentes en la finca Las Manzanillas

3.4.3 Metodología

A. Fase de gabinete inicial

a. Recolección de información

Se recolectó información bibliográfica, fotográfica y cartográfica para fundamentar la base teórica necesaria.

b. Reconocimiento

Se realizó en reconocimiento de área por medio de caminamientos, observación directa y entrevistas con pobladores del área de la microcuenca. Con el uso de mapas temáticos se realizó una clasificación general de las áreas donde existe vegetación.

c. Delimitación del área de estudio

El área de estudio se limitó en base a fotografías áreas y mapas temáticos ubicando los posibles puntos a muestrear por la presencia de vegetación del estrato arbóreo.

B. Fase de campo

a. Muestreo de la vegetación

El método de muestreo que se utilizó consiste en la elaboración de un transecto como se muestra en el (apéndice 1); la selección del área específica de la toma de datos fue de acuerdo a la altitud y uso de la tierra; el transecto se ubicó a largo de áreas donde existe una comunidad vegetal representativa.

b. Datos de recolecta

Se estableció el transecto y la distancia entre cada punto georeferencial para ver el cambio de altitud y se procedió a la toma de datos y en cada punto se anotó las especies que se encontraron.

C. Fase de gabinete final

a. Procesamiento y análisis de la información

De la información que se recolectó se realizó un listado general de las especies del estrato arbóreo y una descripción general de cada una de ellas se debe de realizar un listado general de las especies del estrato arbóreo.

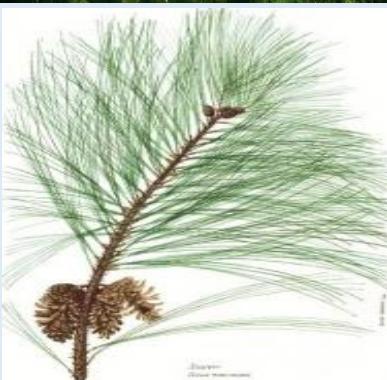
Analizada y procesada la información se documentó en un folleto informativo con los antecedentes de la investigación, la metodología ya validada y los resultados obtenidos.

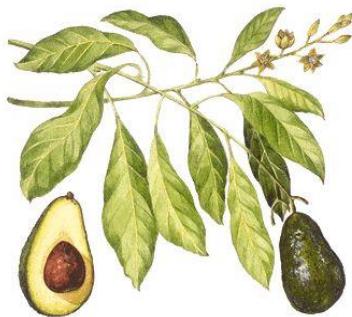
3.4.4 Resultados

Las principales plantas arbóreas de la finca Las Manzanillas se describen en el Cuadro 34.

Cuadro 34. Descripción de las principales plantas arbóreas dentro de la finca Las Manzanillas.

No.	Descripción	Foto
1	<p>Nombre Común: Mazorco Nombre Científico: <i>Oreopanax xalapensis</i> Familia: Araliaceae</p> <p>Árbol de 10 a 18 metros de alto, flores blancas en un racimo largo, frutos globosos dispuestos en racimo de color verde y morado cuando maduran.</p> <p>En Guatemala es un árbol dominante de bosques montanos a alturas de 700 – 2300 msnm.</p>	 

	<p>Nombre Común: Coralillo Nombre Científico: <i>Cytherexylum donnell-smithii</i> Familia: Verbenaceae</p> <p>2 Árbol de hasta 15 metros de alto. Se distribuye del sur de México a Panamá. En Guatemala se encuentra en bosques de pino y encino, 1000 a los 2700 msnm.</p>	
	<p>Nombre común: Pino Nombre Científico: <i>Pinus maximinoi</i> Familia: Pinaceae</p> <p>3 Árbol de hasta 30 – 40 metros de alto. Los conos café son solitarios o en pares, las semillas son aladas y café claro. Del sur de México a Noreste de Nicaragua. En Guatemala se encuentra a alturas de 1500 a 2800 msnm.</p>	 

	<p>Nombre común: Aguacate Nombre científico: <i>Persea americana</i> Familia: Lauraceae</p> <p>Árbol que puede llegar a medir hasta 20 metros con una densa copa, frutos variables tanto en forma como en tamaño.</p> <p>Nativo de América tropical. En Guatemala es un árbol común, muy apreciado. Se cultiva prácticamente a cualquier altura, desde el nivel del mar hasta las áreas montañosas por encima de los 2500 msnm.</p>	 
5	<p>Nombre común: Palo de injerto Nombre científico: <i>Calocarpum viride pittieri</i> Familia:Sapotaceae</p> <p>Árbol de 25 metros, la flor es tubular, de aproximadamente un centímetro de largo, y de color blanquecino o rosáceo, la fruta tiene de 5 a 12 centímetros de largo por 8 de ancho.</p> <p>Se distribuye de Guatemala a Panamá, en bosques entre 1000 a 1800 msnm.</p>	 

	<p>Nombre Común: Cedro Nombre científico: <i>Cedrela odorata</i> Familia: Meliaceae</p> <p>Árbol de hasta de 20 a 35 metros de alto. Las flores son blancas dispuestas en panículas, los frutos son capsulas leñosas dehiscentes.</p> <p>Se distribuye de México al norte de sur América. En Guatemala se encuentra a 1000 msnm o menos en algunas excepciones.</p>	 
7	<p>Nombre común: Roble Nombre científico: <i>Quercus robur</i> Familia: Fagaceae</p> <p>Árbol de 5 a 45 metros de alto, flores masculinas en largos amentos colgantes, Bellotas sentadas lateralmente sobre el largo pedúnculo, algo deprimidas en el ápice, con estrías oscuras.</p> <p>Se distribuye en todo Europa y algunas áreas de América, desde el nivel del mar hasta los 1400 msnm.</p>	 

	<p>Nombre común: Ciprés común Nombre científico: <i>Cupressus lusitanica</i> Familia: Cupressaceae</p> <p>8 Árbol de 30 a 40 metros de alto, conos pedunculares de forma globosa con 6 a 8 escamas Se distribuye del centro de México a Guatemala. En Guatemala ocurre naturalmente de alturas de 2200 a 3300 msnm</p>	 
9	<p>Nombre común: Tempisque Nombre científico: <i>Sideroxylon capiri</i> Familia: Sapotaceae</p> <p>Árbol de 25 a 35 metros de altura, las flores son pequeñas y bisexuales, de color blanco, los frutos son bayas pequeñas de color verde amarillento. Se distribuye del sur de México hasta Panamá desde el nivel del mar hasta los 1500 msnm.</p>	 

10	<p>Nombre común: Taray Nombre científico: <i>Eysenhardtia adenostylis</i> Familia: Fabaceae</p> <p>Árbol de 4 a 15 metros de altura, las flores son racimos de color blanco, los frutos son vainas lisas</p> <p>Se distribuye de Estados Unidos hasta México desde los 150 a 3000 msnm.</p>	 
11	<p>Nombre común: Níspero Nombre científico: <i>Eriobotrya japonica</i> Familia: Rosaceae</p> <p>Árbol de 6 a 8 metros de altura, inflorescencias en panículas de color blanco, fruto poma de color amarillo a naranjado.</p> <p>Se distribuye del norte de Suramérica a México, en Guatemala se encuentra de los 900 a 1200 msnm.</p>	 

	<p>Nombre común: Durazno Nombre científico: <i>Prunus persica</i> Familia: Rosaceae</p> <p>12 Árbol de 6 a 8 metros, las flores son solitarias o geminadas y con numerosas brácteas, el fruto es una drupa</p>	
--	--	--

3.5 Jardinización en el centro de capacitación y recreación de AMSA y plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas dentro de la cuenca del lago de Amatitlán.

3.5.1 Presentación

El jardín es un complemento necesario e inevitable para proporcionar confort y belleza a un complejo habitacional o de otra índole ya que acentúa su estilo y marca la influencia del mismo, pudiéndose remontar a los estilos de la antigüedad. Los estilos pueden influir y hasta cambiar la concepción propia del elemento constructivo, sin dejar de marcar cual es la influencia que más predomina. (Martínez, 2012).

En la actualidad la falta de conciencia ambiental, de cultura de jardín y de defensa de la naturaleza ha hecho que no se le preste la atención debida al tema de jardines y zonas verdes tanto en espacios públicos como privados.

En la institución las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se encuentran en mal funcionamiento, tanto su sistema de tratado de aguas como el área donde se encuentra, considerando el eje estratégico de contaminación hídrica las acciones a tomar son la recuperación de las plantas de tratamiento, y tomando en cuenta que se realizan varias visitas de campo, solicitadas por el sector público y privado para fines educativos, por lo que surge la idea de jardinizar las áreas verdes donde se encuentran las plantas de tratamiento.

Los sistemas de tratamientos de aguas generan un mal olor y atrae a muchos insectos (moscas, mosquitos y zancudos) por lo que se elaboró el diseño de jardines en dos plantas de tratamiento que fueron rehabilitadas, mejorando el aspecto visual, disminuyendo el impacto negativo que se genera en las visitas por el mal olor de estos sistemas.

Así mismo AMSA cuenta con un área verde a un costado de la desembocadura del río Villalobos, el área se utilizaba para dar recorridos de campo y capacitaciones, pero con el tiempo fue abandonado, actualmente se encuentra con basura ya que no se le dio el mantenimiento debido, la actual administración vio la necesidad de recuperar el área ya que la mayoría de proyectos que realiza la institución están en el cauce y desembocadura del río Villalobos, la finalidad de recuperar el espacio es para realizar giras de campo educativas y dar capacitaciones de la situación actual del lago de Amatitlán a diferentes sectores estudiantiles y empresariales.

3.5.2 Objetivos

- Recuperar el área del centro de capacitación y recreación de AMSA, para realizar actividades de concientización ambiental y giras de campo.
- Minimizar el impacto visual de las personas que trabajan y visitan las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales.

3.5.3 Metodología

A. Fase de gabinete inicial

a. Recolección de información

Se recolectó información bibliográfica, fotográfica (imágenes satelitales) y planos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

b. Reconocimiento

Se realizó un reconocimiento de área por medio de una visita de campo.

c. Diseño de jardines

Con la información recolectada específicamente con los planos de las plantas, se procedió al diseño de jardín, para luego ejecutarlo en campo.

Luego de que se establecieron los diseños correspondientes se procedió a adquirir las plantas que se utilizarían para elaborar los jardines, para ello se realizó la gestión ante la Universidad de San Carlos de Guatemala quien nos proporcionó un total de 1,000 plantas.

A. Fase de campo

a. Elaboración de jardín

Se identificó el área a trabajar en la jardinería, se procedió a distribuir al personal de campo, para realizar las actividades de limpieza de terreno y elaboración de agujeros.

Se sembraron las plantas ornamentales en cada área de diseño, se regaron y como fertilizante se utilizó los lodos de las plantas de tratamiento.

3.5.4 Resultados

A. Centro de capacitación y recreación de AMSA

Diseño de jardín del centro de capacitación y recreación de AMSA, luego de establecer el diseño se procedió a limpiar el terreno y luego jardinizar, así mismo se habilitó un espacio de un rancho para impartir las charlas de educación ambiental.

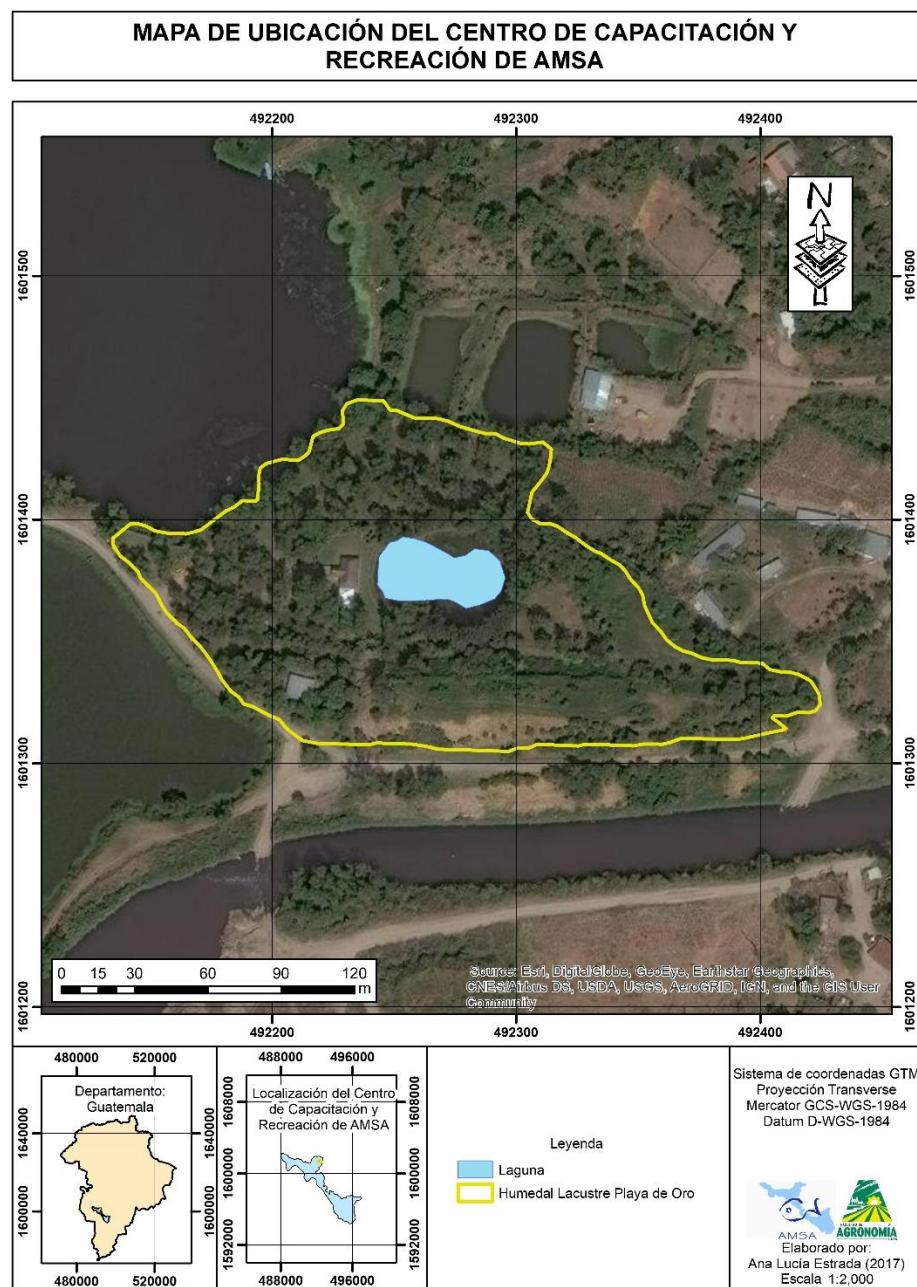


Figura 16. Ubicación del Centro de Capacitación y Recreación de AMSA.

3.5.5 Constancias



Figura 17. Abandono del área el humedal, utilizado como basurero clandestino.



Figura 18. Elaboración de senderos para proteger los jardines y brindar seguridad por la laguna.

B. Planta de tratamiento de aguas residuales San Agustín las Minas

Diseño de jardín en la planta de tratamiento de la finca San Agustín las Minas, Villa Canales, las principales plantas que se utilizaron fueron: Duranta, palmera, colchón de niño, hierbilla, vetiver, torreliana, capa de rey, crotos y grama, distribuidas en diferentes áreas.



Figura 19. Diseño de jardín de la planta de tratamiento de aguas residuales San Agustín Las Minas, Villa Canales.



Figura 20. Jardinización del área verde de la planta de tratamiento de aguas residuales San Agustín Las Minas, Villa Canales.



Figura 21. Caminamientos y jardinización en la planta de tratamiento de aguas residuales San Agustín Las Minas, Villa Canales.

C. Planta de tratamiento de aguas residuales Santa Isabel

Diseño de jardín en la planta de tratamiento Santa Isabel, Villa Nueva, para obtener las plantas ornamentales, se realizó la gestión ante la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se obtuvo una donación de 1000 plantas ornamentales, siendo las siguientes: crotos, capa de rey, colchón de niño, bulbinella, hierbillla, senecio, cola de pescado, hilamo, entre otros

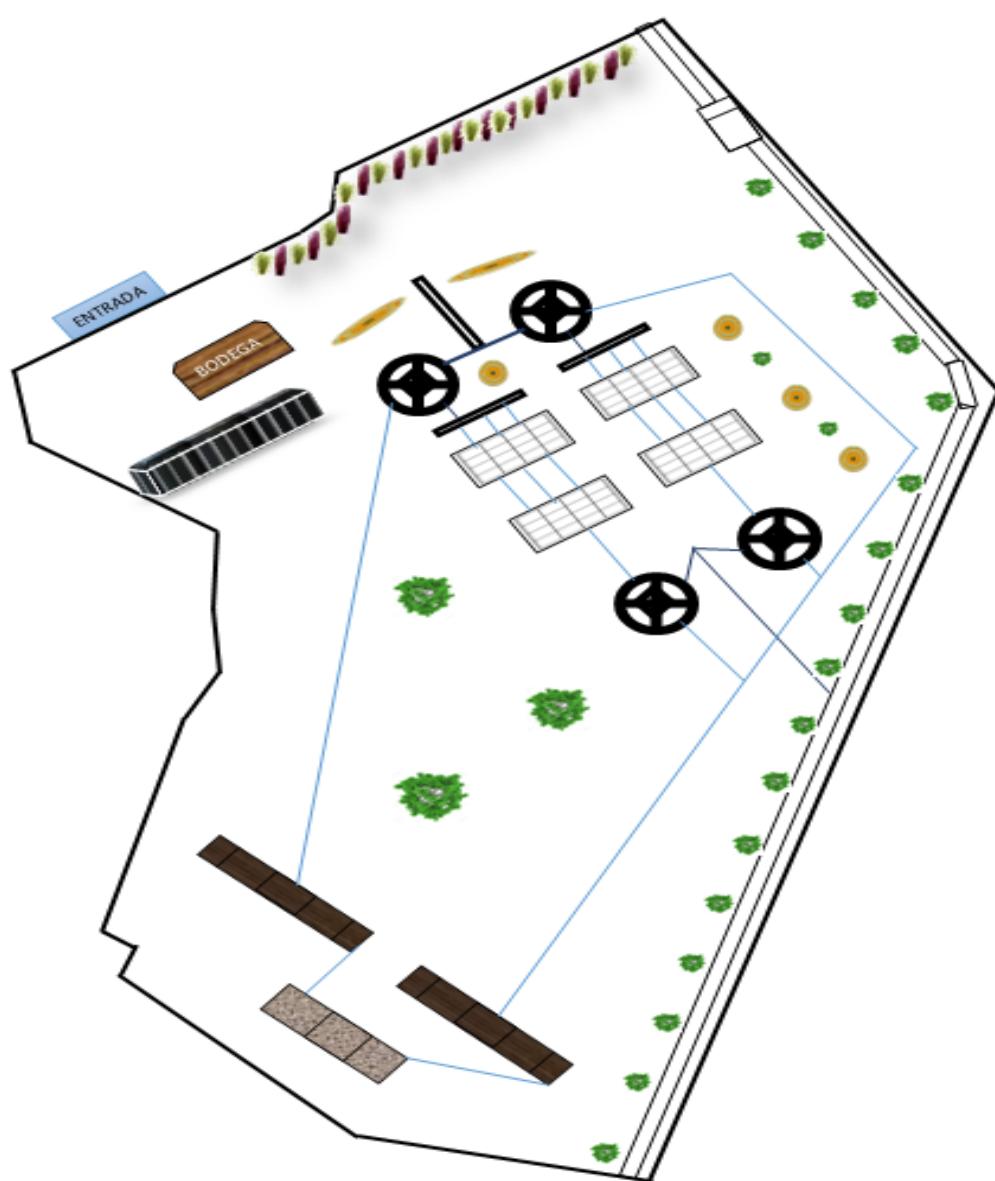


Figura 22. Croquis de las áreas a jardinar en la planta de tratamiento de aguas residuales Santa Isabel II



Figura 23. Traslado de plantas ornamentales de la Universidad de San Carlos de Guatemala a la planta de Tratamiento Santa Isabel II.



Figura 24. Siembra de plantas ornamentales para jardinizar la planta de tratamiento de aguas residuales Santa Isabel II.

3.6 Bibliografía

1. Alcaraz Ariza, FJ. 2013. El método fitosociológico. España, Universidad de Murcia. 3 p. Disponible en: <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema11.pdf>
2. Castañeda, CA. 1997. Estudio florístico en el parque Nacional Laguna Lachuá: Alta Verapaz, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 6-8.
3. Decomundo. 2017. La jardinización en los proyectos arquitectónicos y su importancia. España. Disponible en: <http://www.decomundo.es/jardinizacion-en-proyectos-arquitectonicos/>
4. Martínez Trejo, AL. 2012. Manual de criterios de diseño en jardines urbanos. Tesis Arq. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3324.pdf
5. Pineda Herrera, RT. 2004. Estudio florístico de las especies arbóreas y arbustivas en la zona intangible del volcán Ipala, Ipala, Chiquimula y Agua Blanca, Jutiapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 3-5. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2142.pdf

A circular stamp with the text "FAUSAC" in the center. Around the center, the words "TESIS Y DOCUMENTOS DE GRADUACIÓN" are written in a circle, and "REVISIÓN" is at the bottom. Handwritten in cursive over the stamp is the name "Rodrigo Barrios".

3.7 Anexos



Figura 25A. Siembra de semillas en semillero



Figura 26A. Riego de semillero



Figura 27A. Preparación del terreno



Figura 28A. Elaboración de sustrato



Figura 29A. Llenado de bolsa y siembra de semilla



Figura 30A. Desmalezado



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
 Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 03/2020

EL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO:
**"DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA
 NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
 LAS MINAS, GUATEMALA, C.A."**

DESARROLLADO POR LA ESTUDIANTE: **ANA LUCÍA HERNÁNDEZ ESTRADA**

CARNE: **201210539**

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Dr. Isaac Herrera Ibáñez
 Dr. Tomás Padilla Cámbara
 Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Dirección del Área Integrada para lo procedente.

Dr. Tomás Padilla Cámbara
 ASESOR ESPECIFICO

Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
 DOCENTE - ASESOR EPS

Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
 DIRECTOR DEL IIA



WNR/nm
 c.c. Archivo

Edificio T-8, Of. A-10 y A-15 Ciudad Universitaria, Zona 12.
 Guatemala, C. A. 01012 Apartado Postal 1545.
 Teléfono: (502) 2443-9504 y 05. Fax: (502) 2476-9794 Correo-e: iiadmst@yahoo.com.mx



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA –EPS–



Guatemala, 13 de julio de 2020.

**TRABAJO DE GRADUACIÓN: DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL
DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LAS MINAS, DE LA CUENCA DEL LAGO DE
AMATITLÁN, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS PRESTADOS A LA AUTORIDAD PARA
EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA),
GUATEMALA, C.A**

**ESTUDIANTE: ANA LUCÍA ESTRADA HERNÁNDEZ
No. CARNÉ 2012 10539**

Dentro del Trabajo de Graduación se presenta el Capítulo II que se refiere a la Investigación Titulada:
**DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA
DEL RÍO LAS MINAS, DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN, GUATEMALA,
C.A**

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.

"Id y enseñad a Todos"


Vo. Bo. Dr. Marco Víctor Fernández Montoya
Coordinador Área Integrada – EPS

cc.archivo



No. 10-2020

Trabajo de Graduación:	"DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LAS MINAS, DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS PRESTADOS A LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN (AMSA), GUATEMALA, C.A."
Estudiante:	Ana Lucía Estrada Hernández
Carné:	201210539



Decanato Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Edificio T-9, Segundo Nivel, Ciudad Universitaria, Zona 12. Teléfono Directo (502) 24189302 Planta: (502) 24188000 Extensión 93002