

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**INFORME FINAL DE LO REALIZADO DURANTE EL EJERCICIO PROFESIONAL
SUPERVISADO –EPS-, EN LA SUBREGIÓN V-1 DEL INAB EN SACATEPÉQUEZ Y
LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL, SUBCUENCA DEL
LAGO DE AMATITLÁN.**

NERY BOANERGES GUZMÁN AQUINO

Nueva Guatemala de la Asunción, mayo de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

**INFORME FINAL DE LO REALIZADO DURANTE EL EJERCICIO PROFESIONAL
SUPERVISADO –EPS-, EN LA SUBREGIÓN V-1 DEL INAB EN SACATEPÉQUEZ Y
LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL, SUBCUENCA DEL
LAGO DE AMATITLÁN.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

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

POR

NERY BOANERGES GUZMÁN AQUINO

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Nueva Guatemala de la Asunción, mayo de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR MAGNÍFICO

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano
VOCAL CUARTO	P. Forestal. Axel Esaú Cuma
VOCAL QUINTO	P. Contador. Carlos Alberto Monterroso Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Agr. MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Nueva Guatemala de la Asunción, mayo de 2011

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

Honorables miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado,

INFORME FINAL DE LO REALIZADO DURANTE EL EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO –EPS-, EN LA SUBREGIÓN V-1 DEL INAB EN SACATEPÉQUEZ Y LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL, SUBCUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN.

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación cuente con los requerimientos para su aprobación, me suscribo,

Atentamente;

“ ID Y ENSEÑAD A TODOS ”

Nery Boanerges Guzmán Aquino

ACTO QUE DEDICO

A:

LA TRINIDAD SANTA

DIOS PADRE, HIJO Y ESPIRITU SANTO.
Por darme la vida, una familia, amor, compañía; por ésta y todas las bendiciones de mi vida.

MIS PADRES

NERI R. GUZMÁN MONTERROSO &
ANA MARÍA AQUINO DE GUZMÁN.
Por su incondicional apoyo; como una muestra de amor y pequeña recompensa a sus esfuerzos y sacrificios de cada día.

MI HERMANA MAYOR

CLEMENCIA ANAHÍ. Por su valioso apoyo durante mi carrera, como muestra de cariño y agradecimiento.

MIS HERMANOS MENORES

HELDER WILFREDO Y MARÍA MARBELY.
Como motivación a que logren mucho más, para que sigan adelante en sus estudios, con mucha dedicación y perseverancia, y que así cumplan sus mayores propósitos.

FAMILIA QUEVEDO MUÑOZ

Por su apoyo, cariño, motivación y comprensión a lo largo de mi carrera, como una muestra de cariño y agradecimiento, muchas gracias tío, tía primos y primas.

MIS AMIGOS Y AMIGAS

Por que a lo largo de nuestro estudio y convivencia en las aulas de la gloriosa FAUSAC, se cultivó una amistad para toda la vida.

MIS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN

Por esos recuerdos inolvidables como estudiantes y como amigos, que nos marcan e identifican toda la vida.

MI FAMILIA Y AMIGOS EN GENERAL

En muestra de cariño, amor fraterno, respeto y como símbolo de que cada uno en particular significa mucho para mí.

TRABAJO QUE DEDICO

A: LA TRINIDAD SANTA QUE ES UN SOLO DIOS.

LA SIEMPRE VIRGEN MARÍA NUESTRA MADRE Y AMOROSA INTERCESORA.

MI PATRIA AMADA, GUATEMALA.

LA GRANDE ENTRE LAS DEL MUNDO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

LA GLORIOSA, FACULTAD DE AGRONOMÍA.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES CON SEDE EN SACATEPÉQUEZ Y EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL.

A MIS PROFESORES Y PROFESORAS, POR QUE LOS RECORDARE CON MUCHO CARÍÑO Y AGRADECIMIENTO, POR COMPARTIR CON MIGO SUS ENSEÑANZAS Y AMISTAD.

MIS AMIGOS Y AMIGAS (MASHI, SARGENTO, ANTIGUA, POLICIA, CATOCHA, MASA, CHILO, GARFIELD, MANITAS, AXPUC, PASACO, ERMITAÑO, EL ENANO, CHINO, CRISPIN, CANAS, MUNRA, CANDIDA, CHAHIM, MAIRA AGUILAR, PAOLITA, FLORECITA CALDERON, ANITA CASTELLANOS, LINDA PAOLA LEAL, GLENDA, GRAMAJO, CHOMBO, MARIO BROSS, TAHUICO, GABI ORTIZ, GABI CASTELLANOS, CRISTINA BARILLAS, LOREN FLORES, HENRRY, YENNY SILVA, FERCHO BARILLAS, RAFITA MOREIRA, VIKY, LIZ ARCHILLA, CUACHE, DIMITRI, IRELDA, ANALU, TAVO ROSAL, PACO Y LA VANE, LOREN VIVIANA, MONICA EBERT, DE GANDARIAS, LITO, LITROS, CATRIN, POLICARPO, DANIEL ONAN, MUERTO, AVA GABRIELA.) COMPAÑEROS, COMPAÑERAS Y TODAS LAS PERSONAS QUE NO MENCIONO; PERO QUE IGUAL FUERON GRATA COMPANIA Y APOYO DURANTE MI FORMACIÓN.

AGRADECIMIENTOS

A: Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo que son fortaleza, amor y compañía; así también a nuestra Intercesora, nuestra Madre la siempre Virgen María.

Mis padres, hermanas y hermano, mis tíos y tías, primos y primas, mis amigos y amigas; porque de muchas maneras me ayudaron a cumplir esta meta.

Mis catedráticos (as) por compartir su tiempo y conocimientos; a mis asesores de investigación: Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona, Ing. Agr. MSc. Pedro Peláez Reyes e Ing. Agr. Elián Jacobo Cotto Guzmán, por su asistencia técnica, acompañamiento y orientación en la realización de la investigación y el EPS, a todos y todas muchas gracias por su amistad, compañerismo y apoyo brindado en mi formación profesional.

Ing. Agr. José Gilberto Cifuentes Barrientos, por darme la oportunidad de participar en el proyecto de investigación forestal, su apoyo sincero y don de gentes manifestado en múltiples ocasiones; así como valiosos consejos para mi formación profesional, (muchas gracias).

Ing. Agr. Víctor Hermógenes Castillo, por sus consejos, apoyo, motivación y comprensión; que fueron indispensables para culminar el presente trabajo.

Dr. David Monterroso Salvatierra, por compartir su experiencia y sabiduría así como sus valiosos aportes y observaciones en la revisión final del documento de graduación.

Al Ing. Agr. Tomas A. Padilla C., y Juan C. Fuentes M., por el apoyo brindado y facilitarme información para la realización de la investigación.

Personal técnico de la Subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques: Inga. Agra. Silvia Noelia Terreaux Núñez y Germán Mérida; así también a Mayra y Claudia; a todo el personal, muchas gracias por su amistad y apoyo brindado en el transcurso de la investigación y el EPS.

Al Proyecto de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques -INAB- por brindarme el apoyo económico para la realización del presente trabajo.

Al personal de la oficina de agua y de planificación municipal de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez por su acompañamiento en campo, así también la municipalidad de Villa Nueva, Mixco, San Bartolomé Milpas Altas, Santiago Sacatepéquez y Santa Lucia Milpas Altas, por facilitarme la obtención de la información.

A todas las personas que contribuyeron a la realización del presente trabajo, a los dirigentes comunitarios de Choacorrál, a los propietarios y encargados de los terrenos, fincas (La Esmeralda, Xelajú, Suiza Contenta, Labor de Castilla I y II, La Selva, La Embaulada, El Calvario, El Parque Cerro Alux) lotes y cada una de las viviendas; por autorizarme el acceso y la toma de datos.

ÍNDICE GENERAL

I. LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS..... i

II. PRESENTACIÓN iii

CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO

Caracterización preliminar del recurso hídrico en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal..... v

CAPÍTULO II: INVESTIGACIÓN

Delimitación preliminar de las zonas de captación y regulación hidrológica de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal..... 69

CAPÍTULO III: SERVICIOS

SERVICIO 1:

Jornada de charlas ambientales a grupos de hombres y mujeres dirigentes comunitarios (as) y estudiantes de nivel primario y básico..... 251

SERVICIO 2:

Compilación de información acerca de los recursos naturales existentes en el área del municipio de Santa Lucia Milpas Altas del departamento de Sacatepéquez..... 267

SERVICIO 3:

Apoyar de forma técnica las labores de la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques, en Sacatepéquez..... 287

SERVICIO 4:

Desarrollar un plan de trabajo para la caracterización de la industria forestal en la subregión V-1 del INAB en Sacatepéquez 291

I. LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AMSA	Autoridad para el Manejo Sostenible del Lago de Amatitlán
BID	Banco interamericano de desarrollo
CALAS	Centro de acción legal ambiental y social
CC	Capacidad de campo
CEFE	Proyecto de Ecosistemas Forestales Estratégicos
CEPREDENAC	Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central
CINFOR	Centro de Información y Documentación Forestal
COCODE	Consejo Comunitario de Desarrollo
COMUDE	Consejo de Mujeres para el Desarrollo
CUT	Capacidad de uso de la tierra
Dap	Densidad aparente
DHP	Distancia horizontal mínima permisible
DIRYA	Dirección Técnica de Riego y Avenamiento
Dreal	Densidad real
DRP	Diagnóstico Rural Participativo
ENCA	Escuela Nacional Central de Agricultura
EPS	Ejercicio Profesional Supervisado
ETP	Evapotranspiración potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FAUSAC	Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
GT	Guatemala
GTM	Transversal de Mercator para Guatemala.
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INE	Instituto Nacional de Estadística
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
ODM	Objetivos de Desarrollo del milenio
OMP	Oficina municipal de planificación
OMP's	Oficinas municipales de planificación
PAFG	Plan de acción forestal para Guatemala
PIB	Producto interno bruto

PMIRH	Plan de manejo integrado de los recursos hídricos
PMP	Punto de marchitez permanente
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo
POT	Plan de ordenamiento territorial
PP	Precipitación pluvial
SEPREM	Secretaria Presidencial de la Mujer
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
TC	Taza de crecimiento
TFRCH	Tierras forestales de regulación y captación hidrológicas
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
UPIE	Unidad de Políticas e Información Estratégica
URL	Universidad Rafael Landivar
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

**INFORME FINAL DE LO REALIZADO DURANTE EL EJERCICIO PROFESIONAL
SUPERVISADO –EPS- EN LA SUBREGIÓN V-1 DEL INAB EN SACATEPÉQUEZ Y
LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL, SUBCUENCA DEL
LAGO DE AMATITLÁN.**

II. PRESENTACIÓN

El área de estudio se constituye como zona de recarga hídrica con prioridad de conservación; por tratarse de un área protegida de bosques y manantiales; así mismo se constituye como cabecera de cuenca del río María Linda, a la que drena gran parte del territorio de la ciudad capital de Guatemala, por lo que juega un papel muy importante con fines de planificación y conservación.

A raíz de una caracterización del recurso hídrico, que se encuentra en el Capítulo I de este documento y fue realizada en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal; se determinó que estas; se constituyen como unidades hidrográficas de mucha importancia, ya que en ella se encuentra gran cantidad de manantiales; además que posee considerable cantidad del componente boscoso de la región y su cercanía a la capital de Guatemala; así también los flujos de agua de allí, son tributantes del río Villalobos y este a su vez a la subcuenca del lago de Amatitlán.

Actualmente con la degradación de la cobertura vegetal y suelo, a razón del avance de la frontera agrícola, la urbanización y la presión socioeconómica en la región, se están alterando las condiciones que favorecen la recarga hídrica, por lo cual se reduce la disponibilidad del agua y su capacidad de renovación como recurso natural.

Con base en lo anterior, surgió la necesidad de realizar la investigación con nombre *“Delimitación preliminar de las zonas de captación y regulación hidrológica de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, cuenca del lago de Amatitlán”*, que forma parte del Capítulo II del presente documento; investigación en la que se delimitaron las áreas donde ocurre recarga hídrica; así también las proporciones en las que este evento se realiza, obteniendo por medio de ello la clasificación de dichas áreas, que va desde Muy Alta, Alta, Media, Baja y Nula o no estimada recarga hídrica. Así también se determinó la situación del acuífero en torno de la cantidad de extracción y/o aprovechamiento del recurso hídrico, brindando con ello recomendaciones al respecto.

Las áreas de recarga hídrica de mayor consideración son las clasificadas como de Muy Alta recarga hídrica, ya que en estas zonas se produce el 83.27 % (125.11 mm.) de la recarga total que corresponde a 150.24 mm., esto representa un total de **9,402,700.09 m³** al año que equivale a un 13.39 % del total de entradas por concepto de precipitación. Estas áreas poseen alta susceptibilidad de disminuir su capacidad de recarga, si son sometidas a cualquier alteración en su medio; por lo que se identifican como *áreas críticas*; las cuales en su mayoría se ubican en la parte alta del área en estudio, donde los terrenos poseen altas pendientes y cobertura forestal.

Con base en lo anterior se hace una propuesta de lineamientos de manejo, que busca brindar un aprovechamiento racional del recurso hídrico y la protección de las áreas de recarga hídrica delimitadas en este trabajo, para lo que se propuso mejorar las condiciones de cobertura forestal y hacer hincapié en el contexto político, social y cultural de las localidades que conforman el área de estudio, para que así se pueda fortalecer la organización y la concienciación ambiental de la población; así también velar por proteger el agua superficial y subterránea, implementar la construcción o habilitación de infraestructura para el tratamiento y conducción de las aguas residuales, así como apoyar e impulsar investigaciones relacionadas con los recursos naturales y su manejo.

En el Capítulo III de servicios institucionales, se abordaron temas relacionados con los recursos naturales, apoyo técnico a la subregión del INAB, apoyo en cuanto a formación y capacitación en temas ambientales de algunos sectores de la población de San Lucas Sacatepéquez, así como la elaboración de herramientas que facilitaran al INAB, la obtención de información y monitoreo del sector forestal.



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO

**CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL APROVECHAMIENTO Y
DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LAS
MICROCUENCAS DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL**

ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL CAPÍTULO I

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema.....	2
3. Objetivos	3
3.1. General.....	3
3.2. Específicos	3
4. Metodología.....	4
4.1. Procedimiento	4
4.1.1. Etapa Teórica.....	4
4.1.2. Etapa de Reconocimiento.....	4
4.1.3. Etapa documental.....	4
4.1.4. Etapa Práctica generativa.....	4
4.1.5. Etapa de Compilación y análisis de la información.....	5
4.1.6. Etapa de Delimitación de la problemática.....	5
4.2. Materiales.....	5
5. Resultados	6
5.1. Localización del área de estudio	6
5.2. Educación.....	7
5.3. Salud.....	8
5.4. Turismo	8
5.5. Cultura.....	9
5.6. Hidrografía.....	9
5.7. Relieve	11
5.7.1. Topografía y orografía.....	12
5.8. Vías de acceso.....	12
5.9. Demografía.....	12
5.10. Geología.....	15
5.11. Suelos	15
5.11.1. Orden Alfisol (Alf).....	17
5.11.2. Orden Andisol (And).....	18
5.11.3. Orden Entisol (Ent).....	19
5.11.4. Orden Inceptisol (Int).....	21
5.12. Fisiografía.....	20
5.13. Clima	23
5.14. Población.....	24
5.15. Historia	28
5.16. El suelo y sus usos.....	28
5.17. Los desastres naturales en el área de estudio	31
5.18. Caracterización preliminar del recurso hídrico.	34
5.18.1. Demanda actual de agua	38
5.18.1.1. Consumo humano.....	38
5.18.1.2. Uso agrícola.....	44

5.19. Problemática de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal	44
5.19.1. Problemas identificados	44
5.19.1.1. Medio ambiente (en general)	44
5.19.1.2. Salud	44
5.19.1.3. Agua	45
5.19.1.4. Bosque y agricultura	45
5.19.1.5. Organización social	45
5.19.1.6. Económico	45
5.19.2. Priorización y síntesis de la problemática	46
5.19.3. Descripción de la problemática	47
5.19.3.1. Problemas priorizados	47
5.20. Aportes técnicos	61
6. Conclusiones	64
7. Recomendaciones	65
8. Bibliografía	66
9. Apéndices	67

ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO I

Nombre	Página
Cuadro 1. Detalle de las etapas y los materiales a utilizar en cada fase de trabajo para la elaboración de la presente caracterización.	5
Cuadro 2. Detalle de la población existente (proyectada) por categoría del lugar y por sexo para las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	13
Cuadro 3. Detalle resumen de la población por sexo, existente en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	14
Cuadro 4. Registros climáticos de la estación climática de la ENCA, en Bárcena, Villa Nueva, para la parte media y baja de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	23
Cuadro 5. Registros de climáticos de la estación Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez, para la parte alta de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	24
Cuadro 6. Detalle de la población y pertenecía étnica; por lugar y categoría para las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	26
Cuadro 7. Detalle del grupo étnico al que pertenece la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	27
Cuadro 8. Existencia de fuentes de agua para uso humano por población en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	35
Cuadro 9. Poblados y población proyectada para el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	38
Cuadro 10. Proyección de la demanda de agua para consumo humano en las comunidades de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	42
Cuadro 11. Delimitación de problemas encontrados en el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	46
Cuadro 12. Priorización de proyectos	62
Cuadro 13A. Cronograma de actividades	67

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO I

Nombre	Página
Figura 1. Mapa de localización del área de estudio, microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	7
Figura 2. Mapa hidrográfico de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal	10
Figura 3. Proporción de hombres y mujeres dentro de la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	15
Figura 4. Mapa de Geología de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	16
Figura 5. Mapa de Taxonomía de suelos de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	20
Figura 6. Mapa de Fisiografía de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal	22
Figura 7. Mapa de uso de la tierra 2008, de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	29
Figura 8. Mapa de intensidad de uso de la tierra de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	32
Figura 9. Distribución y extracción del servicio de agua en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal	36
Figura 10. Mapa de ubicación de pozos y manantiales de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	37
Figura 11. Árbol problema 1 “Alta degradación del recurso suelo”.....	49
Figura 12. Árbol problema 2 “Alta contaminación del agua superficial”	50
Figura 13. Árbol problema 3 “Uso inadecuado del bosque”	51
Figura 14. Árbol problema 4 “Deficiente sistema de organización social”	53
Figura 15. Árbol problema 5 “Deficiencia de suministro de agua para consumo humano”	54
Figura 16. Árbol problema 6 “Bajo nivel económico”	55
Figura 17. Árbol problema 7 “Ineficiencia en la Red Vial”	56
Figura 18. Árbol problema 8 “Alta tasa de Desempleo”	57
Figura 19. Árbol general de problema “Deficiente gestión del recurso hídrico que afecta las condiciones socioeconómicas y ambientales de las microcuemcas de los ríos San Lucas y El Arenal”.....	60

1. INTRODUCCIÓN

La influencia antropogénica constituye un factor importante en la alteración de los ecosistemas naturales. En el área de estudio; la manera de cómo el ser humano destruye o altera el equilibrio ecológico de su entorno; principalmente es mediante “La urbanización¹”.

El incesante y desmedido cambio del uso de la tierra debido al creciente proceso de urbanización, desencadena la merma en la cantidad y capacidad de recarga hídrica y regeneración natural de los depósitos subterráneos del área. Las características físicas de los suelos demuestran en gran parte la susceptibilidad de los mismos ante estos cambios, en estos lugares se eleva el proceso de degradación de los suelos y la disminución de las fuentes de agua, a causa de la merma en los niveles freáticos (según Asturias, 2006) generando un “conflicto de agua” que se observa agravante para un futuro a corto y mediano y largo plazo.

El área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, posee una gran importancia en cuanto al recurso hídrico, por su vocación forestal y de recarga hídrica; esta misma se constituye como cabecera de cuenca; así también en ella se encuentra el área de mayor influencia en materia de captación y regulación hidrológica, debido a la orografía (según INAB, 2003); en esta área se cuenta con numerosas extracciones y aprovechamientos de agua, mismas que no se encuentran contabilizadas ni cuantificado el caudal.

Con base en lo anterior se realizó la presente caracterización de la zona, la cual por medio de investigación en campo, cuya información se colectó con entrevistas y encuestas, teniendo el apoyo e información de las OMP's, oficinas de agua de cada municipalidad, el INE, observaciones e inspecciones en el lugar; así como jornadas de aforo a los manantiales y pozos del área en estudio; aspectos que permitieron obtener un panorama del área en materia del recurso hídrico y su entorno social; para así proponer soluciones, corregir problemas y coadyuvar al manejo integrado del recurso hídrico.

¹ Al menos para el área de estudio y los sectores aledaños a la ciudad capital de Guatemala, debido a diversos factores sociales, como el crecimiento demográfico, flujos migratorios y ausencia de ordenamiento territorial.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, componente hidrogeológico y geopolítico muy importante en el ámbito de conservación; cuenta con parte del área de protección de manantiales (según SIGAP) del Cerro Alux (aproximadamente 5 % del área en estudio, según mapa de cobertura vegetal del MAGA, 2003) misma que se constituye como zona de protección de manantiales.

Con base en lo anterior se hizo necesario realizar la presente caracterización enfocada al recurso hídrico, actividad que permitió ubicar y delimitar la problemática y contribuir a la mitigación de los conflictos de esa zona, mismos que a la vez están ligados al desarrollo rural comunitario de los lugares o poblados del área. Con la misma, se estimaron los impactos y efectos a corto, mediano y largo plazo, tanto de la urbanización, la disminución de la infiltración, así como la pérdida de la cobertura vegetal, que repercute en la cantidad de recarga hídrica y la disponibilidad de agua para la población.

En el área se demandan una gran cantidad de recursos naturales; situación que va en aumento ya que se sufre un proceso de urbanización creciente, debido a la explosión demográfica de los últimos años, que aunado a la urbanización, han sobrepasado los límites mismos de la ciudad capital de Guatemala y ha alcanzado las poblaciones vecinas que se encuentran dentro del área en estudio, situación que es fácil observar hoy en día.

Los anteriores conflictos están muy asociados a impactos en la cantidad y disponibilidad del recurso hídrico que se traduce en un problema que es de vital importancia gestionar la solución, debido a que es un área donde se ha incrementado la pavimentación, el área de techos por la urbanización; esto disminuye la infiltración del agua y su capacidad de renovación como recurso natural.

La magnitud del impacto hidrológico no se ha determinado aun con exactitud, solo se pueden ver los efectos derivados del mal uso u ordenamiento de la tierra, tales como: aumento del agua de escorrentía y erosión de los suelos, disminución de caudales y fuentes de agua, contaminación del entorno con desechos sólidos y líquidos, la disminución de la cobertura forestal junto a sus efectos; que juntos desencadenan una gran serie de problemas a nivel social y ambiental.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Determinar las características en las que se encuentra el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, en torno de la extracción y distribución del recurso hídrico.

3.2. Específicos

- 3.2.1. Compilar información biofísica del área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.
- 3.2.2. Conocer el caudal de extracción y la cantidad de manantiales que se encuentran en el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.
- 3.2.3. Realizar un análisis de la problemática delimitada con la caracterización y proponer soluciones técnicas viables a las mismas.

4. METODOLOGÍA

4.1. Procedimiento

Para la realización de la caracterización en materia hídrica, en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal; se desarrollaron múltiples etapas, dentro de las cuales se describen las siguientes:

4.1.1. Etapa teórica

Esta fase se realizó por medio de revisiones a literatura existente sobre temas relacionados, investigados y/o trabajados con anterioridad y que sirven como antecedentes del mismo, en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, Mixco, Villa Nueva, Santiago Sacatepéquez y San Bartolomé Milpas Altas, así como en el centro de investigación y documentación forestal -CINFOR- y el CEFE del INAB, así como la biblioteca de la Facultad de Agronomía y la USAC.

Se visitó a las municipalidades, a instituciones y empresas presentes en el área de estudio; para compilar información que ellos poseen relacionada al tema de trabajo, tales como AMSA, INDE, INSIVUMEH, ENCA y otros.

4.1.2. Etapa de reconocimiento

Se hizo un recorrido para conocer el área y ubicar las corrientes como los nacimientos o manantiales. Luego de ello se delimitaron las áreas con problema y que requieran intervención y mejora, empleando criterios técnicos que se darán al final como resultado de una investigación.

4.1.3. Etapa documental

En esta etapa se elaboraron las encuestas, se estructuraron las entrevistas y todo el material y documentación que sirvieron como herramienta para compilar la información no disponible en municipalidades.

4.1.4. Etapa práctica generativa

En esta fase se aplicaron las técnicas de diagnóstico e investigación que permitieron extraer la información de la comunidad, misma que estuvo auxiliada de las herramientas generadas en la etapa anterior, tales como encuestas, entrevistas con el fin de diagnosticar la situación de las comunidades.

Se realizaron acercamientos con los dirigentes comunitarios, los coordinadores de COCODES, COMUDES, Municipalidades, Empresas, Instituciones y otros establecimientos en la zona de estudio.

Se visitaron las comunidades, localizando los nacimientos de agua (manantiales) y estableciendo un conteo de los mismos, que a la vez sirvió para corroborar y actualizar lo investigado en las fases previas.

4.1.5. Etapa de compilación y análisis de la información

En esta fase se reunió toda la información, se analizó y determinó su importancia así como su relevancia para colocar en el documento elaborado que se constituye como la caracterización o diagnóstico del área en estudio. Se tabuló la información y se analizaron los cuadros y encuestas elaborados, que permitieron la edición de mapas y gráficos para su presentación y explicación.

4.1.6. Etapa de delimitación de la problemática

En esta fase se desarrollaron las etapas de investigación, generación y análisis de la información; de tal manera que permitieron delimitar los problemas de las comunidades, realizando Diagnósticos Rurales Participativos –DRP-, técnica que permitió involucrar a los dirigentes comunitarios de las localidades y proporcionar información de calidad a la caracterización.

4.2. Materiales

Cuadro 1: Detalle de las etapas y los materiales a utilizar en cada fase de trabajo para la elaboración de la presente caracterización.

No.	ETAPA	Materiales a utilizar
1	Teórica	Vehículo, combustible, computador, papel y lápiz
2	Reconocimiento	Vehículo, combustible, guía o conocedor del área.
3	Documental	Computador, tinta, impresora, disponibilidad de energía Eléctrica.
4	Práctica generativa	Vehículo, combustible, encuestas, guía de entrevistas, papel, lápiz, libreta de campo.
5	Compilación y análisis de información	Computador, tinta, papel, disponibilidad de energía eléctrica.
6	Delimitación de la problemática	Papel, lápiz, computador, disponibilidad de energía eléctrica.

5. RESULTADOS

5.1. Localización del área de estudio

El área de estudio, se encuentra dentro de la subcuenca del río Villalobos la que a su vez forma parte de la subcuenca del Lago de Amatitlán, que constituye la parte alta de la cuenca del río María Linda, la cual se encuentra en la vertiente del Océano Pacífico. Geográficamente se ubica en la hoja topográfica escala 1:50,000 Ciudad de Guatemala, (2959-I), se ubica en las coordenadas GTM de 48000 m., a 49200 m., Este y de 1608000 m., a 1617000 m Norte; y en coordenadas geográficas de 14⁰33'19" a 14⁰37'23" de latitud Norte y 90⁰34'21" a 90⁰40'00" de longitud Oeste.

El área de estudio que corresponde a las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, tiene una extensión territorial de 61 km², colinda al norte con San Bartolomé Milpas Altas, San Lucas Sacatepéquez y Santiago Sacatepéquez; al sur con Villa Nueva y al éste con Mixco.

El área de estudio se encuentra a una altura promedio de 2,062.85 msnm. Su distribución territorial consta de las siguientes aldeas: Choacorrall, Zorzoya, El Manzanillo, La Embaulada, El Zope, Bárcena, Ramírez, tres caseríos: San José, Chichorin, Chiquel, entre otras; una comunidad agraria llamada Pachalí, diecisiete fincas entre las que destacan: La Suiza, La Cruz Grande, San Juan, Santa Marta, La Esmeralda, San Ramón, California, El Carmen, Labor de Castilla I y II, La Selva, Los Ángeles, Xelajú, Lourdes, y cincuenta y una granjas, las cuales pertenecen a familias capitalinas.

La microcuenca del río San Lucas tiene un área aproximada de 44.75 km²., mientras que la microcuenca del río El Arenal tiene un área aproximada de 16.87 km², lo cual en total hacen un área 61.62 km²., aproximadamente para el área de estudio. Esto constituye aproximadamente el 15% del área de la subcuenca del Lago de Amatitlán (Asturias. 2006).

5.2. Educación

El promedio de población de 7 años y más es de 21,045; registran un nivel de escolaridad de: 2,439 habitantes son analfabet@s, 262 ha recibido educación preprimaria, el 4,691 de la población de 1-3 primaria, 5,706 de 4-6 primaria, 2,721 de 1-3 educación media, 2,914 de 4-7 educación media, 2,311 educación Superior. El 51.8% son mujeres y el 48.2% hombres (Asturias, 2006).

5.3. Salud

Dentro del área de estudio, únicamente se ubica un centro de salud, siendo esto en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, esto debido a que es el único municipio que se encuentra totalmente dentro del área en estudio, por lo tanto su cabecera municipal es parte del área en estudio.

El centro de salud cuenta con servicios de psicología, consulta externa y odontología infantil. Entre las enfermedades que más se atienden destacan: el resfriado común, bronconeumonía, diarrea y “faringoamigdalitis bacteriana” (OMP’s y MSPAS, Sacatepéquez 2008).

5.4. Turismo

Por la cercanía que tiene con la ciudad de Antigua Guatemala, el turismo internacional, favorece en forma notable la afluencia de visitantes, además, es visitado por turistas nacionales, principalmente capitalinos, quiénes acuden en su gran mayoría los fines de semana teniendo como punto de encuentro el Mercado “Monumento al Caminero” y el parque ecológico “Senderos de Alux” (ambos en el municipio de San Lucas Sacatepéquez), en el resto del área de estudio también existe comercio local de frutas, verduras y ropa, siendo los días de mayor mercado, los viernes, sábado y domingo; donde se degustan platillos típicos, compra de flores y productos artesanales. La actividad turística representa un ingreso importante para los habitantes de la región.

Otro sitio de interés que existe en la población es el mirador y los bosques del Cerro Alux en la parte más alta de la región. Este punto se ha convertido en los últimos años en atracción ecológica. Los visitantes, además de aprovechar el contacto con la naturaleza

pueden tener una vista excepcional hacia la ciudad capital o bien el paisaje propio del municipio. Es importante mencionar también, la influencia económica y turística que tienen los distintos “miradores” que se encuentran especialmente en el área de Mixco (OMP, 2008).

5.5. Cultura

- Religión: La mayoría de la población practica la doctrina Católica, pero existen diversos grupos religiosos dentro de los que se mencionan: Mormonas y Testigos de Jehová.
- Costumbres: Celebración del día de la Madre, Fiestas Patrias, Feria Titular, Semana Santa y Grupos de bailes.
- Día de Mercado: Viernes, Sábado y Domingo (según la localidad).
- Idioma: Español en su mayoría y Cakchiquel en menor escala.
- Etnicidad: 5% Indígena (la mayoría se ubica en San Lucas Sacatepéquez, Santiago Sacatepéquez y San Bartolomé Milpas Altas) y 95% ladinos
- Comida: Pepián, atol de elote, mole y churrascos (según la localidad).
- Fiestas municipales y patronales: En San Lucas Sacatepéquez que es el único municipio que ubica casi todo su territorio dentro del área de estudio, incluyendo la cabecera municipal que celebra en honor al patrón San Lucas Evangelista; del 10 al 20 de Octubre su feria patronal que es la más importante del área y los distintos patronos religiosos de las aldeas dentro del área de estudio (OMP, 2008).

5.6. Hidrografía

El área de estudio se ubica dentro de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, las cuales desembocan en el río Villalobos. La densidad de drenaje es de 2.53 km., de drenaje por cada km²., en el caso de la microcuenca del río San Lucas; y de 4.44 km., de drenaje por cada km²., en el caso de la microcuenca del río El Arenal, suponiendo mejores características de drenaje para la microcuenca del río El Arenal que en el río San Lucas; por lo que se puede determinar que el agua en esta área, es lentamente evacuada, lo cual puede provocar un proceso de erosión laminar si se conjuga con bajas capacidades de infiltración de los suelos (Asturias, 2006), la red de drenaje se observa en la siguiente figura.

Referencias

Red de drenaje

Corrientes principales

Corrientes intermitentes

Tipo de drenaje

Dendrítico

Subdendrítico y subparalelo

Subparalelo a subdendrítico

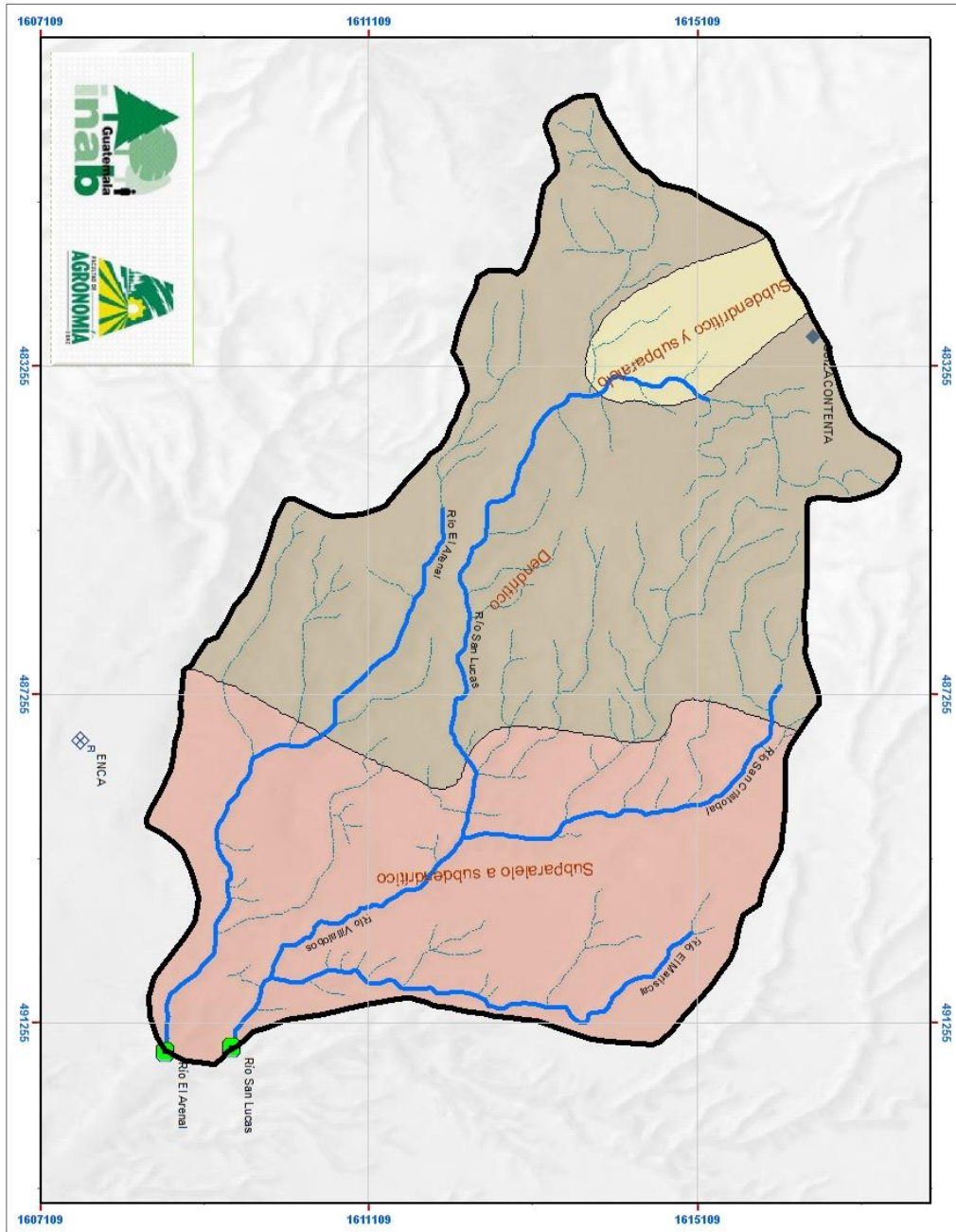
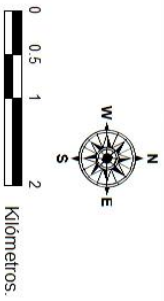
Simbolos convencionales

Área de estudio

Puntos de Aforo

Estación de la ENCA

Estación Suiza Contenta



Mapa de red y tipo de drenaje

Microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del Río María Linda

Figura 2. Mapa hidrográfico y red de drenaje de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

En la figura anterior, se muestra la red hidrográfica o la red de drenaje del área en estudio, en la cual se ubican principalmente las siguientes corrientes, río San Lucas en la parte alta que juntamente con el río San Cristóbal se unen al río Villalobos al cual a su vez le tributan río abajo el denominado río Mariscal y por el otro lado se tiene el río El Arenal, teniendo en total cinco corrientes grandes, dándole una categoría 4 a la corriente principal; donde pueden observarse dos tipos de drenaje básicamente, el dendrítico y el paralelo con sus variaciones.

Las corrientes de agua existentes en el área de estudio son los ríos San Lucas, Chichorín, Chiteco, Choacorrall, La Embaulada, Las Vigas y San José, El Arenal; así también se cuenta con los riachuelos conocidos como Chilayón, Chipablo, Chique, El Astillero, El Perol, La Ciénaga, La Esperanza, La Ruca, Parrameños y la Quebrada del Aguacate

5.7. Relieve

Las pendientes de los cauces son de aproximadamente 12% de pendiente máxima, el punto más alto del cauce dentro de la cuenca es de 2,200 m.s.n.m. y el punto de aforo se ubica a aproximadamente 1,350 m.s.n.m. En la Figura 1 se observa la topografía de la cuenca junto con las curvas de nivel donde se muestran las alturas del área.

Mientras que (según Asturias, 2006) las pendientes medias de la cuenca están arriba del 16%. En la microcuenca del río San Lucas, presentan en las laderas de los cauces terrenos con pendientes de 50 a 60% mientras que las áreas con pendientes de 0-8 % se pueden localizar al este y oeste de la microcuenca, además existen terrenos con pendientes intermedias que se localizan en la parte central de la microcuenca.

El Arenal es la microcuenca donde el 46.18 % de su área se encuentran en terrenos con pendientes que van de 40-60 %, los cuales forman las laderas del cauce, el 44.74 % de su área se encuentra ocupada por terrenos que poseen pendientes que van de 0-20 % en estos los que tienen una inclinación de 0-8% son los que aportan mayor área y se pueden localizar al centro y oeste de la microcuenca (Asturias, 2006).

5.7.1. Topografía y orografía

Su topografía es irregular, ya que pertenece al complejo montañoso del Altiplano Central y la región fisiográfica “Tierras Altas Volcánicas” Las alturas oscilan entre 2000 y 2200 sobre el nivel del mar.

Entre sus accidentes geográficos se encuentran los cerros: Alonzo, Bella Vista, Buena Vista, Cruz Grande, Chilayón, Chimot, Chinaj, El Ahorcado, El Astillero, Faldas de San Antonio, La Bandera, La Embaulada, Loma de Manzanillo, Loma Larga Chinic, Miramundo y Santa Catarina.

Estos detalles pueden observarse en la Figura 1 y Figura 2; así como las curvas de nivel.

5.8. Vías de acceso

Por la carretera Interamericana CA-1 o ruta nacional 1, de la capital son unos 14 km. a la cabecera municipal de Mixco. De allí a la cabecera de San Lucas Sacatepéquez hay unos 13 km. y de ese lugar a la cabecera departamental de Chimaltenango aproximadamente 25 km. En el Monumento al Caminero en la bifurcación de la CA-1 y la ruta nacional 1, asfaltada, de donde son aproximadamente 17 km., al suroeste a la cabecera departamental de Antigua Guatemala. Cuenta también con caminos, roderas y veredas que unen a sus poblados y propiedades rurales entre sí y con los municipios vecinos (ver Figura 1, donde se encuentran las vías de acceso).

5.9. Demografía

Según información del Instituto Nacional de Estadística –INE -, recopilada en el XI censo de población y VI de habitación del año 2002, la población dentro de la microcuenca alcanza los 108,688 habitantes para el 2002 y un total de 137,683 habitantes proyectados para el año 2010, teniendo una tasa de crecimiento de 1.03 %. De esta manera se observa un crecimiento de 28,995 personas para el área en un lapso de 8 años. Esto representa un incremento de 21.05 % de la población para este periodo, lo cual básicamente se debe a la migración; esto significa que para el ciclo 2008 - 2009 bajo estas condiciones, se encuentran alrededor de 133,673 habitantes en las microcuencas (OMP´s 2008, XI censo de población y VI de habitación del INE 2003).

Cuadro 2. Detalle de la población existente (proyectada) por categoría del lugar y por sexo para las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

MUNICIPIO Y LUGAR POBLADO	CATEGORIA	POB. TOTAL 2008	POB. TOTAL 2002	SEXO			
				HOMBRES 2008	HOMBRES 2002	MUJERES 2008	MUJERES 2002
SAN LUCAS SACATEPEQUEZ	PUEBLO	12,442	8,871	6004	4,281	6438	4,590
CHOACORRAL	ALDEA	3,770	2,688	1829	1,304	1941	1,384
ZORZOYA	ALDEA	612	436	303	216	309	220
LA EMBAULADA	CASERIO	846	603	431	307	415	296
SAN JOSE	CASERIO	659	470	328	234	331	236
CHICAMAN	CASERIO	439	313	230	164	209	149
CHIPABLO	CASERIO	259	185	135	96	125	89
EL MANZANILLO	CASERIO	640	456	321	229	318	227
TIERRA LINDA	CASERIO	252	180	118	84	135	96
LAS JULIAS	CASERIO	53	38	25	18	28	20
LOS ALPES	COLONIA	913	651	468	334	445	317
RES. EL ENSUEÑO	COLONIA	181	129	91	65	90	64
RES. VISTA AZUL	COLONIA	72	51	42	30	29	21
RES. FLORENTINA	COLONIA	87	62	42	30	45	32
JARDINES DE SAN LUCAS	COLONIA	748	533	359	256	389	277
TIERRA LINDA	COLONIA	86	61	46	33	39	28
JARDINES DE SAN LUCAS I	COLONIA	248	177	132	94	116	83
JARDINES DE SAN LUCAS II	COLONIA	381	272	188	134	194	138
JARDINES DE SAN LUCAS V	COLONIA	107	76	50	36	56	40
GRANJAS SANTO DOMINGO	COLONIA	42	30	22	16	20	14
JARDINES DE SAN LUCAS A	COLONIA	367	262	177	126	191	136
LOT. VISTAS DE SAN LUCAS I	COLONIA	50	36	25	18	25	18
LOT. VISTAS DE SAN LUCAS II	COLONIA	108	77	53	38	55	39
DOS ROBLES	COLONIA	171	122	88	63	83	59
LOT. ROSALES DE SAN LUCAS	COLONIA	74	53	39	28	35	25
LOT. MONTEZUMA	COLONIA	180	128	77	55	102	73
LOT. RESIDENCIAL LAS MARIAS	COLONIA	100	71	41	29	59	42
PRADOS DE SAN LUCAS	COLONIA	81	58	39	28	42	30
LOT. SAN JORGE	COLONIA	118	84	63	45	55	39
JARDINES DE EMANUEL	COLONIA	67	48	36	26	31	22
GRANJAS SWISS	FINCA	95	68	50	36	45	32
VILLAS DE LA MESETA	OTRA	687	490	338	241	349	249
CONDOMINIO LAS MERCEDES	OTRA	53	38	27	19	27	19
CONDOMINIO SAN JOSE	OTRA	43	31	20	14	24	17
VILLA MONTANA	OTRA	50	36	31	22	20	14

El Cuadro 2 continúa en la siguiente página

LOS PINOS	OTRA	80	57	43	31	36	26
RESIDENCIAL LOS ENCINOS	OTRA	52	37	22	16	29	21
BOSQUES DE SAN LUCAS	OTRA	208	148	108	77	100	71
CLUB TORINO	OTRA	42	30	24	17	18	13
POBLACION DISPERSA	OTRA	29	21	14	10	15	11
CERRO ALUX	PARAJE	304	217	150	107	154	110

Estos datos son proyectados para el 2008 tomando en cuenta la tasa de crecimiento de la población y otros factores como la mortandad y natalidad existente en el lugar, con base en la influencia que ejercen las condiciones socioeconómicas de la zona y las condiciones de medio ambiente como tal (tomando en cuenta la fórmula de población $P_f = P_i \cdot (1+tc)^n$ donde $-P_f-$ es la población final, $-P_i-$ es la población inicial, $-tc-$ es la tasa de crecimiento y $-n-$ es el periodo de diseño en años). A manera de proporcionar información minuciosa se plantea a continuación un resumen de lo anterior expuesto, tomando en cuenta los grupos etarios en los que se ubica la población de San Lucas Sacatepéquez.

Cuadro 3. Resumen de la población por sexo, existente en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

No.	%	EDAD (años)	SEXO	
			HOMBRES	MUJERES
1	2.6	< 1	48.48 %	51.52 %
2	11.42	1 – 4	50.27 %	49.73 %
3	13.60	5 – 9	52.98 %	47.02 %
4	22.13	10 – 19	53.08 %	46.92 %
5	10.24	20 – 24	48.15 %	51.85 %
6	22.64	25 – 39	50.52 %	49.48 %
7	13.20	40 – 59	49.61 %	50.39 %
8	4.17	> 60	46.22 %	53.78 %

Según información del Instituto Nacional de Estadística –INE-, recopilada en el XI censo de población y VI de habitación del año 2002, la población dentro de la microcuenca alcanza los 108,688 habitantes para el 2002 y un total de 137,683 habitantes para el año 2010, teniendo una tasa de crecimiento de 1.03 %. De esta manera se observa un crecimiento de 28,995 personas para el área en un lapso de 8 años. Esto representa un incremento de 21.05 % de la población para este periodo, lo que significa que para el ciclo 2008 - 2009 se encuentran alrededor de 133,673 habitantes en la microcuenca.

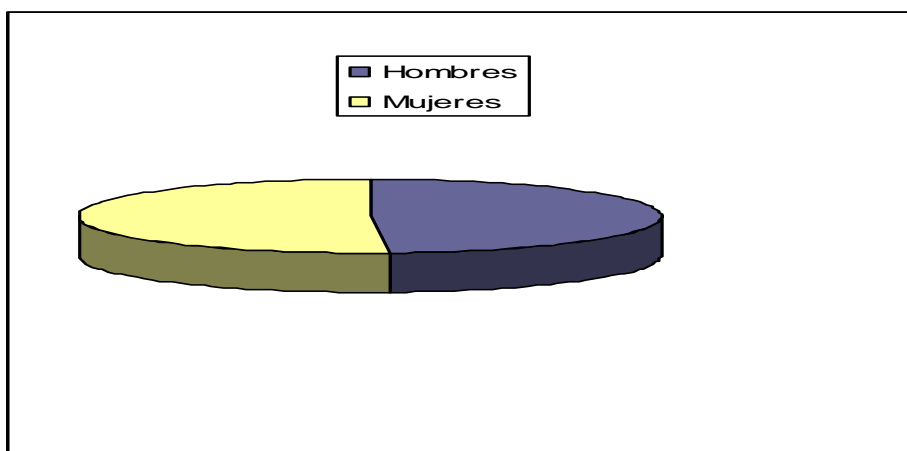


Figura 3. Proporción de hombres y mujeres dentro de la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Así mismo en el área en mención, se cuenta con una tasa de mortalidad promedio de 1.55% y tasa de natalidad 1.32% y una Tasa de fecundidad: 10.78% la población urbana y rural se distribuyen de la siguiente manera: El 80.37% pertenece al área urbana y el 19.63% al área rural.

Para mayor información acerca de la población, tales como estadísticas, proporciones, etc., consultar las proyecciones del INE 2006.

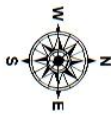
5.10. Geología

La orografía y morfología del “Valle de Guatemala” es resultado de deformaciones causadas por agentes naturales de meteorización (destrucción de rocas) y erosión sobre depósitos volcánicos, sedimentos y cuerpos plutónicos (rocas profundas) existentes antes del vulcanismo.

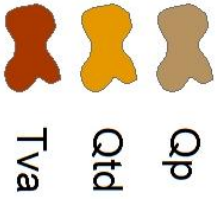
Según la base cartográfica digital del MAGA, en el área se distinguen tres unidades geológicas:

- a. Depósitos volcánicos del cuaternario.
- b. Rocas ígneas y metamórficas del terciario y
- c. Rocas ígneas y metamórficas del cuaternario.

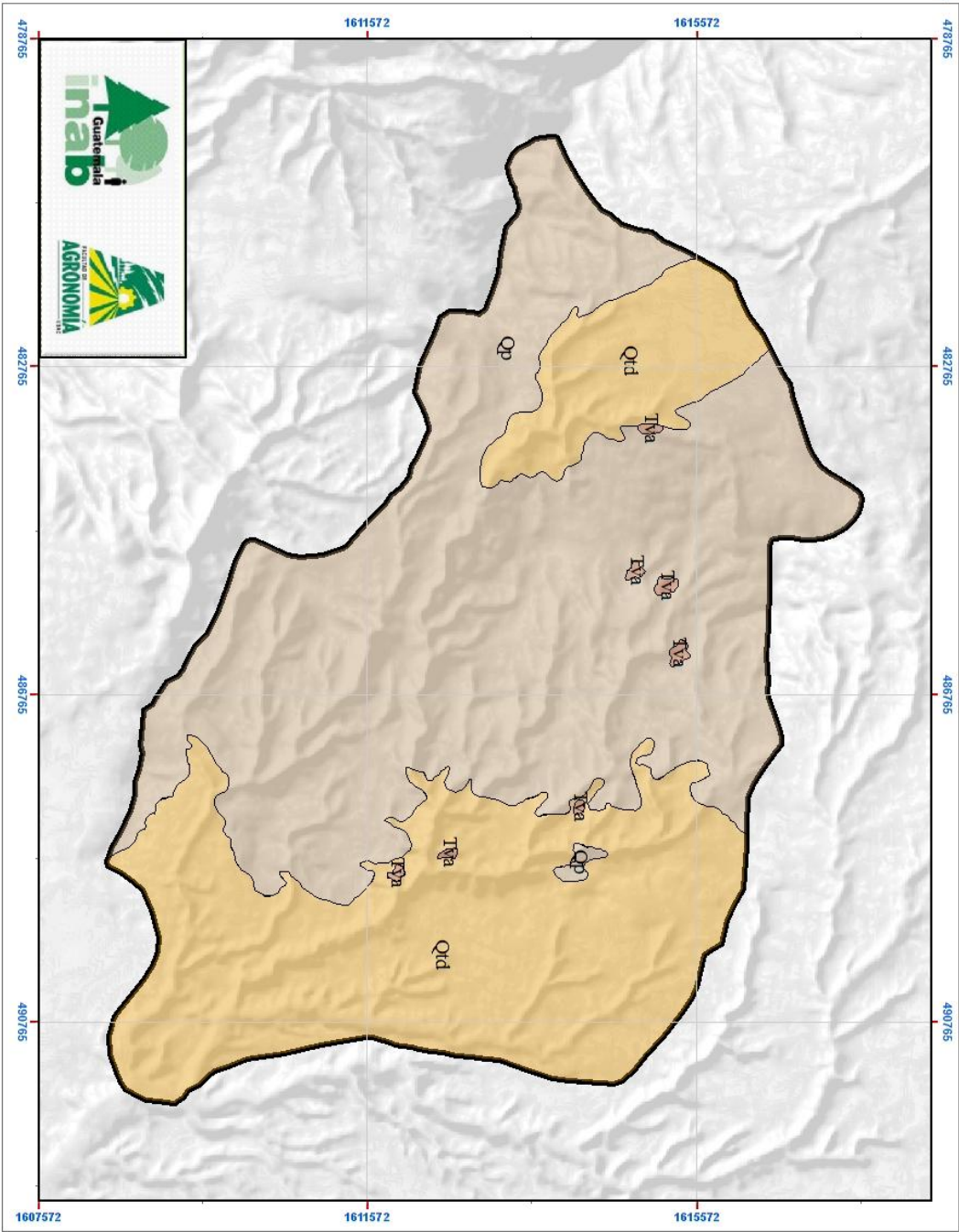
Lo anterior se describe gráficamente a continuación:



Referencias



No. Código	Geología	Área (m ²)
1	Qp Depósitos volcánicos del Cuaternario	3635200
2	Qtd Rocas ígneas y metamórficas del Cuaternario	2572000
3	Tva Rocas ígneas y metamórficas del terciario	22800
Total		6234400



Mapa de Geología

Microcuenca del río San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda

Figura 4. Mapa de Geología de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Siendo de mayor importancia los depósitos volcánicos del cuaternario (Qp), incluyendo rellenos y cubiertas gruesas de cenizas volcánicas tipo pómez de origen diverso. Las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, poseen el 70% de su área constituido por sedimentos eólicos de cenizas de origen volcánicos (según Simmons 1959, citado por Asturias 2006).

El valle está limitado al oeste por la falla de Mixco, que va desde San Juan Sacatepéquez hasta el borde oeste del Lago de Amatitlán. Al norte los límites están dados por bloques levantados de calizas cretácicas delimitadas por rocas intrusivas y metamórficas del Paleozoico (Simmons 1959, citado por Asturias 2006).

5.11. Clasificación de suelos

Los suelos de la microcuenca han sido desarrollados sobre cenizas volcánicas a elevaciones medias a excepción de las partes altas de la microcuenca, las cuales se han desarrollado sobre cenizas volcánicas pero a elevaciones altas. Los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas a elevaciones medias son poco profundos, de textura franca y franca arcillosa hasta los 30 cm., luego son de texturas franco arcillosas de color café oscuro o café amarillento ligeramente ácidos, que promedian hasta un metro de profundidad (URL, 2006).

Los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas a elevaciones altas, son de color café, pseudo alpinos, de textura franca a franco arcillosa para las capas superficiales siendo ligeramente ácidos y de un espesor que varía de 25 a 50 cm., las capas inferiores son de color café rojizo que llegan a más de un metro de profundidad.

De acuerdo a la clasificación taxonómica de los suelos de la República de Guatemala realizada por la Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA) y el Programa de Emergencia por Desastres Naturales (MAGA-BID) 2000., indica que los suelos de la microcuenca corresponden a los siguientes Órdenes.

5.11.1. Orden Alfisol (Alf)

Suelos con un horizonte interno que tiene altos contenidos de arcilla con relación a los horizontes superficiales, además presentan alta saturación de bases (mayor de 35%). Los

alfisoles son suelos maduros con un grado de desarrollo avanzado, pero que todavía tienen un alto contenido de bases en los horizontes interiores. Generalmente son suelos con buen potencial de fertilidad (MAGA-BID) 2000.

5.11.1.1. Suborden Ustalfs (Ls)

Pertencen al Sub orden de los Alfisoles, están secos entre 90 y 180 días del año en su interior. Presentan déficit de humedad al igual que los Udalfs, ofrecen buenas condiciones para la producción agropecuaria, pero en caso de actividades agrícolas, se requiere de la suplementación de agua para tener cultivos con más de una cosecha por año.

Estos suelos ocupan 455.64 km² y del territorio nacional corresponde al 0.42 %, se encuentran en los departamentos de Chimaltenango, Guatemala, Sacatepéquez, Suchitepéquez (MAGA-BID 2000).

5.11.2. Orden Andisol (And)

Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica que tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cc) y con altos contenidos de alófono. Generalmente son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo. En condiciones de fuerte pendiente tienden a erosionarse con facilidad. Una característica de los andisoles es su alta retención de fosfatos (arriba del 85%), la cual es una limitante para el manejo, por lo que se debe considerar en los planes de fertilidad cuando se someten a actividades de producción agrícola (MAGA-BID, 2000).

5.11.2.1. Suborden Ustands (Ds)

Ocupan 436.49 Km² que corresponde al 0.40 % del territorio nacional, se encuentra en Chimaltenango, Quetzaltenango, San Marcos, Sololá, Totonicapán. Pertencen al orden Andisol, estos suelos por lo regular que están secos entre 90 y 180 días del año; en su interior presentan deficiencia de humedad; Su principal problema, además de las limitantes mencionadas a nivel del orden, es la falta de humedad la mayor parte del año, esta es una limitante para las actividades agrícolas (MAGA-BID, 2000).

5.11.3. Orden Entisol (Ent)

Suelos con poca o ninguna evidencia de desarrollo de su perfil y, por consiguiente, de los horizontes genéticos. El poco desarrollo es debido a condiciones extremas, tales como, el relieve (el cual incide en la erosión o, en su defecto, en la deposición superficial de materiales minerales y orgánicos) y, por otro lado, las condiciones como el exceso de agua. De acuerdo al relieve, estos suelos están presentes en áreas muy accidentadas (Cimas de montañas y volcanes) o en partes planas (MAGA-BID, 2000).

5.11.3.1. Suborden Orthents (Eo)

Suelos de profundidad variable, la mayoría son poco o muy poco profundos. Generalmente están ubicados en áreas de fuerte pendiente, existen también en áreas de pendiente moderada a suave. en dónde se han originado a partir de deposiciones o coluviamientos gruesos y recientes.

Una gran cantidad de Orthents en Guatemala, no son apropiados para actividades agrícolas, sobre todo cuando están en superficies inclinadas. Entre sus limitaciones están: la poca profundidad efectiva, en muchos casos la “pedregosidad” interna y los afloramientos rocosos. Si han perdido su cubierta natural, sus mejores usos serán para producción forestal o sistemas agroforestales.

Este tipo de suelos se encuentran cubriendo el 4.93 % del territorio nacional, correspondiendo a 5,375.83 km², se le puede encontrar principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso, Escuintla, Guatemala, Huehuetenango, Jalapa, Jutiapa, Quetzaltenango, Quiché, Sacatepéquez, San Marcos, Sololá, Suchitepéquez, Totonicapán, y Zacapa (MAGA-BID, 2000).

A continuación, en la Figura 5 se describe gráficamente la ubicación de los distintos tipos de geología que se encuentran en el área en estudio.

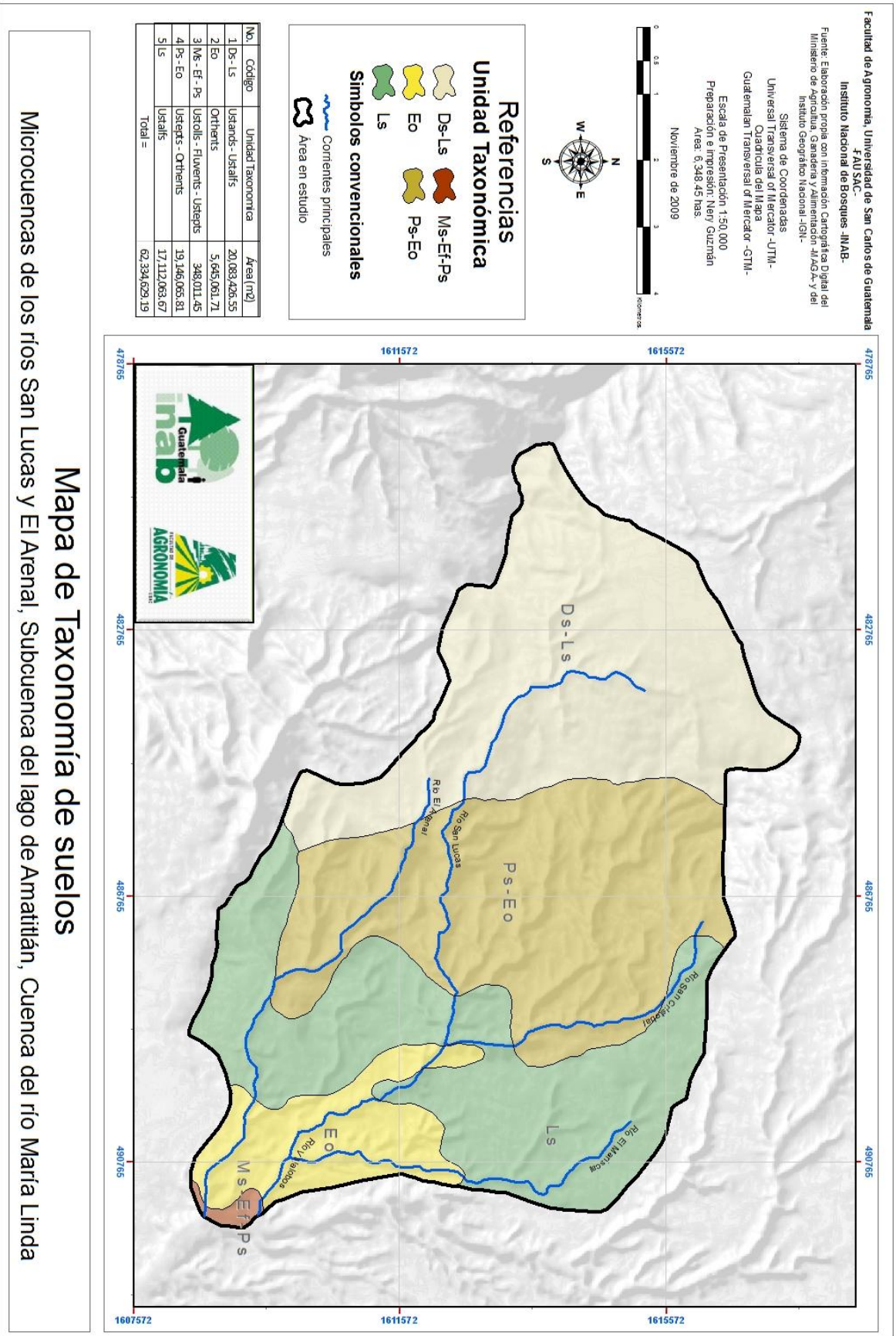


Figura 5. Mapa de Taxonomía de suelos de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

5.11.4. Orden Inceptisol (Int)

Este tipo de suelos, también se describen en la figura anterior, y son suelos incipientes o jóvenes, sin evidencia de fuerte desarrollo de sus horizontes, pero son más desarrollados que los entisoles. Son suelos muy abundantes en diferentes condiciones de clima y materiales originarios (MAGA-BID, 2000).

5.11.4.1. Suborden Usteps (Ps)

Este tipo de suelo cubren 811.00 km² del territorio nacional que corresponde a 0.74 % del mismo, se encuentra principalmente en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Huehuetenango, Izabal, Jalapa, Jutiapa, Petén, Quiché, Zacapa, Sacatepéquez y Guatemala. Son inceptisoles que están secos en su interior, entre 90 y 180 días del año. Presentan deficiencia de humedad. Se les encuentra localizados en las regiones con menor lluvia. Para su manejo adecuado, requieren de la aplicación de agua para producción de más de una cosecha de cultivos anuales o de ciclo corto (MAGA-BID, 2000).

5.12. Fisiografía

La región fisiográfica donde se encuentra el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, corresponde a las tierras altas volcánicas. La fisiografía local de la microcuenca en general presenta cauces de ríos altamente erosionados, lo cual da lugar a taludes de cauces con pendientes pronunciadas uniformes, lo cual genera planicies altas dentro de la microcuenca principalmente en la del río San Lucas circundadas por barrancos que alcanzan en algunos lugares más de 100 metros de profundidad (Asturias, 2006).

El detalle de las unidades fisiográficas delimitadas en las microcuencas se presentan en la Figura 6 (figura siguiente) la cual es fruto de un análisis geomorfológico del área bajo estudio, con una escala de detalle (1:20,000) utilizando fotografías aéreas y su fotointerpretación, que se realizó en el año 2006 como parte de un estudio llevado a cabo en la misma zona por Asturias H.

5.13. Clima

Los parámetros climáticos de esta área se encuentran monitoreados principalmente por dos estaciones meteorológicas; de las cuales se encuentran registros en el INSIVUMEH siendo ellas la Estación “Suiza Contenta” ubicada en San Lucas Sacatepéquez, para los registros de la parte alta del área de estudios y la estación de la “ENCA” ubicada en Bárcena, Villa Nueva (para los registros climáticos de la parte media y baja de la microcuenca). A continuación en los cuadros 4 y 5 se presentan los parámetros climáticos registrados en las estaciones mencionadas.

Cuadro 4. Registros climáticos de la estación de la ENCA, en Bárcena, Villa Nueva, para la parte media y baja de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Registro climático Estación "La ENCA" Bárcena, Villa Nueva.														
Año de registro 2001 - 2009														
Coordenadas: GTM WGS84 X: 487833 Y:1607627														
Elevación: 1,430 msnm														
VARIABLE	Mes												Anual	D.E.
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Precipitación (mm)	0.4	0.8	3.0	28.1	53.5	185.5	150.4	163.2	208.1	157.0	14.3	1.2	965.5	84.1
Temperatura C	18.3	18.7	17.7	19.7	21.3	20.2	23.9	20.7	20.5	19.7	18.9	18.5	238.0	1.67
Humedad Relativa (%)	65.8	65	59.2	65.9	47.2	77.5	78	74.7	82.8	82.1	70.4	47.2	816.0	12.1
ETP(mm) (Hargreaves)	69.2	67.1	79.8	73	92.9	60	60.7	64.9	52.1	52.7	63.6	84.8	820.8	12.4
Radiación Solar (RS) *	12.3	13.5	14.8	15.8	16	16	16	15.9	15.3	14.1	12.7	11.9	174.3	1.58
No. De días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365.0	0.9
% Brillo solar/mes (S)	448	458	532	446	686	298	291	334	230	238	389	686	5036.7	155.4

* Calculado según Herrera I. (2002)

D.E = Desviación Estándar

Los valores de temperatura en esta área son mucho mayores que los de la estación Suiza Contenta de la parte alta; no así los valores de precipitación que son considerablemente menores a los registrados en la parte alta; el incremento en la temperatura aumenta la pérdida de agua por concepto de evapotranspiración, caso contrario ocurre en lugares con mayor precipitación y menor temperatura como en el caso de la parte alta de las microcuencas, información registrada por la estación de la Suiza Contenta; puesto que es un proceso inversamente proporcional en el que interviene la masa vegetal, la cantidad de precipitación y el tipo de suelo, así como el más importante factor influyente en la ETP que es la temperatura, según lo expresa Herrera (2002).

En la estación de la ENCA se registran los datos climáticos que corresponden a la parte media y baja de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, que corresponden a un periodo de registro de 8 años y 6 meses (hasta junio de 2009). En la estación no se

contaba con registros de radiación solar por lo que se calculó según la metodología presentada por Herrera (2002); con esa información fue posible completar los datos para determinar humedad relativa, % de brillo solar mensual(S) y así con ello la ETP.

A continuación se presentan los datos climáticos de la parte alta del área en estudio, con registros de la estación climática de la finca “La Suiza Contenta” en San Lucas Sacatepéquez.

Cuadro 5. Registros de climáticos de la estación Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez, para la parte alta de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Registro climático Estación "La Suiza Contenta" Sacatepéquez														
Año de registro 2000 - 2009														
Coordenadas: GTM WGS84 X: 482900 Y:1616517														
Elevación: 2,105 msnm														
VARIABLE	Mes												Anual	D. E.
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Precipitación (mm)	4.6	2.6	12.1	21.9	122.3	212.8	174.6	220.6	197.3	108.2	44.5	4.9	1126.3	88.9
Temperatura C	16	13.8	13.5	17.3	16	15.8	15.7	15.9	15.1	12.2	10.4	12.4	174.1	2.0
ETP(mm) (Hargreaves)**	43.7	41.3	50.4	59.3	60.6	58.8	60.4	59.6	53.4	45.5	36.5	37.8	607.3	9.3
Radiación Solar (RS) *	12.3	13.5	14.8	15.8	16	16	16	15.9	15.3	14.1	12.7	11.9	174.3	1.6
No. De días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365.0	0.9
Duración media solar/día*	11.3	7.36	8.43	8.44	8.98	8.8	9.05	8.83	8.28	8.2	7.75	7.88	103.3	1.0
Brillo solar mensual % (S)	3.36	3.41	3.46	3.53	3.57	3.6	3.59	3.54	3.49	3.43	3.37	3.35	41.7	0.1

* Calculado según Herrera I. (2002)

D.E = Desviación Estándar

** Calculado según García B. (2005)

Como se menciona anteriormente, el proceso de evapotranspiración (ETP) ocurre inversamente proporcional a la temperatura y precipitación, es decir que a mayor temperatura y menor precipitación, mayor es la evapotranspiración. Esto se observa comparando los cuadros 4 y 5; ya que para el caso anterior, se registran datos climáticos de la parte alta del área en estudio, los cuales presentan una menor evapotranspiración debido a que las condiciones son de menor temperatura y mayor precipitación.

5.14. Población y grupos étnicos

La población asentada en la microcuenca, pertenece a los municipios de San Lucas Sacatepéquez, Santiago Sacatepéquez, San Bartolomé Milpas Altas, Villa Nueva y Mixco; con un total de 108,688 habitantes para el 2009 (y 137,683 habitantes según proyecciones para el año 2010), según proyecciones hechas con datos del censo del INE 2002 (ver Cuadro 9 y 10).

Los principales centros poblados que se encuentran en el área son: Ciudad Satélite, El Campanero, El Aguacate, Peronia, Pinares de San Cristóbal, Mirador de San Cristóbal, Balcones de San Cristóbal, Lo de Coy, Hamburgo, La Libertad, Labor de Castilla, Valle Dorado, San Lucas Sacatepéquez, Choacorrál, La Embaulada, Zorzoya, Los Alpes, San José, Chicamán, Granja La Suiza Contenta, Villas de Sevilla, El Calvario, Manzanillo, El Gran Mirador, Roldan, Sector Martínez, El Calvario, La Selva.

Según información del Instituto Nacional de Estadística –INE -, recopilada en los censos de población de los años 1994 y 2002, la población dentro de la microcuenca alcanza los 31,895 habitantes para el año 1994 y un total de 53,799 habitantes para el año 2002. De esta manera se observa un crecimiento de 21,904 personas para el área en un lapso de 8 años. Esto representa un incremento de 68.68% de la población para este periodo.

Este fenómeno de crecimiento demográfico es el reflejo de lo que sucede en toda la región metropolitana, que corresponde al departamento de Guatemala en su conjunto, el cual ha tenido históricamente tasas de crecimiento poblacional por encima de las presentadas en el resto del país.

Para calcular la población del área, para el año de 1966 por ejemplo; se pueden utilizar las tasas de crecimiento reportadas para los periodos anteriores, las cuales son: de 1964 a 1973, tasa de 3.51%; de 1973 a 1981, tasa de 2.1 %; de 1981 a 1994, tasa de 2.5%. Realizando los descuentos a la población reportada para el año 1994 que es de 31,895 personas, tenemos que la población para el año 1966 era de 14,900 personas aproximadamente.

Al comparar la población estimada para el año 1966 (14,900 personas), con la población para el año 2002 (53,799 personas) tenemos un aumento del 261%.

De lo anterior se presenta el siguiente cuadro con información de las municipalidades (2008) mostrando una clasificación por grupo étnico.

Cuadro 6. Detalle de la población y pertenecía étnica; por lugar y categoría para las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

LUGAR POBLADO	CATEGORIA	POBLACION TOTAL	GRUPO ÉTNICO	
			INDIGENA	NO INDIGENA
SAN LUCAS SACATEPEQUEZ	PUEBLO	8,871	1,147	7,724
CHOACORRAL	ALDEA	2,688	160	2,528
ZORZOYA	ALDEA	436	32	404
LA EMBAULADA	CASERIO	603	9	594
SAN JOSE	CASERIO	470	45	425
CHICAMAN	CASERIO	313	150	163
CHIPABLO	CASERIO	185	56	129
EL MANZANILLO	CASERIO	456	173	283
TIERRA LINDA	CASERIO	180	13	167
LAS JULIAS	CASERIO	38	9	29
COLONIA LOS ALPES	COLONIA	651	34	617
RESIDENCIALES EL ENSUEÑO	COLONIA	129	14	115
RESIDENCIALES VISTA AZUL	COLONIA	51	-	51
RESIDENCIALES FLORENTINA	COLONIA	62	-	62
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS	COLONIA	533	68	465
TIERRA LINDA	COLONIA	61	2	59
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS I	COLONIA	177	1	176
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS II	COLONIA	272	4	268
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS V	COLONIA	76	2	74
GRANJAS SANTO DOMINGO	COLONIA	30	1	29
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS A	COLONIA	262	33	229
LOTIFICACION VISTAS DE SAN LUCAS I	COLONIA	36	3	33
LOTIFICACION VISTAS DE SAN LUCAS II	COLONIA	77	-	77
COLONIA DOS ROBLES	COLONIA	122	9	113
LOTIFICACION ROSALES DE SAN LUCAS	COLONIA	53	-	53
LOTIFICACION MONTEZUMA	COLONIA	128	6	122
LOTIFICACION RESIDENCIAL LAS MARIAS	COLONIA	71	2	69
COLONIA PRADOS DE SAN LUCAS	COLONIA	58	-	58
LOTIFICACION SAN JORGE	COLONIA	84	2	82
JARDINES DE EMANUEL	COLONIA	48	22	26
GRANJAS SWISS	FINCA	68	7	61
VILLAS DE LA MESETA	OTRA	490	4	486
CONDOMINIO LAS MERCEDES	OTRA	38	2	36
CONDOMINIO SAN JOSE	OTRA	31	1	30
VILLA MONTANA	OTRA	36	26	10
LOS PINOS	OTRA	57	20	37
RESIDENCIAL LOS ENCINOS	OTRA	37	1	36
BOSQUES DE SAN LUCAS	OTRA	148	48	100
CLUB TORINO	OTRA	30	1	29
POBLACION DISPERSA	OTRA	21	3	18
CERRO ALUX	PARAJE	217	36	181

El cuadro anterior, es un resumen de la información existente en el área; para mayor información consultar en cuadros de datos del INE y OMP's.

Cuadro 7. Detalle del grupo étnico al que pertenece la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

DEPARTAMENTO, MUNICIPIO Y LUGAR POBLADO	PERTENENCIA ETNICA					TOTAL
	MAYA	XINKA	GARIFUNA	LADINA	OTRA	
SAN LUCAS SACATEPEQUEZ	999	-	-	7,834	38	8,186
CHOACORRAL	138	3	-	2,526	21	2,465
ZORZOYA	24	-	-	411	1	397
LA EMBAULADA	6	-	-	597	-	550
SAN JOSE	39	-	-	431	-	423
CHICAMAN	140	-	-	173	-	273
CHIPABLO	54	-	-	131	-	171
EL MANZANILLO	174	-	-	282	-	419
TIERRA LINDA	9	-	-	171	-	171
LAS JULIAS	9	-	-	29	-	34
COLONIA LOS ALPES	19	-	-	608	24	614
RESIDENCIALES EL ENSUEÑO	14	-	-	115	-	120
RESIDENCIALES VISTA AZUL	-	-	-	50	1	47
RESIDENCIALES FLORENTINA	-	-	-	62	-	61
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS	40	-	-	492	1	514
TIERRA LINDA	-	-	-	61	-	56
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS I	-	-	-	177	-	161
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS II	2	-	-	269	1	260
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS V	1	-	-	75	-	74
GRANJAS SANTO DOMINGO	-	-	-	27	3	28
COLONIA JARDINES DE SAN LUCAS A	33	-	-	229	-	246
LOTIFICACION VISTAS DE SAN LUCAS I	3	-	-	33	-	30
LOTIFICACION VISTAS DE SAN LUCAS II	-	-	-	77	-	71
COLONIA DOS ROBLES	10	-	-	112	-	116
LOTIFICACION ROSALES DE SAN LUCAS	-	-	-	53	-	49
LOTIFICACION MONTEZUMA	6	-	-	122	-	124
LOTIFICACION RESIDENCIAL LAS MARIAS	1	-	-	68	2	65
COLONIA PRADOS DE SAN LUCAS	-	-	-	58	-	53
LOTIFICACION SAN JORGE	2	-	-	82	-	79
JARDINES DE EMANUEL	23	-	-	25	-	42
GRANJAS SWISS	7	-	-	61	-	62
VILLAS DE LA MESETA	7	-	-	482	1	441
CONDominio LAS MERCEDES	3	-	-	35	-	36
CONDominio SAN JOSE	-	-	-	31	-	28
VILLA MONTANA	26	-	-	10	-	30
LOS PINOS	16	-	-	40	1	53
RESIDENCIAL LOS ENCINOS	1	-	-	36	-	36
BOSQUES DE SAN LUCAS	48	-	-	99	1	135
CLUB TORINO	1	-	-	29	-	27
POBLACION DISPERSA	3	-	-	18	-	21
CERRO ALUX	31	-	-	186	-	203

El cuadro anterior, es un resumen de la información existente en el área, para mayor información consultar en municipalidades, los cuadros de datos del INE y consultar Cuadro 10 de este capítulo.

5.15. Historia

Un hecho histórico que marcó un rumbo decadente para el área, fue el traslado de la capital en 1776, a su actual enclave. Esto dio origen a una irracional explosión demográfica, con el consiguiente desorden en la utilización de los recursos: deforestación, mala utilización del suelo con fines agrícolas, distribución desordenada en el régimen de tenencia de la tierra e instalación dentro de la cuenca que desemboca en el lago de más de 700 industrias de diversa índole, sin plantas de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos funcionando (Asturias, 2006).

Se ha deforestado el 45% de los bosques originales y los restantes se encuentran en estado de explotación y deterioro, provocando problemas de erosión, sedimentación y disminución en la recarga de acuíferos. Como resultado, el lago de Amatitlán ha perdido cada año cerca de 4,000 metros cuadrados de superficie y su profundidad ha disminuido progresivamente. De no adoptarse medidas urgentes, se prevé que en unos 20 años el lago podría transformarse en un pantano (Asturias, 2006).

La tormenta tropical Stan hizo su aparición en los primeros días del mes de Octubre de 2005 con lluvias intensas, con la consiguiente sobresaturación del suelo y la formación de grandes aludes de tierra, lodo y árboles, que cayeron a los cauces de los ríos (Asturias, 2006).

5.16. El suelo y sus usos

Los municipios de la periferia de la ciudad de Guatemala han soportado un crecimiento urbano incontrolado; y la ocupación del espacio no vino acompañada de la extensión de las redes de abastecimiento de agua y de drenajes.

Debido al dinamismo de las actividades económicas y culturales del área de estudio, el uso que se le brinda a la capa superficial del suelo varía con forme los años; para ello se determinó el tipo de uso o tratamiento brindado al suelo para el año 2008 por medio de la fotointerpretación y corroboración en campo, esta información se presenta en la siguiente figura:

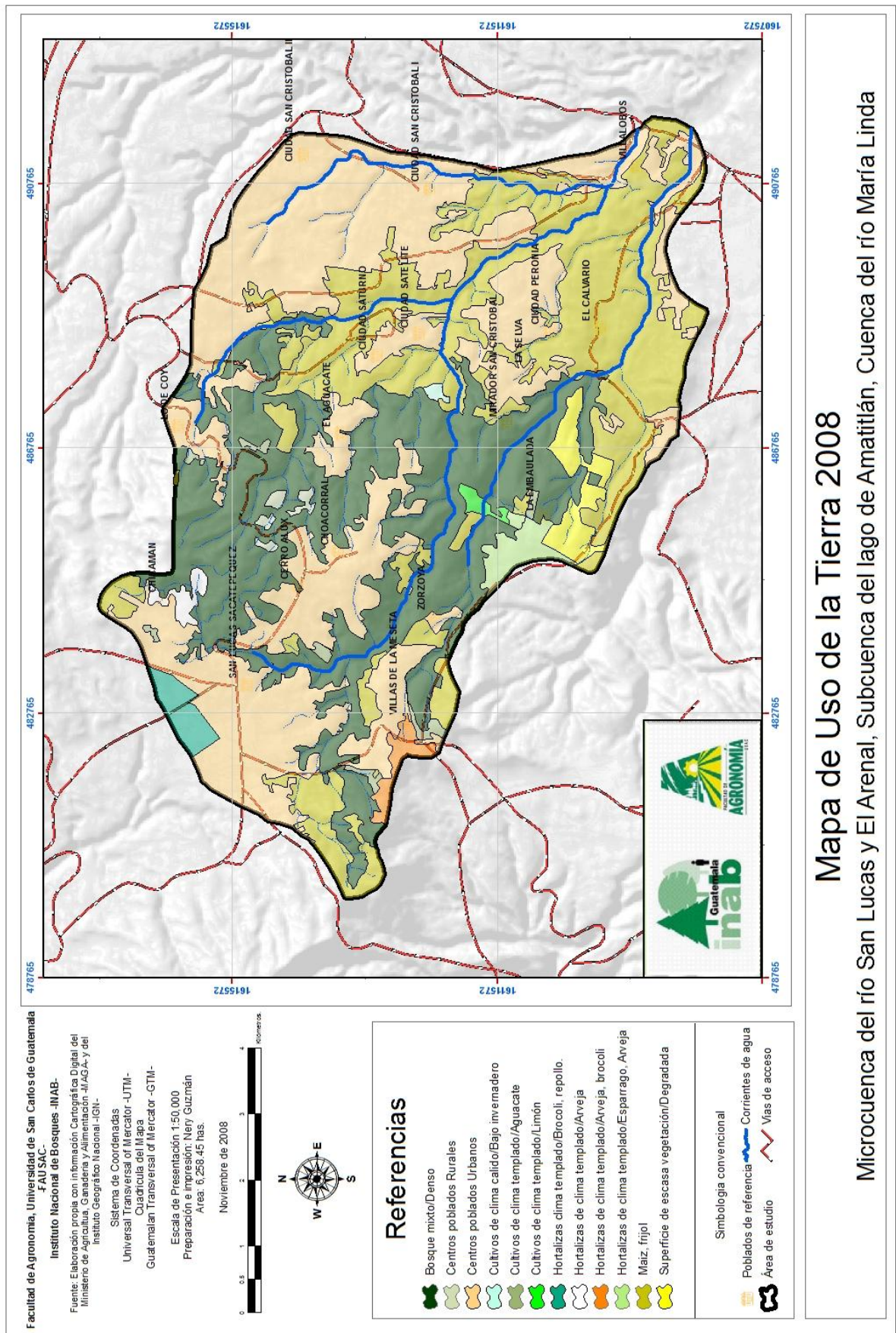


Figura 7. Mapa de uso de la tierra 2008, de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

En los municipios altamente urbanos y la Ciudad de Guatemala, los nuevos desarrollos habitacionales se dispersan en islas urbanas con ubicaciones definidas por los urbanizadores y por las condiciones geomorfológicas (existencia de barrancos profundos que drenan hacia la red de ríos y crean discontinuidades difíciles de salvar para la red sanitaria) y son forzadas a resolver de forma semiautónoma sus necesidades de servicios básicos (agua, alcantarillado, tratamiento) e infraestructura urbana (Asturias, 2006).

Los usos que se les brindan a las distintas unidades de suelo en el área de estudio se constituyen básicamente de asentamientos humanos, urbanos y rurales, así como de usos agrícolas con hortalizas, granos básicos, agroforestales y bosques naturales, también se observan explotaciones del subsuelo con materiales para la construcción y producciones agrícolas bajo invernadero.

La extracción incontrolada de materiales de construcción de los ríos, principalmente en la zona baja del río Villalobos, está ocasionando problemas severos de estabilidad en las laderas de los mismos, incrementando la carga de sedimentos en las aguas y puede potencialmente afectar zonas habitadas al generar procesos de erosión hacia las partes bajas del río.

El proceso de urbanización acelerado ha ocasionado que áreas de suelos frágiles, particularmente en zonas de barrancos con pendientes muy elevadas hayan sido desprovistas de su cobertura boscosa originando procesos erosivos acelerados, alimentados en parte también por la disposición inadecuada de aguas residuales en las partes altas (Asturias, 2006).

Un dato alarmante, es que el río Villalobos del que el río San Lucas y El Arenal son tributarios, arrastra alrededor de 500 mil toneladas de sedimentos al lago de Amatitlán, lo cual hace que pierda 70 cm. de profundidad cada año (Asturias, 2006).

5.17. Intensidad de uso de la tierra y los desastres naturales.

En el área de estudio, a raíz de lo ocurrido a causa de fenómenos como el Mitch y el Stan conducen a reflexionar sobre la intensidad con la que el suelo está siendo utilizado (ver Figura 8 de este capítulo) el cual ocasiona que las zonas se tornen vulnerables a cualquier fenómeno climático y que cualquier intensidad de lluvia resulte un factor degradante para el suelo.

Este es otro factor que contribuye grandemente al cambio constante del paisaje y del entorno natural de áreas como las que se comprenden las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal; debido a la pendiente y el mal uso de los recursos que se traducen en la sobre explotación del suelo, la disminución de la cobertura forestal. Situación que es homologa a muchas áreas en el país.

Las características biofísicas y socioeconómicas de las cuencas hidrográficas permiten analizar los aspectos ambientales relacionados con las causas que originan el agravamiento de los daños ocasionados por desastres naturales, como el Stan en el 2005, estos desastres naturales siempre están relacionados con la intensidad con la que el suelo está siendo utilizado, comúnmente aquellas unidades de suelo que están siendo sobre explotadas son las que presentan mayor susceptibilidad a los desastres naturales tales como derrumbes, inundaciones, etc.

El manejo inadecuado de la tierra, en áreas vulnerables de importancia para la captación y regulación de hidrológica, es de gran relevancia en las cuencas hidrográficas de la región. Los recursos naturales de la cuenca proveen otros servicios ambientales, como captura de carbono y biodiversidad. Sin embargo, aprovechar todos los servicios requiere avanzar hacia la gestión integrada de cuencas, ordenamiento del uso del suelo, reducción de la pobreza de la población.

La situación de explotación y sobre explotación de los suelos en el área bajo estudio, se presentan en la siguiente figura, que muestra las distintas intensidades de uso bajo las que se encuentran las diferentes áreas del territorio bajo estudio.

Referencias

Intensidad de uso de la tierra

Sub utilizado

Sobre utilizado

Uso Correcto

Símbolos convencionales

Estación de la ENCA

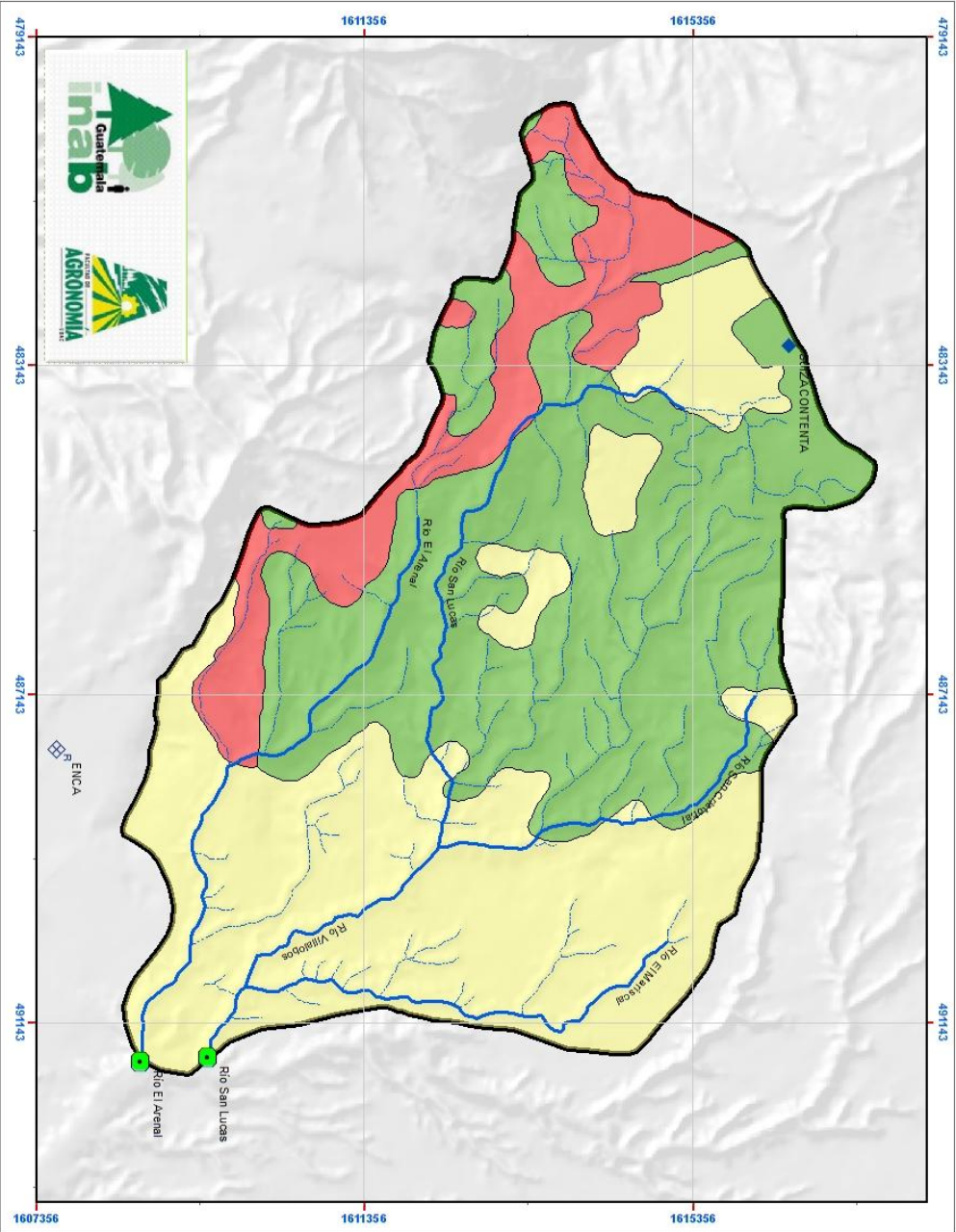
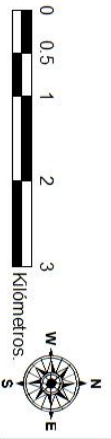
Estación SUIZA CONTENTA

Puntos de Aforo

Corrientes principales

Corrientes Intermitentes

Área de estudio



Mapa de Intensidad de uso de la tierra

Microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda

Figura 8. Mapa de intensidad de uso de la tierra de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Al conocer la intensidad del uso del suelo, es más fácil delimitar las posibilidades prácticas de integrar medidas de gestión ambiental para prevenir, mitigar y compensar los impactos negativos de los desastres naturales, sobre todo los de origen hídrico, a esto se le conoce como el manejo integral de las cuencas hidrográficas.

La planificación de los recursos hídricos se realiza a nivel de cuenca hidrográfica debido a que lo que llueve en ésta área y escurre superficialmente se concentra y tiene un punto de salida en la red hidrográfica. En otras palabras el buen o mal manejo de las actividades productivas dentro de una cuenca, repercute aguas abajo de donde se llevan a cabo dichas acciones (Asturias, 2006).

Un área o cuenca que tenga un alto porcentaje de su área con pendientes altas o que su capacidad de uso de la tierra sea para conservación, y que un alto porcentaje de ésta cuenca no tenga cobertura vegetal; es decir, la incompatibilidad entre la capacidad de uso y el uso actual de la tierra favorece los procesos de erosión, con sus consecuentes efectos negativos sobre el ambiente y la infraestructura, con base en lo anterior se infiere que ante un evento extremo como el Mitch o el Stan, los procesos de erosión, transporte y sedimentación serán mayores a los promedios, con las consecuencias conocidas (azolvamiento de sistemas de agua para abastecimiento de consumo humano y riego, daños a la infraestructura vial, etc.).

Las actividades productivas y la construcción y mantenimiento de la infraestructura de servicios, incluyendo la vial, derivadas de la intervención humana de no tomar en cuenta las características biofísicas de las cuencas, puede contribuir a agravar el efecto de los desastres naturales (Asturias 2006).

En Prensa Libre del 21 de noviembre del 2004 se publicó el artículo “Los responsables de salvar el lago se encuentran en emergencia; están impulsando la canalización del río Villalobos para que no le lleve más basura”. Donde se manifiesta que en los próximos cinco años, Guatemala podría quedarse sin el lago de Amatitlán. Ese es el pronóstico fatal del director de la Estación Acuática de la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA), Jorge Chacón. La tarea más fuerte la esperan con la entrada en ejecución del denominado Mega proyecto, cuyo trabajo pretende llevar a cabo la

canalización de todo el río Villalobos para que sus desechos no lleguen al lago. Esto incluye la instalación de “desarenadores”, trampas para basura y puentes protegidos, así como la adecuación de áreas protegidas y deportivas en las riveras del río, lo cual tendría un costo aproximado de Q 232 millones (Asturias, 2006).

Estudios de la AMSA señalan que Amatitlán está sometido a una muerte lenta por el azolvamiento provocado por la explotación irracional de arena en la zona, aparte del crecimiento desordenado de poblaciones de la cuenca y por la deforestación descontrolada. En la cuenca del lago de Amatitlán (381 km²) hay más de 2.5 millones de habitantes, provenientes del departamento de Guatemala”.

El 24 de julio del 2008 ocurrió el incidente más notorio en el año, el desborde de río Villalobos fue noticia, (5 años antes hubo uno similar) cuando toneladas de lodo y arena arrastraron vehículos y autobuses en el Km., 12 de la carretera al Pacífico. La noticia menciona que a causa de las fuertes lluvias, el caos provocó congestionamientos en accesos a la metrópoli. Tras el desborde del río Villalobos, Villa Nueva fue el área más afectada. A partir de las 14 horas, iniciaron las lluvias, lo que pudo originar una tragedia; ya que 5 años atrás aun no existía la explotación de la capa superficial del suelo ni los movimientos de tierra, en la magnitud que ahora se observan en el área.

A causa de la explotación y extracción de arena, se abre paso a que cuando se registra un evento de lluvia como el de esta ocasión, las propiedades del suelo para retener el agua y lograr que se infiltre (disminuyendo su velocidad y los efectos de esta), se vean mermados evidentemente, ya que queda desprotegido de cobertura vegetal aumentando con esto el nivel de impacto del agua en el suelo, aumentando la cantidad de escorrentía y con ella el arrastre de suelo y arena.

5.18. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL RECURSO HÍDRICO

En el área de estudio, se cuenta con una red de extracción y distribución de agua potable, que aun cuenta con abundante cantidad de agua, la misma se describe a continuación:

Cuadro 8. Fuentes de agua para uso humano de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal y caudales de producción.

No.	Fuente de Agua	Categoría	Producción (m ³ /d)		Δ	Ubicación	Coordenadas UTM (WGS 1984)	
			Época lluviosa	Época Estiaje			X	Y
1	Pozo # 1 (1 Av. "A")	Pozo	170	170	0	San Lucas Sacatepéquez	752295	1616783
2	Pozo # 2 (3ª. Calle)	Pozo	170	170	0	San Lucas Sacatepéquez	752292	1616961
3	Pozo # 3 La Suiza	Pozo	170	170	0	Finca La Suiza Contenta	752262	1617145
4	Pozo # 4 Instituto	Pozo	77	77	0	San Lucas Sacatepéquez	752477	1616261
5	Pozo # 5	Pozo	148	148	0	Caserío Chicaman	753672	1616797
6	El Perol	Manantial	550	533	17	Quebrada el Perol	751930	1615024
7	La Ciénaga	Manantial	28	25.33	3	Cerro Alux	754430	1617307
8	Los Murciélagos	Manantial	45	43	2	Perímetro área urbana	753734	1616989
9	Los Chocoyos,	Manantial	249	187	62	Choacorrall	753547	1614913
10	Del Cerro1,	Manantial	36	30	6	Choacorrall	754695	1616746
11	Del Cerro2,	Manantial	24	18.66	5	Choacorrall	754721	1616730
12	El Tacón	Manantial	60	59	1	Choacorrall	754836	1614317
13	Pozo de Choacorrall	Pozo	213	213	0	Aldea Choacorrall	753887	1615380
14	Pozo de Zorzoyá	Pozo	80	80	0	Aldea Zorzoyá	754756	1613966
15	San José	Manantial	55	55	0	Quebrada el Perol	751849	1614809
16	Chic aman	Pozo	524	524	0	Caserío Chicaman	754430	1617307
17	Pozo "Otoniel Lara 1"	Pozo	No lo usan			La Embaulada	755059	1612435
18	Pozo "Otoniel Lara 2"	Pozo	No lo usan			La Embaulada	755059	1612475
19	Granja "Los Girasoles"	Pozo	No lo usan			La Embaulada	754907	1612177
20	Lot. "Entre Encinos"	Pozo	45.42	45.4	0	La Embaulada	754877	1612211
21	Casa "Shalon"	Pozo	No funciona			La Embaulada	754739	1611986
22	"Don Mario Fernández"	Pozo	No funciona			Carretera a Bárcena	754598	1612375
23	Finca "La Futura"	Pozo	No funciona			Carretera a Bárcena	754455	1612033
24	Chichorin 1	Manantial	622	581	41	Chichorin	751357	1615153
25	Chichorin 2	Manantial	209	173	36	Chichorin	751287	1615907
26	Vista Azul	Pozo	103.51	103.51	0	Residenciales "Vista Azul"	752214	1614112
27	San Lucas	Pozo	No fue posible tomar lectura			A la par de Chichorin	751327	1615581
28	Nacimiento 1	Manantial	83.88	83.88	0	Sector Martínez, Villanueva	758645	1613542
29	Nacimiento 2	Manantial	67.17	67.17	0	Sector Martínez, Villanueva	758043	1612850
30	Pozo No. 1	Pozo	794.86	794.86	0	San José Villa Nueva	759408	1609062
31	Pozo No. 2	Pozo	923.35	923.35	0	San José Villa Nueva	759410	1609061
32	Pozo No. 1	Pozo	Privado, no se tomo lectura.			Finca Labor de Castilla.	754986	1616130
33	Pozo INDE	Pozo	140.92	140.92	0	San José Villa Nueva	759947	1609382
34	Pozo Promisión II	Pozo	817.64	817.64	0	San José Villa Nueva	759416	1609062
35	Pozo # 1	Pozo	1,090.19	1,090.19	0	Bárcena, Villa Nueva	756948	1608943
36	Pozo # 2	Pozo	817.65	817.65	0	Bárcena, Villa Nueva	755972	1609796
37	Pozo # 3	Pozo	1,035.69	1,035.69	0	Bárcena, Villa Nueva	757126	1609266
38	Pozo # 4	Pozo	Privado, no se tomo lectura.			Cerca de la Fragua	758363	1608259
39	Villas de Buenaventura	Pozo	Privado, no se tomo lectura.			San José Villa Nueva	758643	1609854
40	10 calle Zona 2	Pozo	Privado, no se tomo lectura.			San José Villa Nueva	759849	1610043
41	"La Laguna"	Pozo	182.6	182.6	0	San José Villa Nueva	759100	1610208
42	Mirador San Cristóbal	Pozo	953.92	953.92	0	Ciudad San Cristóbal	758882	1614196
43	Finca "La Esmeralda"	Pozo	1,008.43	1,008.43	0	La Embaulada	757038	1613678
Total producción diaria =			11,495.7	11,323.5	=	344,903 m³/mes		

El total de usuarios del servicio de agua municipal son 18,114 hogares (pajas de agua) distribuidos de la siguiente manera: para el municipio de San Lucas Sacatepéquez en el casco urbano, 2,051 para la aldea Zorzoya 193, para la aldea La Embaulada 117, para la aldea Choacorrall 536 y para el caserío Chicamán 151; en el caso de las demás comunidades pertenecientes a los municipio de Mixco, Villa Nueva, Santa Lucia Milpas Altas y San Bartolomé Milpas Altas, se dispone de una información muy general la cual se muestra de forma similar a lo visto gráficamente a continuación en la Figura 3 (según oficinas de aguas y OMP's, 2008).

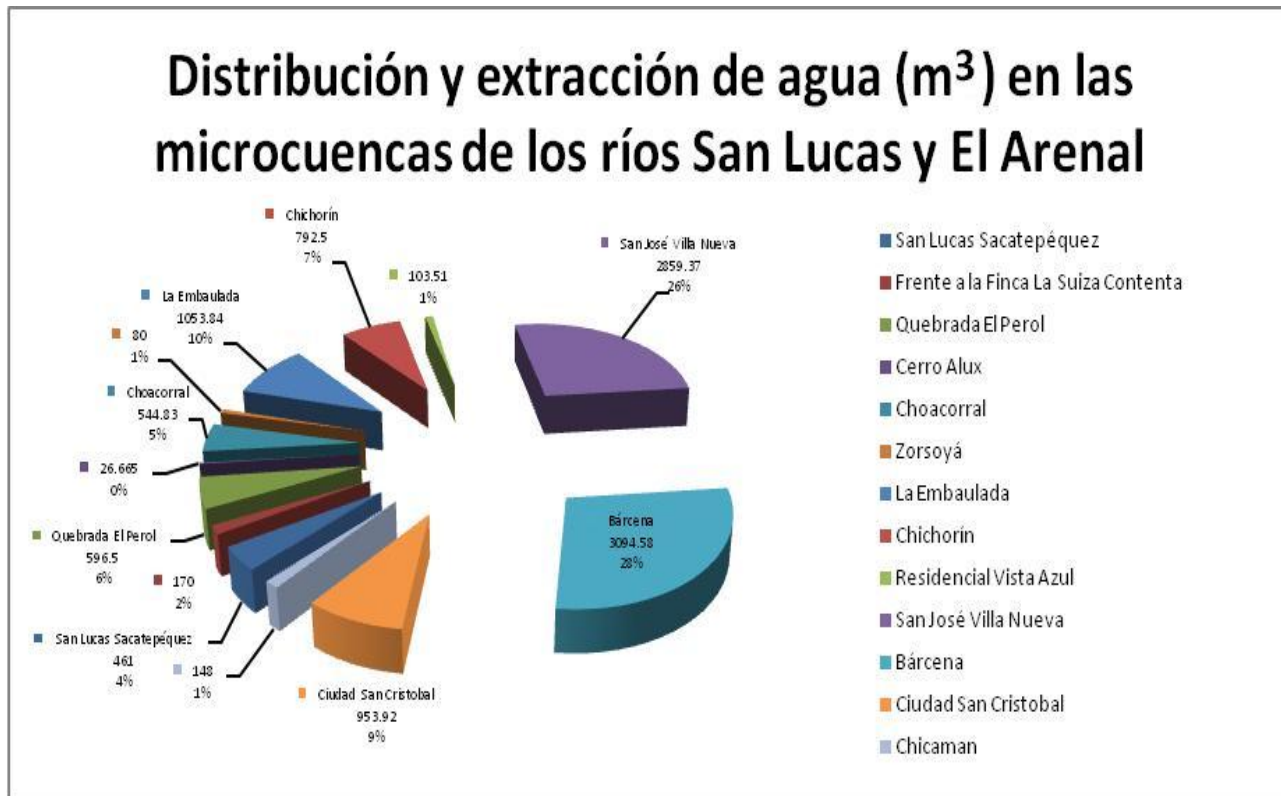
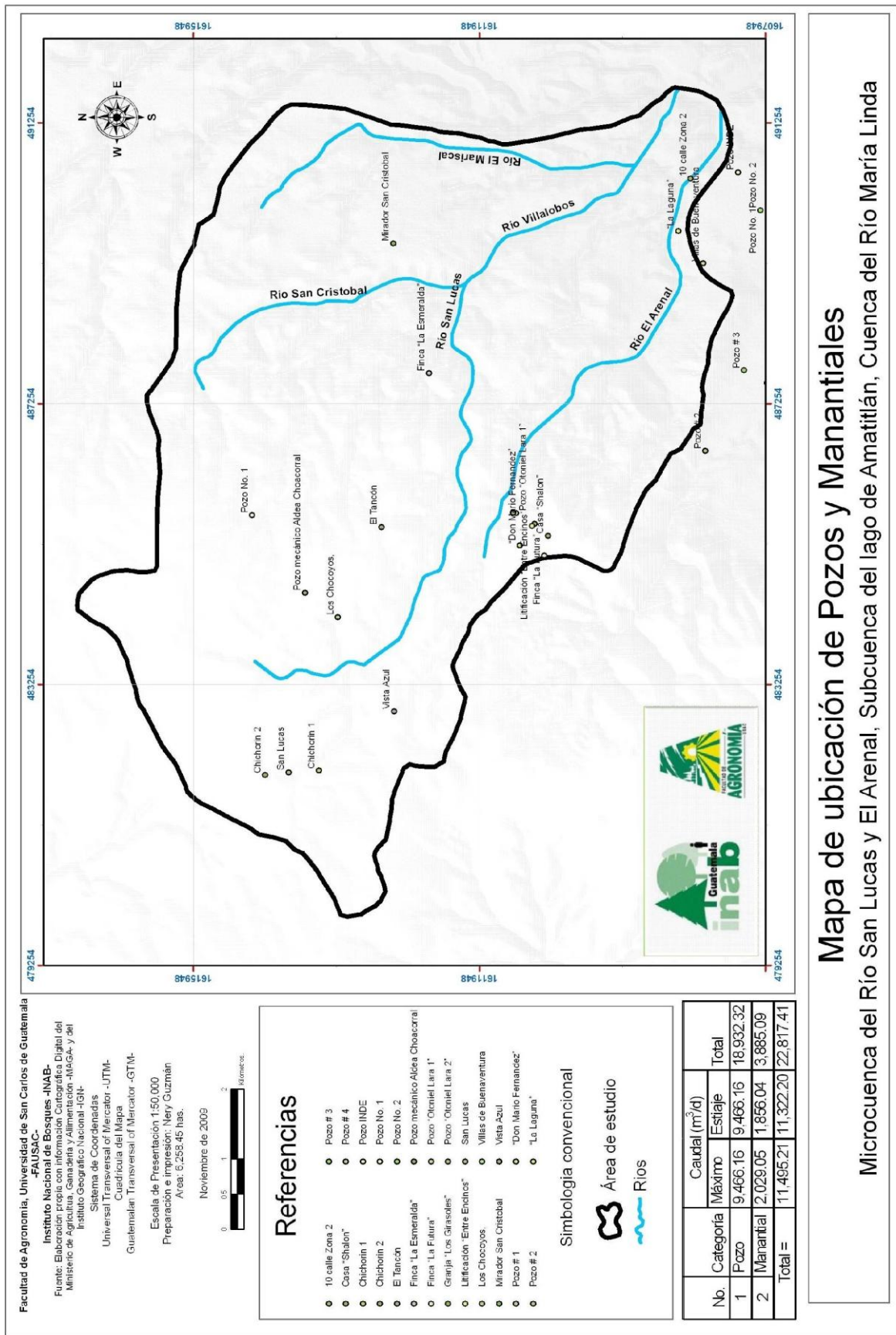


Figura 9. Distribución y extracción del servicio de agua en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Así también se registran 6,032 hogares con servicio de agua potable en la parte de San José Villa Nueva y la colonia Villalobos que se ubican dentro del área de estudio; de la misma manera se registran 524 consumos de agua en la parte de Santiago Sacatepéquez que pertenece a las microcuencas y 1,038 en San Bartolomé Milpas Altas y por último 6,997 en el área del Municipio de Mixco que corresponden a la zona bajo estudio. La extracción de agua proviene de múltiples proyectos de extracción y aprovechamiento de agua, de origen municipal y privado, esta información se presenta en la siguiente figura:



Mapa de ubicación de Pozos y Manantiales
Microcuenca del Río San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del Río María Linda

Figura 10. Mapa de ubicación de pozos y manantiales de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

En la Figura 9, se observa la intensidad del uso del agua en las microcuencas, esto según la demanda actual del recurso, (ver Cuadro 8 y 10) del total de la demanda se observa en la figura anterior (Figura 9) la distribución y la representación en porcentaje del consumo para los **344,903 m³/mes** de producción de agua en promedio para el área de estudio.

La información presentada en el Cuadro 8 y las figuras anteriores, no es la totalidad de la información pues en muchos casos no fue posible el acceso para la toma de datos de caudal y en otros casos las municipalidades y habitantes desconocían la ubicación de algunas fuentes de agua, esto por tratarse de fincas grandes donde el acceso no es permitido.

5.18.1. Demanda actual de agua

5.18.1.1. Consumo humano

Tomando en cuenta una dotación de 0.12 m³/persona (basado en la metodología de UNICEF citado por Fuentes (2005)), se cuenta con una población proyectada, basada en el dato poblacional del censo del 2002 del INE de 108,688 habitantes, tomando en cuenta una tasa de crecimiento (TC) de 1.03 % según el INE (2002) y sabiendo que se cuenta con una recarga de 9,402,700.09 m³ de agua (según datos de balance hídrico y pruebas de infiltración que se pueden ver en el Capítulo II de este documento) se analiza el consumo de agua por medio de una población actual y proyectada, de la manera siguiente:

Cuadro 9. Poblados y población proyectada para el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal .

Poblado	INE 2002	Población proyectada según T.C. del INE 2002			
	Año 2002	Año 2008	Año 2010	Año 2023	Año 2028
La Embaulada	603	720	764	1122	1300
Residenciales Vista Azul	51	61	65	95	110
Zorzoya	436	521	552	811	940
Villas de la meseta	490	585	621	912	1057
Tierra Linda	61	73	77	113	132
Tierra Linda	180	215	228	335	388
Las Julias	38	45	48	71	82
Bosques de San Lucas	148	177	187	275	319
San José	470	561	595	874	1014

Lot. Rosales de San Lucas	53	63	67	99	114
Choacorrall	2688	3210	3405	5000	5797
Litificación Montezuma	128	153	162	238	276
Colonia Jardines de San Lucas	533	636	675	992	1149
Lot. Residencial las Marías	71	85	90	132	153
Lot. San Jorge	84	100	106	156	181
Chicamán	313	374	396	582	675
Jardines de Emanuel	48	57	61	89	104
Los Pinos	57	68	72	106	123
Chipablo	185	221	234	344	399
Col. Jardines de San Lucas II	272	325	345	506	587
Residenciales Florentina	62	74	79	115	134
Club Torino	30	36	38	56	65
Condominio Las Mercedes	38	45	48	71	82
San Lucas Sacatepéquez	8871	10592	11238	16503	19131
Col. Jardines de San Lucas V	76	91	96	141	164
Condominio San José	31	37	39	58	67
Col. Jardines de San Lucas I	439	524	556	817	947
Granjas Swiss	68	81	86	127	147
Colonia Los Alpes	651	777	825	1211	1404
Residenciales El Ensueño	129	154	163	240	278
Colonia Prados de San Lucas	58	69	73	108	125
Lot. Vistas de San Lucas II	113	135	143	210	244
Residencial Los Encinos	37	44	47	69	80
Colonia Dos Robles	122	146	155	227	263
Cerro Alux	217	259	275	404	468
Granjas Santo Domingo	30	36	38	56	65
Población Dispersa	21	25	27	39	45
Residencial María Gabriela	51	61	65	95	110
Residenciales Villalobos	605	722	766	1125	1305
Prados de San José	497	593	630	925	1072
5 de Enero	378	451	479	703	815
Inta Bárcenas	165	197	209	307	356
Valle Morales.	261	312	331	486	563
Valles de María	575	687	728	1070	1240
Amanecer Villalobos	215	257	272	400	464
Anexo Mezquital	67	80	85	125	144
Colonia Resortes Quiche	170	203	215	316	367
El Paraíso	86	103	109	160	185
Villalobos	2296	2742	2909	4271	4952
Las Rosas	33	39	42	61	71
El Pino	529	632	670	984	1141
Los Olivos	252	301	319	469	543
Valle Dorado II	2626	3136	3327	4885	5663
El Calvario	1112	1328	1409	2069	2398
Villa de Las Rosas	360	430	456	670	776
Villas de Sevilla	29	35	37	54	63
Valle Alto	93	111	118	173	201
Roldan	38	45	48	71	82
Terrazas I De San Cristóbal II	1485	1773	1881	2763	3203
Ciudad Peronia	12040	14376	15252	22398	25965
La Selva	1506	1798	1908	2802	3248
Villas Club El Dorado	2310	2758	2926	4297	4982
El Gran Mirador	2551	3046	3232	4746	5501
Villas del Amanecer I y II	3080	3678	3902	5730	6642

Jerusalén, Planes de Vista R	1215	1451	1539	2260	2620
Mirador San Cristóbal	680	812	861	1265	1466
Terrazas II de San Cristóbal I	104	124	132	193	224
Asentamiento Oasis	488	583	618	908	1052
Balcones de San Cristóbal	2251	2688	2851	4188	4854
Ciudad San Cristóbal I	8915	10645	11293	16585	19226
Ciudad Satélite	8796	10503	11143	16363	18969
Bosques de San Jacinto	69	82	87	128	149
Villa San Pedro	55	66	70	102	119
Kristal	4	5	5	7	9
Villa Claret	126	150	160	234	272
Pinares de San Cristóbal	1702	2032	2156	3166	3671
Ciudad Saturno	94	112	119	175	203
Colonia Monte Real	670	800	849	1246	1445
Los Laureles	18	21	23	33	39
Jardines	280	334	355	521	604
Calzada Mateo Flores	218	260	276	406	470
Loma Verde	20	24	25	37	43
El Aguacate	2732	3262	3461	5082	5892
Santa Bárbara I	186	222	236	346	401
Olivares I	19	23	24	35	41
Las Mercedes	44	53	56	82	95
Las Praderas I Y II	279	333	353	519	602
Villa de Mixco	75	90	95	140	162
Cristalinas	70	84	89	130	151
Pirámide	27	32	34	50	58
Los Olivos	45	54	57	84	97
Colonia Chaparral	211	252	267	393	455
El Campanero	901	1076	1141	1676	1943
Kilometro 15 1/2	27	32	34	50	58
G & T I	118	141	149	220	254
Valle de San Cristóbal	387	462	490	720	835
Bellos Horizontes	46	55	58	86	99
Ciudad San Cristóbal II	2442	2916	3093	4543	5266
Lomas de San Cristóbal	74	88	94	138	160
Los Magueyes	345	412	437	642	744
14 de Octubre	289	345	366	538	623
Los Encinos	19	23	24	35	41
La Pérez	60	72	76	112	129
La Asunción	222	265	281	413	479
Los Ángeles	222	265	281	413	479
Jardines de San Cristóbal	91	109	115	169	196
Las Ceibas	200	239	253	372	431
Prados de San Cristóbal	11	13	14	20	24
San Francisco III	277	331	351	515	597
Loma de Minerva	511	610	647	951	1102
Valle de Minerva II	1054	1259	1335	1961	2273
Alta Vista	74	88	94	138	160
Miralvalle	425	507	538	791	917
Valle III	52	62	66	97	112
Arcos II	48	57	61	89	104
Santiago	153	183	194	285	330
Valle II	325	388	412	605	701
Fuentes del Mirador	92	110	117	171	198

Venecia	56	67	71	104	121
Arcos I	74	88	94	138	160
Valle I	105	125	133	195	226
El Dorado	20	24	25	37	43
Valles del Naranjo	58	69	73	108	125
Saint Morita	31	37	39	58	67
Mayorca	20	24	25	37	43
Las Georginas	179	214	227	333	386
Paisajes de San Cristóbal	1294	1545	1639	2407	2791
Orleans I y II	166	198	210	309	358
Vista Real I y II	76	91	96	141	164
Panorama (San Cristóbal)	3751	4479	4752	6978	8089
Eben Ezer	29	35	37	54	63
Lo de Bran III	402	480	509	748	867
Bella Vista	745	890	944	1386	1607
San Remo	61	73	77	113	132
Bristol	64	76	81	119	138
Loma Linda	48	57	61	89	104
San Jacinto	1248	1490	1581	2322	2691
Los Altos	144	172	182	268	311
Royal Hill I	57	68	72	106	123
Condominio Real Minerva	68	81	86	127	147
Loma Real	824	984	1044	1533	1777
Hamburgo	813	971	1030	1512	1753
Santa Ana	151	180	191	281	326
Bella Vista II	39	47	49	73	84
Lo De Coy	7979	9527	10108	14843	17207
Quintas de Don Pedro II	13	16	16	24	28
La Libertad	955	1140	1210	1777	2060
Jardines de Emanuel	48	57	61	89	104
Totales=	108,688	129,779	137,683	202,192	234,396

Los proyectos de abastecimiento de agua potable para que sean funcionales, se diseñan como mínimo para un periodo de 20 a 25 años, tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional. En el caso de las comunidades que dependen de la recarga hídrica de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal; para el aprovechamiento de agua con fines de consumo humano, se realizaron las proyecciones de población y la demanda de agua con un periodo de 20 años (2008 – 2028). El método que se utilizó, fue el del Índice de crecimiento geométrico, el cual consiste en lo siguiente:

$$P_f = P_i (tc)^n$$

Donde:

P_f = Población final.

P_i = Población actual o inicial.

tc = Tasa de crecimiento anual de la población expresado en forma decimal. (dato que se obtiene en el INE)

n = Periodo de diseño. (Años).

Para el año 2008, en el área de estudio se registra una población de 129,779 habitantes (ver Cuadro 9) y para el efecto de realizar una planificación a mediano y largo plazo, se realizaron proyecciones para el 2010, 2023 y 2028 y así estimar el nivel de consumo de agua bajo estos factores.

La proyección de consumo de agua se hace de forma resumida para cada municipio, tomando en cuenta los habitantes de cada localidad mencionada en el Cuadro 9 y la información de consumo de agua del Cuadro 8; esto se detalla en el cuadro siguiente.

Cuadro 10. Proyección de la demanda de agua para consumo humano en las comunidades de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Municipio	Población según Censo INE (2002)	Población proyectada Según INE 2002		Consumo de Agua m ³	
		Año 2010	Año 2028	Año 2010	Año 2028
San Lucas Sacatepéquez	17,902	22,678	38,607	993,284	11,691,000
Villa Nueva	35,897	45,473	77,415	1,991,728	31,390,784
Mixco	53,873	68,245	116,182	2,989,118	51,088,773
San Bartolomé Milpas Altas	968	1,226	2,088	53,709	91,436
Santiago Sacatepéquez	48	61	104	2,663	4,534
Totales =	108,688	137,683	234,396	6,030,503	101,266,527

En el área habitan para el 2008, 129,779 habitantes, los cuales consumen 344,903 m³/mes que equivale a **4,138,836.00 m³/año** (ver Cuadro 8), y para el 2010 (ver proyección en el Cuadro 10) se aprovechan **6,030,503 m³/año⁷** y dado el crecimiento demográfico a razón de una tasa de 1.03 % (según INE 2002) la reducción de la capacidad de infiltración de los suelos a causa de la deforestación y sus efectos, traduce esto en una regeneración del mato freático con problemas o deficiencias.

No obstante lo anterior puede variar, ya que de momento se hacen estos estimados de consumo de agua y de población, tomando en cuenta una población proyectada con un crecimiento poblacional de 1.03 % anual, siendo esto para un periodo de 20 años a partir del 2008 (Año 2028); es decir que se puede obtener un dato más exacto de consumo y aprovechamiento de agua obteniendo datos más precisos de población, siendo estos fruto de un censo poblacional y la cuantificación de caudales de riego en los proyectos

⁷ Con este dato se puede constatar que la recarga de 9,402,700.09 m³/año que ocurre en el área de estudio según lo indicado en el Capítulo II de este documento, es únicamente 56 % mayor que el dato de consumo para el 2008 y para el 2010 es únicamente 35.86 % mayor; lo que indica una reducción de 20 % de reserva de agua subterránea en únicamente 2 años.

agrícolas en el área de estudio, en ocasiones futuras, pero según la información colectada actualmente, los datos anteriores nos remiten a un panorama alarmante, donde se muestra la baja regeneración del manto freático y la escasa capacidad del mismo de mantener los proyectos de extracción de agua para las generaciones futuras.

La recarga en la zona con base en lo anterior, no será capaz de mantener los proyectos de agua potable por mucho tiempo, ya que según lo que reporta Asturias (2006) la capacidad de recarga del manto se reduce considerablemente (del 2006 al 2008 se redujo 50 mm., de recarga anual), lo que indica que en la actualidad, el manto freático no se está regenerando lo suficiente; por lo tanto ocurre una sobre explotación y merma de las capacidades del acuífero para las poblaciones de un futuro próximo, lo que es importante tomar en cuenta en esta caracterización.

Esto indica que si al menos las áreas donde se registra recarga hídrica (ver Figura 13 en Capítulo II) se logran mantener intactas, se pueden prolongar por más tiempo las condiciones actuales de carga y descarga de agua que existen en el área.

Claro está que según el crecimiento poblacional, se requerirá de incrementar los focos de aprovechamiento de agua, los cuales deberán contar con una planificación estratégica, para no sobre explotar la reserva natural de agua con la que cuenta el área de estudio.

Sumado a lo anterior, el mal manejo de las áreas de recarga hídrica y la contaminación de las aguas superficiales, la mala disposición de los desechos sólidos y/o líquidos que contaminan el agua superficial y sub superficial (condiciones que imperan en la actualidad por adolecer de sistemas de drenaje eficiente y plantas de tratamiento de aguas residuales) podrían disminuir la disponibilidad del agua para el consumo humano en el área de estudio.

Este contexto se ha discutido sin tomar en cuenta el componente agrícola o necesidades de agua para riego en el área de estudio, esta información se analiza y discute en el siguiente inciso.

5.18.1.2. Uso agrícola del agua

En el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, se encuentran múltiples campos de cultivo (basado en el mapa de uso de la tierra 2008 para el área en estudio, ver Figura 7 en este capítulo), dentro de los que se encuentran granos básicos, plantaciones forestales y frutales que no utilizan riego en ninguna época del año, hasta los campos de cultivo con hortalizas, las cuales si requieren de riego durante la época seca.

Con base en lo anterior, se determina la necesidad de realizar en un futuro próximo, una investigación específica para cuantificar estas necesidades de riego, y así estimarlas dentro de los requerimientos de agua totales y realizar una proyección de las necesidades básicas de agua en el área de estudio.

5.19. PROBLEMÁTICA DE LA MICROCUENCA DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL

5.19.1. Problemas identificados

Con base en la información colectada por la técnica de “Diagnostico Rural Participativo” practicado con la comunidad en estudio, se obtuvo la siguiente problemática general.

5.19.1.1. Medio ambiente (en general)

- Erosión de suelos.
- Contaminación de agua superficial.
- Extinción de flora y fauna por la disminución de hábitat.
- Avance de la frontera agrícola, disminución cobertura forestal.
- Mal ordenamiento territorial.
- Escasez de áreas verdes y recreativas.
- **Ineficiencia de la red vial.**
- **Carencia de áreas verdes y recreativas.**

5.19.1.2. Salud

- Contaminación de fuentes de aguas subterráneas y superficiales.
- **Bajo suministro de agua para consumo humano.**

- **Falta de infraestructura, (educativos, salud, drenajes, otros).**
- Basureros clandestinos.
- **Escasez de centros de salud.**

5.19.1.3. Agua

- Escasez de agua para consumo humano.
- Falta de pozos artesanales.
- Escasez de pozos mecánicos.
- **Degradación del recurso agua.**

5.19.1.4. Bosque y agricultura

- **Degradación del recurso suelo.**
- Sistemas de monocultivos sin asistencia técnica.
- No existe diversificación ni rotación de cultivos.
- Avance de la frontera agrícola.
- Deforestación.
- **Uso inadecuado del bosque.**
- Poco manejo del bosque natural.

5.19.1.5. Organización Social

- **Déficit en el sistema de organización social.**
- Inadecuado aprovechamiento de los recursos naturales.
- Inexistencia de centros de acopio.
- Poca infraestructura social (salón comunal).
- Poca gestión de recursos.

5.19.1.6. Económico

- **Poco desarrollo económico.**
- **Desempleo.**
- Emigración.
- Mal aprovechamiento de la tierra.
- Minifundios.
- Baja calidad de vida.
- Delincuencia.

- Necesidades insatisfechas.
- Viviendas sencillas.

5.19.2. Priorización y síntesis de la problemática

Los anteriores son la lluvia de comentarios e idea de la problemática sentida en conjunto por parte de la población. En la delimitación de los problemas que se encontraron dentro de las microcuencas; se sintetizaron y analizaron para planificar de una manera más eficiente los proyectos de trabajo; para que con la implementación de los mismos se mejoren las condiciones tanto económicas como ambientales de la población en estudio.

Los aspectos tomados en cuenta para esta primera priorización fueron los de las necesidades más sentidas por la comunidad, siendo ellos los mas manifestados por las personas y según los listados anteriores son los que se colocan con letra **negrita**. En otras palabras, la población participante en los “DRP” (Diagnostico Rural Participativo) coincidió en muchos casos con uno o varios problemas en particular, eso indica que es un problema que no solo afecta a un sector ni lugar de las comunidades si no a varios, por lo tanto es un problema prioritario, de los cuales se enumeran los siguientes (ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Delimitación de problemas encontrados en el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

No.	Aspecto	Problema	Código de priorización(*)
1	Ambiente General	Ineficiencia de la red vial	A
		No tienen suficientes áreas verdes ni recreativas	C
2	Salud	Deficiencia de suministro de agua para consumo humano	A
		Bajos niveles de Salud Publica	B
		Falta de infraestructura, (educativos, salud, drenajes, otros)	B
3	Agua	Degradación del Recurso Agua	A
4	Bosque y agricultura	Degradación del Recurso Suelo	A
		Uso inadecuado del bosque	A
5	Organización social	Déficit en el sistema de organización social	A
6	Económico	Bajo nivel económico	A
		Desempleo	A

(*) Las literales corresponden a los siguientes valores numéricos en el orden de importancia: A= Muy importante, B= Medianamente Importante C= Poco importante D= Sin importancia

Es de suma importancia reconocer los problemas que se presentan en el área de las dos microcuencas en estudio, para lo que se les asigna un orden de prioridad; así se les

determinan sus causas y efectos, con el fin de dar propuestas de soluciones o lineamientos de manejo que puedan implementarse para mejorar y lograr tanto el desarrollo de la región como la conservación de sus Recursos Naturales.

El avance de la frontera agrícola y urbana, es generado por la necesidad de alimentación y de vivienda para el constante incremento de pobladores que habitan las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, con una alta influencia de migración proveniente de la ciudad capital y en segundo plano, la proveniente de otros departamentos con fines de acercamiento a la metrópoli; esto genera a su vez que la deforestación y la urbanización aumente, lo cual incrementa la impermeabilidad y vulnerabilidad de los suelos, provocando esto la erosión del mismo.

Por otro lado, el desbalance hídrico es uno de los muchos efectos que la deforestación genera; esto provoca una lenta recuperación de los mantos acuíferos o depósitos subterráneos de agua.

La cercanía a la ciudad capital, ha provocado la inmigración de personas provenientes de diversos lugares del país en busca de oportunidades de trabajo en la capital, o bien personas de la capital en busca de condiciones más sanas y tranquilas para vivir, ven en el área en estudio una oferta cercana y muy viable. Por estas y muchas razones más, es necesario crear un plan de manejo de los recursos y un Plan de Ordenamiento Territorial, que rescate lo que este lugar posee y aumentar el desarrollo humano de la población e incluso hacerlo un lugar más estable en todos los aspectos, lo que aumentaría notablemente el turismo mejorando a causa de esto su economía, la calidad de vida de las personas y coadyuvar a la sostenibilidad y conservación del área.

5.19.3. Descripción de la problemática

5.19.3.1. Problemas priorizados

Después de realizar la investigación de la problemática del territorio, se delimitaron los problemas sociales, ambientales e institucionales prioritarios que se dan dentro de la misma. En los que se analizó las causas y efectos que tiene cada uno de ellos.

Con los siguientes árboles de problemas se pretende describir las diferentes problemáticas que afectan a la microcuenca de los ríos San Lucas y el Arenal, los cuales se explican y grafican por medio de arboles de problema, en los siguientes incisos:

5.19.3.1.1. Degradación del recurso suelo

Este es uno de los principales problemas que posee el área, debido a que una de las causas es la urbanización y el avance de la frontera agrícola, ya que en los dos casos se remueve la cobertura forestal dejando el suelo sin la capacidad de retener el agua de lluvia por el tiempo suficiente para que esta infiltre, además se remueve la cobertura vegetal la cual es clave para amortiguar el impacto de la gota de lluvia sobre la superficie del suelo.

La carencia o inexistencia de los anteriores factores provoca que aumenten los caudales de escorrentía y con ello aumente la erosión de los suelos, que ayudados por el relieve escarpado que impera en el área, el problema de la “degradación del recurso suelo” sea de suma importancia ya que en su mayoría la población se dedica a la agricultura, por lo tanto depende del suelo y de sus buenas propiedades físicas y químicas para mantenerse.

De los múltiples efectos que puede tener este problema es la modificación ambiental en donde los paisajes naturales (Bosques y ríos) se van deteriorando y provocando la migración o extinción de las especies locales a otras áreas y al mismo tiempo la masa boscosa y las especies se van perdiendo con el tiempo.

Para el caso de la “alta degradación del recurso suelo” donde se plantea en un primer nivel de la problemática (Causas) la baja planificación familiar, la ausencia de servicios técnicos, el poco apoyo de las instituciones del estado, la baja cultura ambiental, las malas costumbres agronómicas, la baja capacidad económica y los rendimientos bajos de cosecha; esto significa que corrigiendo estas causas principales del problema, podrán corregirse los efectos (en la parte de arriba) que giran en torno de la problemática central.

Lo anterior se describe de forma esquemática en la Figura 11, con el árbol problema 1 que se denomina “Alta degradación del recurso suelo” que se constituye como tema central en el análisis de este árbol de problemas; dicha información se describe a continuación.



Figura 11. Árbol problema 1 “Alta degradación del recurso suelo”

En la figura anterior se analiza la problemática, de manera que se ubican las causas (abajo) del problema central (en el centro) y los efectos (en la parte de arriba); conociéndosele a esta figura como “Árbol de problema”, la cual permite analizar todos los aspectos vinculados con la problemática y conocer los orígenes de cada una de ellas y que gira en torno de una situación en particular.

5.19.3.1.2. Contaminación del agua superficial

La contaminación del agua superficial es uno de los principales problemas que afecta a la población del área en estudio; por lo que las principales causas que provocan esta situación son la alta presencia de industrias y comercios en la parte alta del área en estudio, la densidad poblacional y el grado de urbanidad que existe en la misma, así como la falta de una red de drenaje eficiente y la ausencia de plantas de tratamiento de aguas

residuales; cabe mencionar que existe contaminación por prácticas agrícolas deficientes así como la ausencia de ellas en los campos de cultivo.

La contaminación del agua superficial contribuye a que los paisajes naturales se deterioren provocando la pérdida de fauna del área (peces, ranas, mamíferos, insectos, etc.) y flora provocando un desequilibrio en el ecosistema, ya que algunos de estos animales puede servir como indicador de algún cambio en el ambiente o como controlador de plagas.

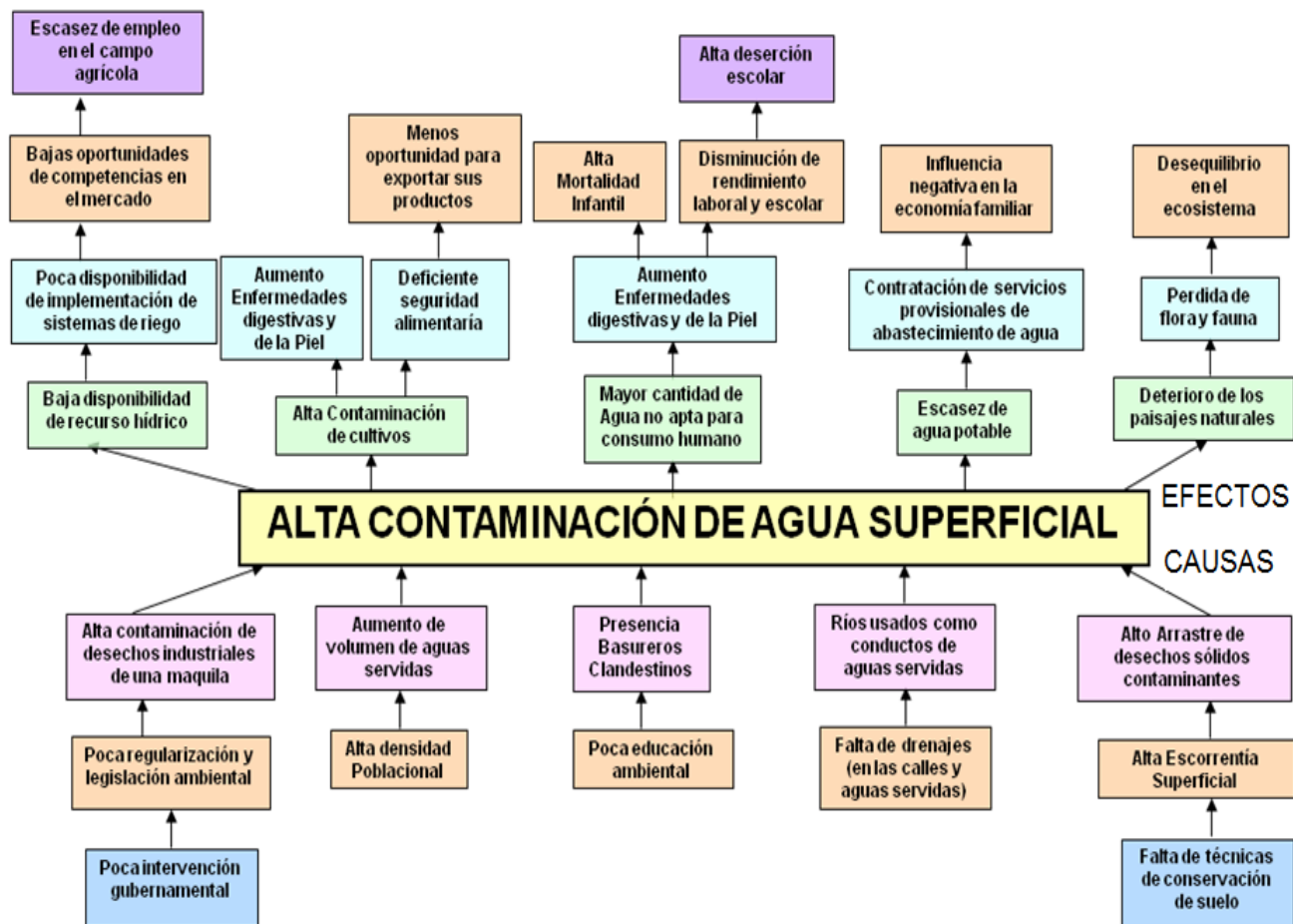


Figura 12. Árbol problema 2 "Alta contaminación del agua superficial"

De la misma manera que la Figura 11, en este esquema se analizan las causas y los efectos que giran en torno de la problemática central que se conoce como la "Alta contaminación del agua superficial" por medio de un desglose de las causas del problema y los efectos del mismo.

5.19.3.1.3. Uso inadecuado del bosque

La presión que pesa sobre el bosque en el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, es producto de un inadecuado ordenamiento territorial y tenencia de la tierra, ya que se le da un tratamiento o uso al suelo, lejos de sus capacidades productivas, este problema data de muchos años atrás y tiene raíces muy bien profundas, por lo que la solución debe encontrarse en la implementación de un plan de ordenamiento territorial y la implementación de planes de forestación, reforestación y recuperación de las áreas degradadas (en especial aquellas que se constituyan como de recarga hídrica).

Los efectos de la pérdida de la masa boscosa, conllevan a la existencia de un desbalance hídrico dentro del área de estudio, y por consiguiente que los periodos de lluvia se acorten; provocando sequías y disminución de cosechas, entre otros efectos; tal como la erosión de los suelos, provocando que pierdan su capa fértil y por consiguiente la calidad y cantidad de producción disminuye, aumentando los niveles de dependencia, pobreza y desnutrición.

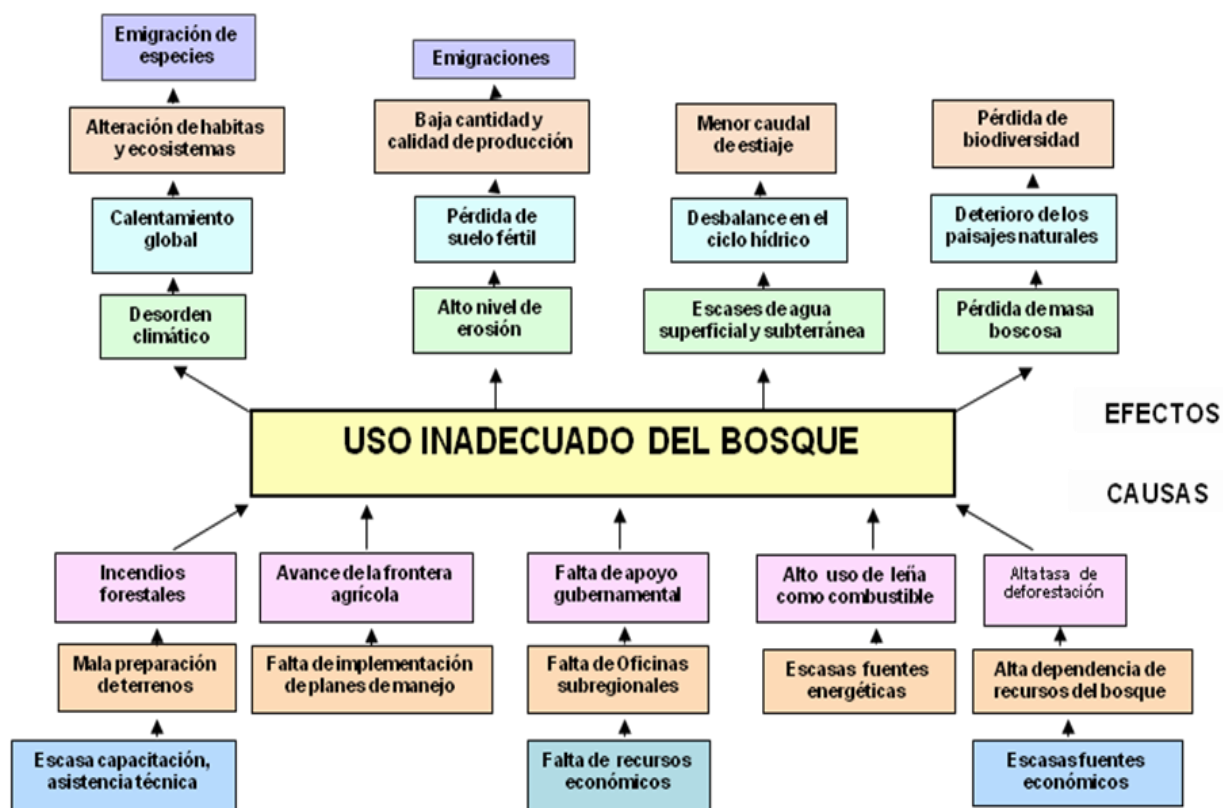


Figura 13. Árbol problema 3 “Uso inadecuado del bosque”

En la anterior figura se analizaron las causas y los efectos principales de proporcionarle un “Uso inadecuado al bosque” lo que permite delimitar los puntos necesarios de atención para corregir los efectos de dicho problema y coadyuvar a brindarles a los pobladores una mejor calidad de vida y propiciar una regeneración natural adecuada a los recursos forestales de la zona.

5.19.3.1.4. Deficiente sistema organizacional

En este árbol, puede observarse que las principales causas del problema son la deficiente coordinación municipal, el bajo nivel educativo, el poco interés de la población y la poca tecnología con la que se cuenta, la falta de conciencia social y de interés; son reflejos de la falta de educación y cooperativismo con que la población de las microcuencas se encuentra.

Existen pocos incentivos que logren que la población se organice y desee proteger el medio ambiente, sin saber que al protegerlo se protegen a sí mismos, esta falta de conocimientos e incentivos, provoca que la gente, agricultores y otros realicen actividades inapropiadas, tales como prácticas agrícolas equivocadas, sobre explotación de los recursos, etc., así como ignorar que al urbanizar un área con cobertura forestal (cambio de uso) se limitan la capacidad que tienen los suelos y los mantos acuíferos de regenerarse naturalmente; en otras palabras se alteran las condiciones físicas que permiten la infiltración y la recarga hídrica

Los efectos de lo anterior, se traduce en desgaste del suelo y con ello pérdida de la fertilidad del mismo; lo que en un corto lapso de tiempo provoca que los productos agrícolas sean menos rentables; así también que el medio ambiente y el ciclo hidrológico natural, se vean seriamente alterados.

El tener déficit en el sistema organizacional se genera también un inadecuado aprovechamiento de los recursos naturales, poca gestión en recursos, dejándolos en último plano o en el olvido. Se necesita la existencia de una mejor organización, para que hayan encargados de las diversas áreas de interés tanto ambientales, como educacionales o formativas a todos los niveles de la población; esto se plantea de forma esquemática en la siguiente figura.



Figura 14. Árbol problema 4 “Deficiente sistema de organización social”

En la anterior figura se analizaron las principales razones de que exista un “Deficiente sistema organizacional” y los efectos principales que esto conlleva, lo que permite delimitar los puntos necesarios de atención para poder corregirlos y coadyuvar a brindarles a los pobladores una mejor formación y calidad de vida; ya que se infiere en el hecho de que si existiese una organización y vínculos sociales que permitan aplicar las leyes relacionadas con los recursos naturales, la población se encontraría en un mejor contexto social, económico y sobre todo ambiental.

5.19.3.1.5. Deficiencia de suministro de agua para consumo humano

Existe un escaso recurso financiero, y deficiente apoyo municipal para lograr una red de distribución de agua potable capaz de abastecer a toda la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, ya que a pesar de la cantidad de agua existente, esta no es aprovechada de la misma manera por toda la población.



Figura 15. Árbol problema 5 “Deficiencia de suministro de agua para consumo humano”

En la Figura 15 se plantean las principales causas y los efectos de que exista una “Deficiencia en el suministro de agua para consumo humano” porque a pesar que existe por el momento suficiente agua para abastecer a toda la población del área, no toda ella tiene acceso al agua entubada o potable, ya que en muchos casos las personas necesitan acudir a los lugares públicos a lavar su ropa y a colectar agua para los usos domésticos; esto indica que existe deficiencia en la distribución de este vital líquido y que muchas personas no cuentan con la atención o los servicios que deberían, todo en materia del suministro de agua para consumo humano.

5.19.3.1.6. Bajo nivel económico

Este fenómeno o problema, es generado por el desempleo, baja inversión, pocas oportunidades de trabajo, desigualdad en la tenencia de la tierra, las altas tasas de crecimiento poblacional que se genera con la falta de planificación familiar; provocando a su vez bajo nivel académico, gestión comunal ineficiente. Todo esto provoca ineficiencia en los servicios, delincuencia, los flujos migratorios (migración e inmigración) que

provoca todo lo antes mencionado, así también la desintegración familiar, problemas emocionales, etc.

El sobre uso de los suelos para subsistir es otro efecto que provoca la degradación del suelo, deforestación por avance de la frontera agrícola, que al final de cuentas no es efectivo pues se generan productos agrícolas que no satisfacen las necesidades de la población, debido al bajo crecimiento y rendimiento de los productos, lo que provoca problemas de bajos niveles económicos a la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, al igual que la mayoría de lugares en el país; a continuación se presenta un análisis de los factores que giran en torno de esta problemática.



Figura 16. Árbol problema 6 “Bajo nivel económico”

Con base en el anterior análisis, se define que sería de gran ayuda generar pequeñas industrias que incitarían a crecer económicamente; con el tiempo podrían crearse empresas más grandes. Para empezar podrían crearse industrias artesanales y promover más la labor que muchas mujeres podría proporcionar como trabajos manuales y otras labores que mejorarían tanto la condición económica como cultural, así como la industrialización de productos locales, ya que es una zona que produce gran variedad de insumos y alimentos, además de aprovechar el potencial turístico del área, ya que debido

al clima y la vegetación es una zona muy agradable para muchos y de esa manera evitar los flujos migratorios que se dan en el lugar.

5.19.3.1.7. Ineficiencia en la red vial

La ineficiencia en la red vial que se vive dentro de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, se da principalmente en el área rural, ya que según expresan los pobladores son áreas olvidadas por los gobiernos locales y ocasionan que estas no tengan un desarrollo apropiado en cuanto a infraestructura, tal es el caso de las carreteras.

Debido a lo anterior, el transporte en las áreas rurales es limitado ya que no es accesible a todos los poblados dentro del área en estudio y por consiguiente este es escaso y el precio del pasaje es alto, por lo que los costos de los productos que se cosechan, se elaboran o comercializan en el área rural, aumentan debido al valor agregado que estos obtienen a causa de este problema, esto también ocasiona que el PIB (Producto Interno Bruto) de las microcuencas disminuya.

Esta información se presenta de forma esquemática en la siguiente figura:



Figura 17. Árbol problema 7 “Ineficiencia en la Red Vial”

Con base en la Figura 17 se plantean las principales causas y los efectos de la problemática principal en este caso, conocida como “Ineficiencia de la red vial” que es un indicador económico del lugar; se sabe que si existen buenas condiciones para el transporte y movilización de la población, el bienestar y el desarrollo es progresivo; caso contrario ocurre en aquellos lugares donde a la población se les hace difícil movilizarse, esto causa problemas incluso a nivel de salud, ya que en el momento de una emergencia de intervención médica, sea cual sea el caso, debido a la dificultad de movilización el enfermo puede no tener las mismas oportunidades ni las condiciones para asegurar su salud.

Uno de los efectos más importantes que hay, es que se limita el acceso a la salud y educación debido a la dificultad de tránsito de vehículos y el acceso a transporte; por consiguiente si estas vías no están en buen estado las personas no tienen acceso a estos y otros servicios básicos.

5.19.3.1.8. Alta tasa de desempleo

Las causas de la problemática central fueron analizadas desde los puntos de vista sociales tales como la demografía, tenencia de la tierra, escasez de capacitación a la población, poca inversión comercial y la poca gestión estatal. Este fenómeno se analiza de forma grafica en el siguiente árbol de problema.



Figura 18. Árbol problema 8 “Alta tasa de Desempleo”

Los anteriores factores analizados, originan los efectos sociales tales como economía en subdesarrollo y altos índices de delincuencia principalmente.

El desempleo es uno de los problemas que afecta a todo el territorio nacional, este es uno de los problemas que más se hace presente en la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, ya que en muchos de los casos a los jefes de familia les es necesario emigrar para obtener una oportunidad de trabajo y mantener a sus familias, tal es el caso de las personas (hombres y mujeres) que a diario viajan a la capital en busca de empleo y aquellos que toda su vida dependen de un empleo en la capital u otro lugar fuera de su pueblo para poder trabajar, incluso viajan a los Estados Unidos de Norte América y la Unión Europea.

La situación económica a nivel nacional es un reflejo de lo que ocurre en cada lugar de nuestros pueblos, pues la escasez de empleo por la falta de inversiones y la elevada competencia que existe en cada puesto, en cada nivel de preparación y ámbito de trabajo debido a factores culturales y demográficos, entre otros; contribuyen a que persista un nivel económico por debajo de los indicadores de una economía en desarrollo,

Al vincular lo anterior con los Objetivos de desarrollo del milenio (ODM) nos sumerge en una situación incorregible a corto plazo, ya que debido a la injusta desigualdad económica que impera en el país, en primer lugar no es tan fácil lograr “Erradicar el hambre y la desnutrición” en Guatemala, así también lograr “educación primaria universal” entre otros, por lo tanto la problemática en el área de estudio es sumamente compleja y no se traduce únicamente a problemas sociales, si no también ambientales.

Dicho de otra manera; lo analizado en la figura anterior, es lo que contribuye a una economía que permanece en subdesarrollo, lo que conlleva a condiciones de vida precarias en la mayoría de los casos, pues existe mayor población que vive en la pobreza y pobreza extrema que aquellos que viven en condiciones de satisfacer sus necesidades básicas sin problema.

Lo anterior contraviene a lo que dicta en los propósitos a nivel internacional para mejorar las condiciones de vida de los países, lo cual se plasma en los “ODM” (consultar en línea www.undp.org.gt/frmAcercaODM.aspx) que son promulgados con fines de planificación y

desarrollo de las comunidades del área rural y urbana, con propósitos de un buen aprovechamiento de los recursos, tanto naturales como los económicos y humanos; así como mejorar la calidad de vida de las personas.

5.19.3.1.9. Árbol general de problemas

Es de suma importancia reconocer los problemas que se presentan en el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, objeto de estudio en este caso, así como sus causas y efectos de forma general; esto con el fin analizar de tal manera que permita proponer soluciones viables por medio de planes de manejo que puedan implementarse para mejorar a las condiciones de la población y así corregir estos múltiples problemas y lograr tanto el desarrollo de la región como la conservación de sus recursos naturales.

En el área pueden verse muchos problemas que acarrearán efectos nocivos para la población, tal es el caso de la contaminación del agua superficial que provoca enfermedades, ocasionando así problemas sociales e inestabilidad económica.

El avance de la frontera agrícola, es generado por la necesidad de alimentar al exceso de población que habita en las microcuencas, este genera a su vez deforestación que conlleva nuevamente a la erosión.

La falta de infraestructura para el tratamiento de la basura y aguas residuales, tal como plantas de tratamiento de aguas residuales y plantas de tratamiento de desechos sólidos, ocasionan que incrementen los niveles de contaminación en el área de estudio.

La debilidad del sistema de educación, dentro de la que se incluye la educación ambiental (en personas adultas y niños (as)); es causa de la carencia de recursos económicos, tanto por parte del estado, (ya que no invierten en ello o no le dan prioridad), como de los gobiernos locales y organizaciones individuales, empresas, etc.

Los anteriores entre otros muchos factores generan las condiciones de vida sociales y ambientales de la población de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, estas se analizan de forma general, las cuales originan el problema general denominado “Deficiente gestión del recurso hídrico que afecta en las condiciones socioeconómico y ambientales” de la siguiente manera:

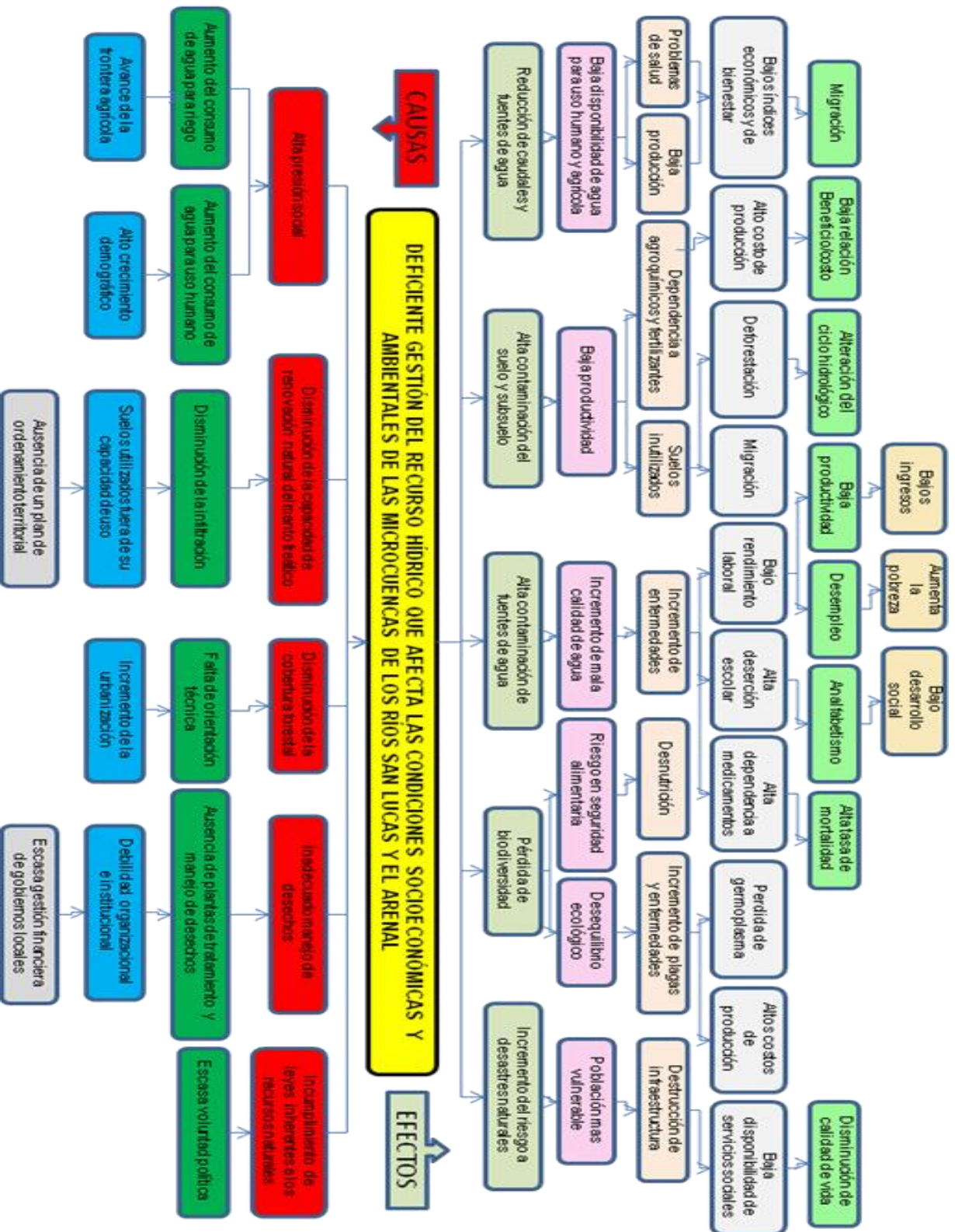


Figura 19. Árbol general de problema “Deficiente gestión del recurso hídrico que afecta en las condiciones socioeconómicas y ambientales de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal”

Aunado a lo anterior, existen otros muchos casos, en los que el incumplimiento de los planes de gobierno tanto locales como nacionales, la falta de atención a temas como la falta de empleo, la economía familiar en deterioro, la falta de oportunidades y apoyo para el desarrollo de las familias y los pueblos, tanto del área rural como urbana y la desarticulación de esfuerzos tanto del gobierno local, central y la iniciativa privada para promover mejores condiciones de vida y de desarrollo para la población, son factores que sumados a los problemas ambientales diversos, merman el bienestar de las familias tanto en el área de estudio como a nivel nacional.

Debido a lo anterior es que el tema de educación en general, educación ambiental y el manejo sostenible de los recursos, es una situación desconocida para la mayoría de la población.

A causa de los múltiples problemas económicos a nivel familiar, muchos niños (as) se ven forzados (as) a trabajar en lugar de estudiar, vedándose de esa manera el derecho a la educación, que según los ODM este es uno de los principales aspectos a cumplir y corresponde al objetivo de “Garantizar la educación primaria universal”; según el programa de las naciones unidas para el desarrollo –PNUD-.

5.20. APORTES TÉCNICOS

De lo anterior y como parte de resultados; se propone una serie de posibles soluciones como un aporte técnico a la problemática encontrada en el lugar, la cual consta de proyectos productivos que ayuden a contrarrestar las dificultades delimitadas como fruto de la caracterización anterior.

Los proyectos propuestos derivan de un proceso de priorización y selección que se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 12. Priorización de Proyectos para mejorar las condiciones de vida y contrarrestar los efectos de la problemática de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

PROBLEMA	PROYECTOS	Evaluación[*]			
		S	T	E	A
Degradación del Recurso Suelo y Agua	Talleres de protección ambiental	75	75	75	50
	Implementación de cultivos, prácticas y estructuras para la conservación y recuperación del suelo.	75	75	75	85
	Ejecutar proyectos sobre control de torrentes.	75	75	50	75
	Fomentar la erradicación de quemas e incendios y practicar la tala regulada.	50	75	75	75
	Protección de áreas naturales para la preservación de la biodiversidad	50	50	50	75
	Ordenamiento territorial para valorar las capacidades y potencialidades ecológicas de los suelos	100	90	95	100
	Aplicación de técnicas agro-ecológicas	75	75	75	75
	Evaluar la calidad de agua para riego	50	50	50	50
Contaminación Superficial y subterránea	Talleres de protección ambiental	50	50	75	75
	Proyecto de Recolección de basura	75	75	75	75
	Ejecutar proyectos para el tratamiento de aguas superficiales	75	75	75	75
	Construcción de red de drenajes	85	75	85	85
	Manejo y elaboración de fosas sépticas en todos los caseríos de la parte alta de la microcuenca	85	75	85	85
Uso inadecuado del bosque	Proyecto de implementación de bosque energético.	75	85	85	85
	Ejecutar proyectos de reforestación	85	85	85	85
	Realizar un Inventario y Plan de Manejo para el área boscosa	50	50	50	75
	Realizar Planes anuales de actividades dentro de las áreas boscosas	50	50	50	75
	Realizar prácticas silviculturales que se adecuen al área	50	50	50	50
Déficit en el sistema de organización social	Formación y capacitación de líderes comunitarios para promover la participación de las comunidades en decisiones en proyectos de desarrollo.	95	90	75	50
	Implementación de más y mejores áreas verdes y recreativas	95	90	90	100
	Fortalecimiento institucional	75	75	75	50
	Promover que la educación primaria y media del área, tenga un énfasis ambiental y de conservación.	75	50	50	75
Deficiencia de suministro	Talleres sobre la importancia del agua y la salud	75	75	75	75

(*)Valores numéricos del 1 al 100, siendo 100 la nota máxima posible para priorizar un proyecto. Los aspectos a evaluar: S = Social; T = Técnico; E = Económico; A = Ambiental.

El Cuadro 12 continúa en la siguiente página

de agua para consumo humano	del ser humano				
	Inducir a instituciones a financiar actividades vinculadas al tratamiento de aguas para el consumo humano	75	50	50	75
	Realizar campañas alternantes para el suministro de agua para el consumo humano	75	75	75	75
	Fomentar la participación de actividades ambientales	75	50	50	50
Bajo nivel económico	Sistema agroforestal de aguacate y maíz para la parte alta y media del área.	95	90	95	95
	Fomentar la educación para un mejor bienestar familiar	75	50	50	50
	Taller educativo para jóvenes con problemas familiares	75	75	75	50
	Implementación de huertos familiares	80	80	80	80
	Realizar platicas de planificación familiar	80	80	80	80
Ineficiencia de la red vial	Implementar buses para el transporte de la población	75	50	75	50
	Realizar proyectos de las municipalidades para mantenimiento de los caminos	80	80	80	80
	Delimitar áreas de mercados comunales y municipal	50	50	50	50
Alta tasa de desempleo	Generar proyectos productivos y empresariales para ocupar la mano de obra local	80	80	80	80

En el cuadro anterior se presentan propuestas de actividades que coadyuvan al crecimiento económico, social y ambiental del área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, estas propuestas son fruto de un análisis realizado a partir de criterios de viabilidad social (S), económico (E), ambiental (A) y tecnológico (T) asignándosele a cada valor un rango de 0 a 100 puntos, donde aquel proyecto que se estima por parte de la comunidad como prioritario a poner en práctica es el que posee mayor puntaje, tales son los casos que están en “**Negrita**”, estos poseen puntajes por arriba de 75 en todos los aspectos o criterios a evaluar por lo que se constituyen en proyectos viables a realizar.

Siendo el anterior un aporte técnico con base a la información colectada en la presente caracterización, para lo que se propone realizar más estudios y un plan de manejo integrado de cuencas para viabilizar estas y mas propuestas que puedan surgir en pro del desarrollo de las comunidades y de la conservación de los recursos naturales que existen en el lugar, en especial en materia del recurso hídrico, edáfico y forestal.

6. CONCLUSIONES

1. En cuanto a la información biofísica colectada en la presente caracterización diagnóstica, se encontró que existe una alta degradación de los recursos naturales en el área, lo cual origina una serie de problemas ambientales relacionada con estos recursos; y en base a la importancia que estos tienen para el bienestar de la población de las microcuencas, se define que los más importantes son el Suelo y Bosque y por consiguiente el Agua y su ciclo hidrológico.
2. En el área de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal, se lograron ubicar la existencia y cuantificar caudales en 30 pozos mecánicos dentro de los cuales existen Privados y municipales así como 12 nacimientos, mismos que sumados abastecen de agua a las comunidades que forman parte de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, siendo esto con un caudal de extracción de **344,903 m³/mes** (ver Cuadro 8 de este capítulo), que equivalen a **4,138,836 m³/año** para el año 2008.
3. Las principales causas de los problemas son la falta de asesoría técnica y capacitaciones a la población, en materia de conservación de suelos, manejo de desechos sólidos y líquidos así como la de la escasez de conciencia conservacionista e involucramiento de la población en materia ambiental; esto genera que el entorno edáfico, forestal e hidrológico, pierda gradualmente su capacidad de regeneración natural; lo que intensifica la problemática ambiental en el área de estudio.

7. RECOMENDACIONES

1. Buscar asesoría técnica para la implementación de planes de manejo que permitan integrar todos los recursos presentes en el área para propiciar el buen manejo y aprovechamiento sostenible de los mismos.
2. Realizar jornadas de capacitación y divulgación por parte de todas las instancias gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con los recursos naturales; para impulsar mejores acciones por parte de los pobladores para con el medio ambiente.
3. Realizar un análisis de sedimentos a las fuentes de agua de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal, para determinar el nivel de erosión que existe en el área, fruto de la escorrentía.
4. Gestionar la implementación de un Plan de ordenamiento territorial –POT- y estudios de Capacidad de uso de la tierra –CUT- para brindarle un mejor tratamiento a los suelos del área de estudio y conservar las condiciones naturales de regeneración de los mantos acuíferos con los que aun cuenta el área de estudio.
5. La problemática de la escasez de agua para consumo humano, al igual que en todo el mundo y en el país, se hará presente en la zona y por constituirse como cabecera de cuenca y poseer cobertura forestal en algunas partes y poseer un relieve escarpado, es necesario realizar una ubicación y clasificación de las zonas de recarga hídrica de las microcuencas para brindar recomendaciones de manejo pertinentes para su conservación.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán, GT). 2000. Programa de saneamiento y manejo sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán (en línea). Guatemala. Consultado 17 oct. 2005. Disponible en: <http://www.iadb.org/EXR/doc98/pro/ugu0066.pdf>
2. Asturias Hernández, RM. 2006. Impacto del cambio del uso del suelo en el comportamiento del ciclo hidrológico de las microcuencas de los ríos San Lucas y Arenal, Guatemala, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 102 p.
3. CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central, GT). 2003. Boletín informativo: recopilación de información un servicio del CEPREDENAC 30/06/2003 (en línea). Guatemala. Consultado 25 oct. 2008. Disponible en: <http://www.cepredenac.org>
4. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Guatemala, no. 2012-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
5. Infancia con Futuro, US. 2003. Situación actual del lago de Amatitlán después del paso del huracán Mitch (en línea). Madrid, España. Consultado 25 nov. 2005. Disponible en: <http://www.infanciaconfuturo.org>
6. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 1991. Plan maestro de riego y drenaje: hidrogeología-disponibilidad de agua subterránea. Guatemala. 72 p. (Proyecto PNUD/OSP/GUA/88/003).
7. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); BID, GT. 2000. Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala. 48 p.
8. Monzón, CM. 2004. Dinámica de cobertura forestal y urbana 1990-2001 en la región metropolitana del departamento de Guatemala. Revista Universidad del Valle de Guatemala (GT) no. 13:6-11.
9. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
10. URL (Universidad Rafael Landívar, GT). 2004. Perfil ambiental de Guatemala: informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala, URL, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente. 461 p.

9. APÉNDICES

Cuadro 13A. Cronograma de actividades desarrolladas durante la caracterización.

No.	Actividad / fase	MES											
		F				M				A			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Teórica: - Recopilación de información. - Investigación de antecedentes. - Localización de mapas	■	■	■									
2	Reconocimiento: - Recorrido del área de trabajo. - Verificación de la información.			■	■								
3	Documental: - Elaboración de herramientas de trabajo (boletas, encuestas, etc.)				■	■							
4	Práctica generativa: - Recolección de información y datos en campo. - Corroboración de la información en campo.					■	■	■	■				
5	Compilación y análisis de la información: - Trabajo de escritorio para analizar la información colectada, - Elaboración de mapas y cuerpo de diagnóstico.							■	■	■			
6	Delimitación de la problemática: - Elaboración de árboles problema y solución para delimitar la problemática.								■	■			
7	Presentación de documento final										■		

CAPÍTULO II

INVESTIGACIÓN

DELIMITACIÓN PRELIMINAR DE LAS ZONAS DE CAPTACIÓN Y REGULACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL

PRELIMINARY DELIMITATION OF THE CAPTATION AND
REGULATION HIDROLOGIC ZONES IN SAN LUCAS AND
ARENAL BASIN RIVER

ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL CAPÍTULO II

Contenidos	Página
i. RESUMEN.....	83
1.INTRODUCCIÓN.....	85
2.DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	86
3.MARCO TEÓRICO	87
3.1. Marco conceptual.....	87
3.1.1. Antecedentes.....	87
3.1.1.1. Historia del uso de la tierra en el área de estudio.....	88
3.1.1.2. Influencia del manejo de los recursos en el área de estudio.....	89
3.1.1.3. Estudios realizados.....	91
3.1.1.3.1. A nivel nacional.....	91
3.1.1.3.2. A nivel local.....	92
3.1.2. Ciclo Hidrológico.....	93
3.1.3. Recarga y Descarga.....	93
3.1.3.1. Recarga hídrica.....	93
3.1.3.1.1. Zona de recarga natural.....	94
3.1.3.1.2. Acuíferos.....	94
3.1.3.2. Descarga natural.....	95
3.1.4. El Proceso de recarga hídrica.....	95
3.1.5. Factores que intervienen en recarga hídrica.....	96
3.1.5.1 Clima.....	96
3.1.5.1.1. Precipitación.....	96
3.1.5.1.2. Precipitación efectiva.....	101
3.1.5.1.3. Evapotranspiración.....	103
3.1.5.1.4. Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP).....	104
3.1.5.1.5. Estimación de la evapotranspiración real.....	106
3.1.5.2. Suelo.....	106
3.1.5.2.1. Textura y estructura.....	106
3.1.5.2.2. Densidad aparente y porosidad.....	107
3.1.5.2.3. Contenido de humedad.....	107
3.1.5.2.4. Capacidad de Campo.....	107
3.1.5.2.5. Punto de marchites permanente –PMP-.....	108
3.1.5.2.6. Humedad aprovechable -Ha-.....	108
3.1.5.2.7. Infiltración.....	108
3.1.5.2.8. Estimación de la infiltración básica.....	109
3.1.5.3. Topografía.....	109
3.1.5.4. Estratigrafía geológica.....	110
3.1.5.5. Cobertura vegetal.....	111
3.1.5.5.1. Profundidad radicular.....	111
3.1.5.5.2. Intercepción.....	111
3.1.5.6. Escurrimiento.....	112
3.1.5.6.1. Escorrentía superficial.....	112
3.1.5.6.2. Escorrentía subsuperficial.....	112
3.1.5.6.3. Escurrimiento subterráneo.....	113
3.1.5.7. Métodos para aforar el escurrimiento superficial.....	113
3.1.5.7.1. Método volumétrico.....	113
3.1.5.7.2. Método sección velocidad.....	113

3.1.5.7. Variabilidad espacial y temporal.....	114
3.1.6. Métodos para determinar recarga hídrica.....	115
3.1.6.1. Medida directa.....	116
3.1.6.2. Método Darciano.....	116
3.1.6.3. Técnicas de trazadores.....	116
3.1.6.4. Métodos de balance de agua.....	117
3.1.6.5. Balance hídrico de suelos.....	117
3.1.6.6. Aforo diferencial.....	119
3.1.8. Áreas críticas de recarga hídrica natural.....	120
3.1.9. Modelo en Excel para el balance hídrico y la recarga potencial.....	120
3.2. Marco Referencial.....	122
3.2.1. Localización del área de estudio.....	122
3.2.2. Hidrografía.....	122
3.2.3. Relieve.....	123
3.2.4. Geología.....	124
3.2.5. Suelos.....	125
3.2.5.1. Orden Alfisol (Alf).....	125
3.2.5.1.1. Suborden Ustalfs (Ls).....	125
3.2.5.2. Orden Andisol (And).....	126
3.2.5.2.1. Suborden Ustands (Ds).....	126
3.2.5.3. Orden Entisol (Ent).....	126
3.2.5.3.1. Suborden Orthents (Eo).....	127
3.2.5.4. Orden Inceptisol (Int).....	127
3.2.5.4.1. Suborden Usteps (Ps).....	127
3.2.6. Fisiografía.....	128
3.2.7. Clima.....	128
3.2.8. Población.....	130
3.3. Marco legal.....	131
3.3.1. Decreto 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.....	131
3.3.2. Decreto 4-89, Ley de Áreas Protegidas.....	131
3.3.3. Acuerdo Gubernativo 759-90, Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas.....	131
3.3.4. Decreto 101-96, Ley Forestal.....	132
3.3.5. Política forestal de Guatemala.....	133
3.3.6. Decreto 12-2002. Código Municipal.....	133
3.3.7. Decreto 90-97. Código de Salud.....	133
4.OBJETIVOS.....	134
4.1. General.....	134
4.2. Específicos.....	134
5.HIPÓTESIS.....	135
6.METODOLOGÍA.....	136
6.1. Fase de delimitación de área de estudio.....	136
6.2. Fase de recopilación y generación de Información básica.....	136
6.2.1.1. Información climática.....	137
6.2.2. Fase de Generación de Información.....	138
6.2.2.1. Delimitación preliminar de Unidades de Mapeo para muestreo de suelos y pruebas de infiltración.....	138
6.2.2.2. Muestreo de suelos.....	141
6.3. Fase de cumplimiento de objetivos.....	141
6.3.1. Determinación de escorrentía.....	141

6.3.2. Precipitación efectiva.....	143
6.3.3. Infiltración Básica.....	144
6.3.4. Propiedades físicas del suelo y contenido de humedad.....	145
6.3.5. Balance de agua del cauce de las corrientes superficiales.....	145
6.3.6. Balance Hídrico.....	146
6.3.7. Balance Hídrico para Áreas de Recarga Hídrica Natural.....	146
6.3.8. Delimitación de zonas de recarga hídrica natural.....	147
6.3.8.1. Determinación de áreas de recarga hídrica.....	147
6.3.8.2. Clasificación de áreas de recarga hídrica natural.....	148
6.3.9. Proposición de lineamientos de manejo.....	149
6.3.9.1. Recurso agua.....	149
6.3.9.2. Recurso suelo.....	149
6.3.9.3. Recurso bosque.....	150
6.4.Fase de elaboración y verificación de mapas	150
6.4.1. Verificación de mapas.....	151
6.5. Fase de elaboración del informe final	151
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	152
7.1 Cuantificación de la recarga hídrica en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	152
7.1.1. Información climática.....	152
7.1.2. Unidades de mapeo.....	155
7.1.3. Infiltración básica.....	160
7.1.4. Densidad aparente, textura y constantes de humedad.....	161
7.1.5. Aforo de manantiales y aforos diferenciales.....	162
7.1.5.1. Aforo de manantiales y pozos.....	162
7.1.5.2. Aforos diferenciales y al cauce principal.....	163
7.1.6. Evapotranspiración potencial.....	165
7.1.7. Precipitación media.....	166
7.1.8. Cálculo de la recarga hídrica natural.....	168
7.1.9. Clasificación de las zonas de recarga hídrica natural de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.....	169
7.2. Recarga hídrica de suelos	172
7.2.1. Balance hídrico de suelos.....	172
7.2.2. Mapa de Zonas de Captación y Regulación Hidrológica de la microcuenca del río San Lucas y El Arenal.....	174
7.3. Lineamientos de manejo.....	178
7.3.1. Demanda actual de agua.....	164
7.3.1.1 Consumo humano.....	164
7.3.1.2. Uso agrícola.....	169
7.3.2. Lineamientos de Manejo.....	186
7.3.2.1. Análisis del contexto hídrico local.....	187
7.3.2.1.1. Problemática de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.....	187
A. Problemas identificados en torno del Recurso Hídrico.....	187
7.3.2.1.2.Propuesta de lineamientos de manejo.....	190
8.CONCLUSIONES.....	200
9.RECOMENDACIONES.....	201
10.BIBLIOGRAFÍA.....	202
11. APÉNDICES.....	205

ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO II

Nombre	Página
Cuadro 1. Porcentaje de horas de sol mensual con respecto a la latitud.....	106
Cuadro 2. Profundidad radicular en diferentes combinaciones de suelos y plantas.....	111
Cuadro 3. Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce	114
Cuadro 4. Modelo en excel para la realización del balance hídrico, según Schosinsky	121
Cuadro 5. Registros climáticos de la estación de la enca en Bárcena, Villa Nueva	129
Cuadro 6. Registros climáticos de la estación climática “La Suiza Contenta”, San Lucas Sacatepéquez	129
Cuadro 7. Detalle del uso actual de la tierra en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	140
Cuadro 8. Valores de coeficientes de bandeja (kp) según valores de pendientes	144
Cuadro 9. Valores de coeficientes (kv) según tipo de cobertura vegetal.....	144
Cuadro 10. Matriz de criterios de recarga anual.....	148
Cuadro 11. Precipitación pluvial mensual promedio (mm) de las estaciones de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	152
Cuadro 12. Temperatura media (°c) mensual de las estaciones de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.....	152
Cuadro 13. Infiltración básica de las unidades de muestreo de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.....	160
Cuadro 14. Constantes de humedad, densidad aparente y textura de las unidades de mapeo de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.	161
Cuadro 15. Caudal de manantiales y pozos aforados en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal	162
Cuadro 16. Aforos diferenciales de los cauces principales de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	164
Cuadro 17. Evapotranspiración potencial (mm) para cada unidad de mapeo de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	165
Cuadro 18. Precipitación media de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal	167
Cuadro 19. Recarga hídrica natural de las unidades de mapeo de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	168
Cuadro 20. Clasificación de recarga hídrica natural según las unidades de mapeo en la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.....	170
Cuadro 21. Resumen del balance hídrico de suelos de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	172
Cuadro 22. Porcentaje de recarga hídrica por categoría en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	175
Cuadro 23. Población proyectada para el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	159
Cuadro 24. Proyección de la demanda de agua para consumo humano en las comunidades de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	163
Cuadro 25. Necesidades de riego para las áreas agrícolas de la microcuenca del los ríos San Lucas y El Arenal.....	184

Cuadro 26. Priorización de líneas de acción.	189
Cuadro 27. Distancia horizontal mínima para definir zonas de protección forestal en los cuerpos de agua	195
Cuadro 28A. Ubicación y caudal de manantiales aforados en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	206
Cuadro 29A. Boleta de campo utilizada para la colecta de datos de las pruebas de infiltración.	207
Cuadro 30A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 1	208
Cuadro 31A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 2	209
Cuadro 32A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 3	210
Cuadro 33A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 4	211
Cuadro 34A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 5	212
Cuadro 35A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 6	213
Cuadro 36A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 7	214
Cuadro 37A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 8	215
Cuadro 38A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 9	216
Cuadro 39A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 10	217
Cuadro 40A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 11	218
Cuadro 41A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 12	219
Cuadro 42A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 13	220
Cuadro 43A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 14	221
Cuadro 44A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 15	222
Cuadro 45A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 16	223
Cuadro 46A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 17	224
Cuadro 47A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 18	225
Cuadro 48A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 19	226
Cuadro 49A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 20	227
Cuadro 50A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 21	228
Cuadro 51A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 22	229
Cuadro 52A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 23	230
Cuadro 53A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 24	231
Cuadro 54A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 25	232
Cuadro 55A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 26	233
Cuadro 56A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 27	234
Cuadro 57A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 28	235
Cuadro 58A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 29	236
Cuadro 59A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 30	237
Cuadro 60A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 31	238
Cuadro 61A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 32	239
Cuadro 62A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 33	240
Cuadro 63A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 34	241

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO II

Nombre	Página
Figura 1. Pluviómetro	99
Figura 2. Pluviógrafo	100
Figura 3. Ubicación de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal	123
Figura 4. Grafico de infiltración básica (ib).	145
Figura 5. Climadiagrama de la estación climática de la ENCA.....	153
Figura 6. Climadiagrama de la estación climática “La Suiza Contenta”	154
Figura 7: Mapa de taxonomía de suelos de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal	156
Figura 8: Mapa de geología de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal. ..	157
Figura 9: Mapa de uso de la tierra 2009 de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	158
Figura 10: Mapa de unidades de mapeo y puntos de muestreo en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	159
Figura 11: Registro de la variación de los caudales en los cauces en estudio a lo largo del año.....	163
Figura 12. Grafica de recarga hídrica por unidad de mapeo	172
Figura 13. Mapa de zonas de captación y regulación hidrológica en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.	177
Figura 14. Árbol de problema “disminución de la recarga hídrica”	188
Figura 15. Zona de protección forestal en nacimientos	195
Figura 16. Zona de protección forestal en ríos.	196
Figura 17A: Toma de datos para prueba de infiltración por el método del cilindro invertido (Porchet).	205
Figura 18A: Aforo en punto de aforo cauce principal y toma de datos, rio San Lucas.	205
Figura 19A. Mapa de ubicación de los aforos diferenciales de los cauces de los ríos San Lucas y El Arenal	243
Figura 20A. Mapa de ubicación de pozos y manantiales dentro de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	244
Figura 21A. Mapa de líneas Isopletas de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	245
Figura 22A. Mapa de líneas Isoyetas de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.....	246

**“DELIMITACIÓN PRELIMINAR DE LAS ZONAS DE CAPTACIÓN Y REGULACIÓN
HIDROLÓGICA DE LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS SAN LUCAS Y EL ARENAL”**

“PRELIMINARY DELIMITATION OF CAPTATION AND REGULATION HIDROLOGIC ZONES IN
SAN LUCAS AND ARENAL BASIN RIVER”

i. RESUMEN

En la zona bajo estudio, se ubicaron áreas que se constituyen como unidades hidrográficas de mucha importancia, ya que se encuentran cercanas a la capital y sus efluentes o red de drenaje, son tributantes de la subcuenca del lago de Amatitlán; así mismo la microcuenca del río San Lucas como tal, comprende parte del área de protección de manantiales del Cerro Alux; siendo esta un área captación y regulación hidrológica con prioridad de conservación; porque en ella se localizan los manantiales que abastecen de agua a los pobladores del área en estudio y además a algunos sectores cercanos de la ciudad capital de Guatemala.

Actualmente con la degradación de la cobertura vegetal y suelo, a razón del cambio de uso de la tierra y la presión socioeconómica en la región, se están alterando las condiciones que favorecen la recarga hídrica, por lo cual se reduce la disponibilidad del agua superficial y su capacidad de renovación de forma natural.

Para efectuar esta investigación, se hizo una caracterización de los componentes del ciclo hidrológico, así también; definiendo las unidades de muestreo pertinentes mediante la sobre posición de tres capas temáticas (Taxonomía de suelos, Uso de la Tierra y Geología) por medio de los “SIG”; luego en cada una de las unidades de muestreo se analizaron los principales factores climáticos, edáficos y cobertura del suelo que intervienen en la recarga hídrica, por medio del balance hídrico de suelos con datos mensuales.

Con base en los resultados del balance hídrico de suelos con datos mensuales, se identificaron las principales áreas de recarga hídrica natural, en la parte alta y media de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, en éstas áreas se produce el 83.27 % (125.11 mm) y el resto se recarga en la parte baja del área en estudio, esta sumatoria en su totalidad representa 150.24 mm., de recarga que corresponden al 13.39 % del total de entradas al sistema por concepto de precipitación. Donde al analizar aspectos de

geología, infiltración básica, recarga anual y pendiente; se estableció que corresponden a áreas críticas, con alta susceptibilidad de disminuir la recarga si estas son sometidas a algún factor modificador o cambio de uso de la tierra.

En la zona de estudio, se ubicaron principalmente como áreas críticas de recarga, las unidades 1, 3, 5, 10 y 12 (ver Figura 10 y 13 del Capítulo II) las que se localizan en Chicamán, Choacorrall y el área protegida del Cerro Alux en San Lucas Sacatepéquez, que cuentan con cobertura forestal, así también las unidades 24, 26 (ver Figura 10 y 13 del Capítulo II) que se ubican en las áreas cercanas a la Finca “El Calvario” y el “Sector Martínez” en Villa Nueva y de la misma manera, la unidad 32 que se ubica en la parte media del área en estudio, donde se ubica la arenera “El Carmen”; las anteriores corresponden a la categoría de Muy Alta recarga (ver Figura 10 y 13 del Capítulo II).

Los principales lineamientos de manejo para el área, se basan en propiciar actividades que permitan brindar un aprovechamiento racional del recurso hídrico y la protección de las áreas de recarga hídrica delimitadas de forma preliminar en este trabajo. Así también en el contexto social y cultural de las localidades que conforman el área de estudio, en el sentido de fortalecer la organización y la concienciación ambiental de la población y proteger el agua superficial y subterránea con la construcción o habilitación de infraestructura para el tratamiento y conducción de las aguas residuales, realizar investigación con el fin de inventariar la cantidad, disponibilidad y calidad de los recursos naturales de el área en estudio y establecer zonas de protección de las fuentes de agua.

1. INTRODUCCIÓN

En la microcuenca del río San Lucas y la del río El Arenal se evidencia la problemática de la disminución de la infiltración y de la recarga hídrica, por causa de la urbanización y los efectos que esta conlleva. En el área de estudio existen flujos migratorios proveniente de la ciudad capital hacia los municipios de sus alrededores, convirtiendo a éstas en áreas donde el componente principal es el concreto y el acero como cubierta del suelo, alterando el paisaje, impermeabilizando la superficie del suelo y propiciando con ello, que se intensifiquen los efectos que sobrevienen a raíz de las lluvias, el aumento de la escorrentía y la disminución de la infiltración y por ende, la recarga hídrica.

La situación en cierta manera, es homologa a la observada en las áreas urbanas montañosas, ubicadas al sur y sureste de la capital, donde se encuentran los municipios de Santa Catarina Pinula (Carretera a El Salvador) y San José Pinula; donde el proceso de urbanización y el asentamiento de grandes industrias y construcciones, la alteración del paisaje y disminución de la infiltración es aun más avanzado; siendo esta la razón por la que aumenta la presión sobre el área norte y noreste de la periferia de la capital, donde se ubica el área de estudio en esta ocasión.

El presente estudio, tiene como antecedentes la investigación realizada por Asturias (2006) con el documento “Impacto del cambio del uso del suelo en el comportamiento del ciclo hidrológico de las microcuencas de los ríos San Lucas y Arenal, Guatemala, Guatemala”. Sobre de esa base surgió la necesidad de desarrollar investigación relacionada con el tema de recarga hídrica y las “Zonas de Captación y Regulación Hidrológica” tema vinculado a las “Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica” del INAB.

La investigación se realizó con el fin de identificar las tierras con vocación forestal donde ocurre la mayor captación y regulación hidrológica, por medio de la metodología INAB (2003); así mismo se estimaron las cantidades en las que esto ocurre, ya que estas mismas en gran proporción abastecen de agua, directa o indirectamente a la población de algunos sectores de la ciudad Capital y de los municipios de San Lucas Sacatepéquez, San Bartolomé Milpas Altas, Santiago Sacatepéquez, Mixco y Villa Nueva.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Como resultado del proceso de urbanización que se da en el área de estudio, se ha incrementado la pavimentación y el área de techos; esto tiene como efecto principal la impermeabilización de la capa superficial del suelo, la disminución de la infiltración y el aumento del volumen de escorrentía y con ello el incremento de la erosión de los suelos, disminuyendo su potencial productivo, su condición natural y la capacidad de recarga hídrica que es el tema focal de esta investigación.

Las consecuencias de un cambio de uso de la tierra a causa de la urbanización, el avance de la frontera agrícola y la disminución de la masa forestal, se traduce en la disminución de la cantidad de infiltración del agua de lluvia y por ende, de la recarga de los mantos freáticos que abastecen a toda la población ubicada en la cordillera del Cerro Alux así como las partes bajas de estas formaciones hidrográficas y, a cerca de 3 millones de habitantes (según el INE 2002-2003) de la ciudad capital; así también se ocasiona mayor erosión del suelo, lo cual tiene efectos directos en la disminución de la fertilidad del mismo y el comportamiento del ciclo hidrológico en estas áreas; donde lo que disminuye principalmente es la recarga hídrica natural.

A causa de lo anterior, se reduce la disponibilidad del agua en cantidad y calidad en las localidades internas y circunvecinas al área de estudio, así como la capacidad de renovación de la misma como recurso natural. Visto a corto, mediano y largo plazo, la demanda y la presión sobre los recursos naturales, incrementa de manera exponencial, paralelo al crecimiento demográfico y la urbanización, aunado a eso; los muy notorios efectos del “cambio climático” que tanto se escucha hablar hoy en día.

En el área de estudio, desde hace décadas se ha registrado la disminución de la recarga hídrica, ya que Asturias. (2006) reporta que en el año de 1966 se recargaban 352.71 mm., para el 2006 se recargaban 204.7 mm., y para el 2008 y 2009 se recargaban 150.24 mm., lo que indica que según factores socioeconómicos y ambientales, el potencial de recarga hídrica del manto acuífero, está disminuyendo; lo que es alarmante en materia de disponibilidad de agua para consumo humano para las generaciones actuales y futuras.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Marco Conceptual

3.1.1. Antecedentes

Según Asturias (2006), Uno de los sucesos más importantes, que heredo el hecho de la sobresaliente importancia del área de estudio, a causa de la presión social, económica y ambiental para la misma, fue el traslado de la capital, en 1776, de la hoy conocida como Antigua Guatemala, al lugar donde en la actualidad se denomina “Valle de la Asunción”.

Esto dio origen a un crecimiento demográfico exponencial, provocando un desorden en la utilización de los recursos naturales, sobre uso del suelo, erosión, deforestación, mala utilización del suelo con fines agrícolas, distribución desordenada en el régimen de tenencia de la tierra; así también más de 700 industrias de diversa índole, las cuales actualmente se encuentran sin plantas de tratamiento de aguas residuales, que permitan devolver a su cauce el agua utilizada, con índices más bajos de contaminación (con base en Asturias, 2006).

En la zona a causa de las presiones antes mencionadas, se ha deforestado el 45% de los bosques originales y los restantes se encuentran en estado de explotación y deterioro, provocando problemas de erosión, sedimentación y disminución en la recarga de acuíferos (Asturias, 2006).

El estudio del área en mención, es de suma importancia por la presión social, ambiental y económica que esta soporta, por ello se han involucrado muchas instituciones en el resguardo y protección de la zona, ya que se constituye como área del SIGAP con fines de protección de manantiales.

Con base en lo anterior; el Instituto Nacional de Bosques –INAB- es el ente que a nivel nacional administra y ordena el sector forestal; siendo esto por lo que a nivel del consejo departamental de desarrollo de Sacatepéquez –CODEDE-, se ha conformado una comisión interinstitucional, la cual coordina el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y en ella, entre otras instancias participan: Las Municipalidades, el MAGA, CONAP, MARN, así como el INAB en forma activa en materia forestal.

El INAB, como aporte o contribución a la misma, apoya y propone los diferentes estudios en materia forestal a nivel nacional y en el departamento como tal, con el fin que en base a los mismos se pueda formular un plan de ordenamiento territorial que coadyuve al buen manejo de los recursos naturales en las áreas de recarga hídrica y en las áreas boscosas con que aun cuenta el área en estudio.

Según el Perfil Ambiental para Guatemala, publicado por la Universidad Rafael Landívar (2004), se puede afirmar que los mantos acuíferos del Valle de la Ciudad de Guatemala están siendo explotados con un incremento en el nivel de profundidad de 1 a 2 metros anuales, en algunos lugares se han reportado caídas del nivel de hasta 10 metros. Esto a causa de la alta tasa de urbanización de las zonas de recarga, que restringe las zonas de infiltración y por la falta de regulación en la perforación de pozos; en promedio los acuíferos descienden 1.18 metros por año.

Monzón (2004), en su estudio “Dinámica de cobertura forestal y urbana 1990-2001 en la región metropolitana del departamento de Guatemala”, menciona que El crecimiento poblacional en la ciudad de Guatemala y sus alrededores se ha acelerado en las últimas décadas lo cual ha provocado un aumento en la cobertura de concreto y pérdida de las áreas verdes. En el periodo de 1988 al 2000 la ciudad capital ocupa más espacio para suelo urbano que el que se ocupó en los anteriores 224 años desde su fundación.

Actualmente las áreas verdes se ubican en barrancos que están sirviendo como protectores ambientales al evitar erosiones y atraer lluvias. Según Monzón (2004), la región metropolitana aumento 60 km² de área urbana. En conclusión los municipios de Mixco, Villa Nueva y Guatemala son los que cuentan con mayor superficie de concreto, la cual ha aumentado en la última década. A la vez que recomienda realizar un estudio con fotografía aérea para confirmar dicha información que fue elaborada a partir de imágenes de satélite.

3.1.1.1. Historia del uso de la tierra en el área de estudio

Los municipios de la periferia de la ciudad de Guatemala han soportado un crecimiento demográfico en proporciones exponenciales y todo tipo de presiones de carácter social, ambiental y económico.

La extracción incontrolada de materiales de construcción de los ríos, principalmente en la zona baja del río San Lucas, está ocasionando problemas severos de estabilidad en las laderas de los mismos, incrementando la carga de sedimentos en las aguas y puede potencialmente afectar zonas habitadas al generar procesos de erosión hacia las partes bajas del río.

El proceso de urbanización acelerado, ha ocasionado que áreas de suelos frágiles, particularmente en zonas de barrancos con pendientes muy elevadas; hayan sido desprovistas de su cobertura boscosa, originando procesos erosivos acelerados, alimentados en parte también por la disposición inadecuada de aguas residuales en las partes altas (AMSA 2000).

AMSA, (2000) reporta que el río Villalobos arrastra alrededor de 500 mil toneladas de sedimentos al año; estos provenientes de fuentes tributarias, dentro de las que se encuentran el área en estudio para este caso; indicando esto que en las partes altas existe deterioro de los recursos, disminuyendo esto la cobertura vegetal en las partes inclinadas, así también, menos cantidad de agua se infiltra en el suelo, aumentando esto la cantidad del agua de escorrentía, que arrastra grandes cantidades de sedimentos, provocando la erosión de la capa fértil del suelo y con ella pérdidas económicas, la alteración del paisaje y del ciclo hidrológico.

3.1.1.2. Influencia del manejo de los recursos en el área de estudio

En materia de la temática de “Cuenca Hidrográfica”; se determina que las mismas, permiten analizar múltiples aspectos con fines de planificación y conservación de áreas que se encuentren bajo la influencia de la misma red de drenaje; así también factores ambientales relacionados con las causas que originan el agravamiento de los daños ocasionados por mal uso, aprovechamiento y manejo de los recursos naturales.

Además de lo anterior, se suman una serie de desastres naturales influenciados directamente por el mal manejo del suelo y del recurso hídrico; estos desastres están relacionados directamente con el agua, elemento muy importante por el cual, la zona es objeto de estudio y debido a la mala administración y manejo de los recursos forestales y edáficos, estos mismos, sumado al recurso hídrico; se encuentra en un estado vulnerable,

especialmente en áreas de riesgo (críticas) y de importancia para la captación y regulación hidrológica.

Según Asturias (2006), los recursos naturales de la microcuenca proveen otros servicios ambientales, como la fijación de carbono, productos maderables y no maderables (dentro de los que se mencionan como fruto de los bosques, los servicios ambientales tales como, recreación, además del ya mencionado, “fijación de carbono”, el paisaje escénico, refugio de vida y flora silvestre, entre otros), así como biodiversidad; sin embargo, aprovechar todos los servicios requiere avanzar hacia el manejo y administración integrada de cuencas, ordenamiento del uso del suelo; todo ello encaminado a una reducción de la pobreza de la población y aumentar su calidad de vida en un lapso de corto, mediano y largo plazo .

La planificación de los recursos hídricos se realiza a nivel de cuenca hidrográfica y microcuenca para este caso, debido a que lo que llueve, escurre y toda actividad que genere explotación de los recursos en ésta área, tiene un punto de convergencia y salida en la red hidrográfica. En otras palabras el buen o mal manejo de las actividades productivas dentro de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal; repercute aguas abajo de donde se lleven a cabo dichas acciones.

El recurso agua es uno de los más importantes en la actualidad, cuya presión y demanda va en aumento; por lo que el área en estudio que comprende la parte alta de la subcuenca a la que pertenece la parte sur de la ciudad capital (subcuenca del lago de Amatitlán) misma donde se recargan los depósitos subterráneos de donde se abastece de agua gran parte del territorio de la ciudad capital de Guatemala.

Los municipios de Mixco y Villa Nueva son los que cuentan con mayor superficie de concreto, la cual ha aumentado en la última década”, y es un hecho del que el municipio de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez; no se encuentra al margen.

3.1.1.3. Estudios realizados

3.1.1.3.1. A nivel nacional

Actualmente el INAB y la FAUSAC promueven estudios a nivel semi detallado para la delimitación de tierras forestales de captación y regulación de recursos hídricos con el fin de aplicar un manejo forestal sostenido, restaurar o rehabilitar áreas deforestadas como lo manda la ley forestal, siendo esto en áreas donde se establezca que existe un vínculo entre el bosque, el agua y la regeneración natural del manto freático.

Entre los estudios que se han realizado se pueden mencionar los siguientes:

Fuentes, (2005), en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz, que se localiza en la parte alta de la Sierra Chuacús, estimó una recarga potencial del 10.78% de la precipitación media anual e indica que las áreas de recarga se encuentran en los suelos de la parte alta.

Noriega, (2005), en el estudio de la microcuenca del río Sibacá, El Quiché que también se ubica en la parte alta de la Sierra Chuacús, estimó que la recarga hídrica potencial representa el 33% de la precipitación media anual y reporta que las áreas de mayor recarga se localizan en la parte alta entre las comunidades de Aguilix, Sibacá y Tapesquillo.

A. Mapa de unidades hidrogeológicas

En el Documento Hidrogeología (Disponibilidad de Agua Subterránea), Plan Maestro de Riego y Drenaje elaborado por la División de Estudios de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento –DIRYA- del MAGA, (2000), se publica el Mapa de Unidades Hidrogeológicas a escala 1:1,000,000 en donde se definen 11 unidades hidrogeológicas, basadas en la permeabilidad de los estratos o formaciones geológicas, de las cuales 4 constituyen los mejores acuíferos de Guatemala. Éstas son: los aluviones cuaternarios; los depósitos piroclásticos; las lavas y tobas terciarias; y las calizas y dolomitas cretácicas, que en mayor parte ocupan zonas de valles o planicies y donde existe alta concentración de población.

B. Conceptualización e identificación de las zonas de recarga hídrica

En el informe final del estudio elaborado por Muñoz, (1998), se priorizaron de carácter preliminar en base a una matriz y en escala 1:500,000 nueve cuencas de las tres vertientes del país, de las cuales se escogieron en primera aproximación como zonas prioritarias de recarga hídrica dos cuencas en la Vertiente del Pacífico, río Samalá y río María Linda; y una en la Vertiente Atlántica, la cuenca del río Motagua.

Según el INAB, el estudio se consideró de reducida utilidad debido a que se ponderó más el material parental respecto al forestal y prácticamente resultaron con mayor prioridad los valles y no las zonas que interesan al INAB, como las cabeceras de cuencas y microcuencas donde se pueda aplicar la administración forestal.

Además de lo anterior, se está realizando por parte del MAGA el estudio Geomorfológico o paisajístico a nivel nacional, donde a finales del 2007 y principios del 2008 se efectuó por parte del mismo proyecto, el análisis paisajístico del municipio de San Lucas Sacatepéquez y de todo el departamento de Sacatepéquez, a una escala 1:30,000 (información con la que aun no se contaba de forma oficial cuando se elaboró el presente estudio).

3.1.1.3.2. A nivel local

La mayoría de estudios a nivel local (escala 1:50,000) para determinar recarga hídrica de acuíferos, se han efectuado para zonas en donde las características de material parental favorecen la infiltración de agua hasta los mismos y estos se han evaluado bajo aspectos hidrogeológicos, entre ellos se pueden mencionar la cuenca del río Itzapa en Chimaltenango; la microcuenca del río Cantil, y cuenca del río Acomé en Escuintla; el valle aluvial en la Antigua Guatemala, Sacatepéquez; la subcuenca del río Platanitos y el valle de la ciudad de Guatemala.

Lo más reciente llevado a cabo en la misma área en estudio actualmente es la investigación denominada “ Impacto del cambio de uso del suelo en el comportamiento del ciclo hidrológico de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, Guatemala, Guatemala”.

A partir del 2008, INAB está desarrollando dos investigaciones simultáneas, una relacionada con la capacidad de uso de la tierra y la otra con la cobertura forestal del municipio de San Lucas Sacatepéquez, como parte de un apoyo a la elaboración de un plan de ordenamiento territorial del municipio en mención; para que también la presente investigación, sirva como insumo en materia de ubicación de las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica –TFRCH-; para que en conjunto contribuyan a la elaboración de un plan de ordenamiento territorial del municipio en mención.

3.1.2. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es un conjunto de procesos que al describirlo se puede mencionar que parte del punto en que el agua se evapora de los océanos (en mayor proporción) y de la superficie terrestre por efecto de la radiación solar y el viento. Este vapor se transporta y eleva por la atmósfera en forma de nubes hasta condensarse y precipitarse nuevamente a la tierra.

Herrera, (2002) en el documento Hidrogeología práctica dice que: al momento de efectuarse el proceso de la precipitación, la mayor parte se deposita sobre la superficie de la tierra. Pero en el trayecto el agua puede ser retenida por las plantas o construcciones, para luego infiltrarse en el suelo hasta saturar el mismo y posteriormente escurrir por la superficie hasta las corrientes.

Del agua que se infiltra en el suelo, una parte regresa a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, otra parte corre como flujo sub superficial que se descarga en las corrientes y el resto, pasa a recargar el reservorio de agua subterránea (acuífero), que después emerge en manantiales, ríos o el mar, de donde también puede evaporarse para continuar con el ciclo hidrológico (Herrera, 2002).

3.1.3. Recarga y descarga

3.1.3.1. Recarga hídrica

En uno de sus documentos el investigador Lerner (1990), la define como “el proceso donde el flujo de agua desciende en el suelo, hasta alcanzar el nivel freático, incrementando el agua almacenada”.

La recarga puede ser natural cuando se produce por infiltración de la precipitación pluvial o de un curso de agua (ríos y lagos), o inducida debido a las actividades del hombre, como riego y urbanización (Lerner, 1990). También se divide según el tipo de estimación en: recarga actual que es el volumen de agua que alcanza el nivel freático; y recarga potencial que hace referencia al volumen de agua, que puede tomar diferentes destinos como, evapotranspiración, cambio de humedad en la zona insaturada del suelo, descarga a cursos de agua y alcanzar reservorios de agua subterránea (Lerner, 1990).

El mismo Lerner, (1990), manifiesta que las fuentes de recarga para un acuífero pueden ser las siguientes: precipitación pluvial o recarga directa, recarga de río (incluye corrientes efímeras, intermitentes y permanentes), flujos inter acuíferos, irrigación (canales y campos) y recarga urbana, donde cada tipo de recarga debe ser cuantificada por diferentes métodos.

Las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, se encuentran en su mayor parte en material permeable (Tierras Volcánicas) aproximadamente un 58.37 % del área. (ver mapa de Geología en Figura 6 de este capítulo) por ello se presume de la existencia de flujos inter-acuíferos y el abastecimiento de los mantos freáticos de influencia en la zona y es de allí que se deriva su importancia.

3.1.3.1.1. Zona de recarga natural

De acuerdo a los escritos de Lesser (2001), son las “Áreas ubicadas en topografías elevadas y en suelos permeables, que facilitan la infiltración y descenso del agua hacia los reservorios de agua subterránea” (acuíferos). Ésta infiltración puede producirse no sólo por las aguas de lluvia, sino también por las aguas que circulan a través de los arroyos o corrientes (corrientes afluentes).

3.1.3.1.2. Acuíferos

Según Custodio y Llamas, (2001), es la capa o formación geológica donde el agua circula y se almacena, y que puede ser utilizada por el hombre en cantidades económicamente significativas. Lesser (2001) agrega que esta agua en la mayoría de casos sólo puede ser aprovechada a través de pozos.

De acuerdo a la opinión de Herrera, (1995), los diferentes acuíferos conocidos según el tipo de flujo, la presión del agua, la extensión y continuidad de saturación son por el tipo de flujo: acuíferos en medios porosos (flujo en medios porosos) y acuíferos en medios fracturados o consolidados (flujo fisural).

Según Herrera., 2002; con base a la presión del agua y relaciones de conductividad hidráulica del acuífero (capa sobre yacente): acuífero libre o freático (no tienen capa confinante sobre yacente), acuífero semi libre (se presentan capas o lentes confinantes en algunas partes) acuífero semi confinado (tiene un acuitardo como capa sobre yacente) y acuífero confinado (tiene dos capas confinantes, superior e inferior). Y según la extensión y continuidad de saturación, se mencionan: acuífero colgado y acuífero regional o principal.

3.1.3.2. Descarga natural

Según Custodio y Llamas, (2001), es el volumen de agua que en un determinado tiempo sale de la zona de almacenamiento a través de los manantiales cuando la zona saturada queda cerca de la superficie terrestre.

Lesser, (2001), indica que la descarga natural de los acuíferos, además de realizarse por los manantiales, se efectúa por las corrientes del río (corriente efluente).

Vargas, (2002), indica que el manantial es una fuente natural de agua, que surge a la superficie del terreno, en donde el nivel de saturación del agua, corta la superficie topográfica. Los manantiales son los desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben las zonas de almacenamiento de agua y representan ahorro de recursos económicos, cuando no se utiliza equipo de bombeo.

3.1.4. El proceso de recarga hídrica

De acuerdo a Muñoz, (1998), el agua proveniente de las precipitaciones después de saturar los espacios vacíos (poros y/o fisuras) del suelo y las pequeñas depresiones superficiales, da inicio a los siguientes tipos de movimiento: superficial, que sigue las líneas de máximo gradiente de energía e infiltración, a través de los espacios vacíos del suelo y subsuelo según el gradiente piezométrico y la permeabilidad del medio.

Según Linsley, (1988), el agua que se infiltra a través de la superficie del suelo y no es retenida como humedad del suelo, se mueve hacia los cauces como corriente sub superficial o penetra a la capa freática y alcanza eventualmente el cauce, como agua subterránea.

3.1.5. Factores que intervienen en recarga hídrica

3.1.5.1. Clima

Según Padilla, (2003), los factores del clima que influyen en la recarga hídrica son precipitación y evapotranspiración; a pesar de eso se puede inferir que las condiciones edáficas como textura y estructura influyen de gran manera en la cantidad de agua que ingresa al acuífero.

3.1.5.1.1. Precipitación

Según Herrera, (1995), a la precipitación se le conoce como todas las formas de humedad que caen a la tierra, entiéndase llovizna, lluvia, escarcha, granizo y nieve.

Como precipitación se conocen también a todas las formas de humedad que caen a la tierra, provenientes de las nubes, como agua, nieve y hielo. La precipitación constituye la entrada primordial del sistema hidrológico y es el factor principal que controla la hidrología de una región.

El conocimiento de los comportamientos y patrones de la lluvia en el tiempo y en el espacio es esencial para entender procesos como la variación de la humedad del suelo, recarga de acuíferos y caudal en los ríos.

3.1.5.1.1.1. Precipitación pluvial

Este componente se constituye como uno de los principales del ciclo hidrológico; puede calificarse de factor esencial que constituye la materia prima del referido ciclo.

La evaporación desde la superficie de los océanos es la principal fuente de humedad para la precipitación, ya que no menos del 10% de la precipitación continental se puede atribuir

a la evaporación de los océanos. Sin embargo, la cercanía a los océanos no necesariamente implica altas precipitaciones, como es el caso de islas desérticas.

Se sabe que al aumentar la intensidad de la lluvia, se reducen las posibilidades de que esta llegue a ser efectiva, hasta el punto que rebasa la capacidad de infiltración de los suelos y el agua se pierde como escorrentía y no es retenida en el suelo.

Una lluvia moderada de larga duración favorece la infiltración. Las lluvias intensas saturan muy rápidamente el suelo, perdiéndose gran parte en escorrentía superficial. Estas lluvias también compactan el suelo reduciendo su habilidad para absorber el agua.

La precipitación efectiva, es la porción de la precipitación que puede infiltrarse en el perfil del suelo y estar de forma disponible para ser aprovechada por las raíces de las plantas o bien alcanzar estratos más profundos como los acuíferos. (Linsley, 1988).

Para que se produzca precipitación, es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- Enfriamiento de una masa por debajo del punto de condensación; este enfriamiento debe continuar hasta que la temperatura del aire, sea inferior a la del punto de condensación o temperatura del punto de rocío.
- Núcleos de condensación: es necesario que existan superficies sobre las cuales tenga efecto la condensación: polvo, partículas de hielo, sales, impurezas.
- Crecimiento de las gotitas de agua hasta obtener un tamaño que les permita caer. Las nubes están sostenidas por componentes verticales de las fuerzas que ejercen las corrientes de aire; estas son pequeñas, pero suficientes para impedir que caigan partículas de determinado tamaño.

Es necesario entonces que las gotas tengan peso suficiente, porque de otra manera se podrían evaporar y desaparecería la nube lentamente. Las gotas pueden crecer por atracción electrostática o por turbulencia.

Según los fenómenos meteorológicos que las originan existen tres tipos de precipitaciones: convectiva, frontal o ciclónica y orográfica o lluvia de relieve. (Custodio & Llamas, 2001). Los cuales se describen a continuación:

a) Precipitación convectiva

Cuando una masa de aire próxima a la superficie aumenta su temperatura, la densidad baja y la masa sube y se enfría, lo que ocasiona la condensación del vapor de agua produciéndose entonces la precipitación que afecta áreas reducidas, del orden de 25 a 50 kilómetros cuadrados. Este tipo de precipitaciones son muy intensas y de corta duración, y ocurren generalmente en las zonas tropicales (INAB, 2003).

b) Precipitación orográfica

La masa de aire se encuentra con una barrera y es obligada a ascender, siguiendo los accidentes naturales del terreno, tales como las montañas. Por lo general, el lado de la montaña contra el que choca el viento es la zona lluviosa, mientras el otro lado es más seco (INAB, 2003).

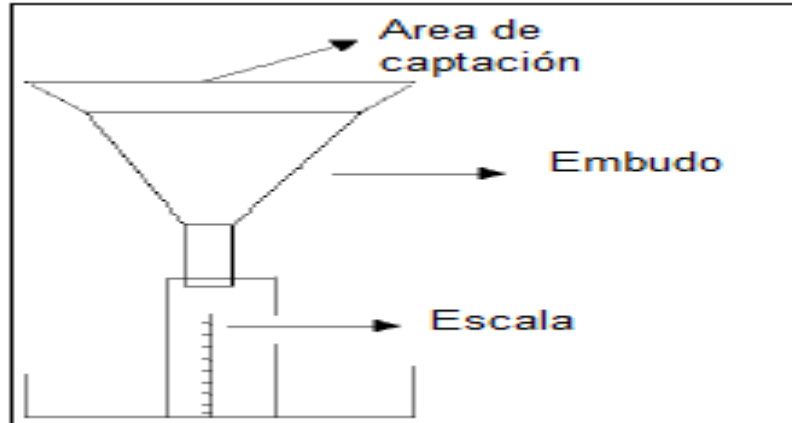
c) Precipitación frontal o ciclónica (por convergencia)

Cuando dos masas de aire de aproximadamente la misma temperatura chocan, ambas se elevan. La discontinuidad entre las dos masas de aire se llama frente. La masa de aire más caliente y menos denso, asciende, enfriándose y provocando la precipitación.

Cuando una masa de aire frío procedente de los polos se encuentra con una masa de aire caliente, estas dos masas no se mezclan y forman una discontinuidad: la masa de aire frío, más densa, se sitúa debajo de la de aire caliente. Cuando una masa de aire se empieza a mover, su posición anterior es ocupada por un frente. Un frente cálido se forma cuando aire caliente reemplaza el aire frío y un frente frío se forma cuando el aire frío desplaza la masa de aire caliente (INAB, 2003).

3.1.5.1.1.2. Medida de la precipitación

La precipitación se mide generalmente con pluviómetros, que son recipientes estandarizados en los cuales puede medirse la lámina precipitada. La Figura 1, muestra un esquema de este tipo de mecanismos.



Fuente: modificado de INAB (2003)

Figura 1. Esquema de un Pluviómetro y sus partes principales

El pluviómetro consta fundamentalmente de tres partes. Un área de captación en la parte superior, que se comunica con un recipiente de área menor mediante un embudo. La relación entre las dos áreas es generalmente de 10, de tal manera que al introducir una escala graduada en centímetros en el recipiente inferior, se lee la precipitación real en milímetros. El pluviómetro sólo proporciona la altura de precipitación total en milímetros en intervalos de tiempo fijados de antemano, generalmente de 24 horas.

Cada milímetro de precipitación medido, representa la altura (en lámina precipitada) que tendría un cubo de área igual a un metro cuadrado. Para medir continuamente la precipitación en el tiempo, es necesario un Pluviógrafo (Figura 2), que es el mismo pluviómetro provisto de un mecanismo de relojería que le permite marcar en un tipo especial de papel la variación de la precipitación con el tiempo.

La precipitación también se estima por medio de fotos de satélite; el color y la forma de las nubes permiten a los expertos estimar la cantidad de agua precipitada que aquellas podrían producir. Los radares también permiten hacer estimaciones sobre la cantidad de lluvia que produciría una masa de nubes: el radar emite ondas electromagnéticas y la velocidad con que las nubes reflejan estas ondas depende del tamaño y densidad de las gotas de agua de la nube.



Fuente: INAB, 2003 (Manual de recarga hídrica)

Figura 2. Fotografía de un Pluviógrafo instalado en campo y sus componentes

Según Custodio & Llamas, (2001), es necesario conocer la precipitación media sobre una cuenca ya que la cantidad de lluvia recibida en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores y para ello se puede utilizar los siguientes métodos: Promedio Aritmético, toma la media aritmética de las medidas obtenidas en los pluviómetros y puede ser útil en trabajos donde no se requiere mucha precisión, siempre que la zona tenga características de homogeneidad climática y física.

Thiessen citado por Herrera, (2002), asigna como dominio un polígono a cada pluviómetro por tanto, es un método que proporciona resultados bastante precisos particularmente en planicies, siempre que los pluviómetros estén distribuidos homogéneamente en la zona.

Una curva Isoyeta, consiste en interpolar líneas de igual precipitación y es la que proporciona los resultados más precisos en zonas montañosas, cuando el investigador posee un buen conocimiento de las características climáticas y físicas de la zona.

Según la investigación realizada por Nittler & Barahona, (1993), se puede mencionar que en Guatemala, hay pocos datos existentes sobre la precipitación que sean de mucha utilidad en el manejo de microcuencas. Existen datos confiables de cantidades totales en ciertas estaciones climáticas (usualmente en las partes bajas de las cuencas).

En el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, por ubicarse en la parte alta de un área de suma importancia para Guatemala como lo constituye la sub cuenca del Lago de Amatitlán; donde además, existen grandes variaciones topográficas (zona montañosa), existe una gran presión urbana, económica y social.

3.1.5.1.2. Precipitación efectiva

Según el INAB, (2003) se manifiesta que, desde el punto de vista de recarga a los acuíferos, la precipitación efectiva se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por las raíces de las plantas y/o para recargar al acuífero.

Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva, entre ellos se mencionan los siguientes: intensidad de la precipitación, velocidad de infiltración en el suelo, la cobertura vegetal y la topografía (INAB, 2003).

A partir de estos factores, existen varios métodos que han sido desarrollados por diversos autores, especialmente para ser utilizados en distritos de riego. Entre ellos, se pueden mencionar los métodos: de la FAO, de Blaney y Criddle, Palacios Vélez y Schosinsky & Losilla, (2000).

De estos métodos, a nivel Guatemala, en estudios de recarga potencial, se han utilizado las siguientes: Palacios Vélez en la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango y en la aldea Chojzunil del municipio de Santa Eulalia, Huehuetenango (Herrera, 1995), y el método de Schosinsky & Losilla en la cuenca del río Acomé y microcuenca del río Cantil, Escuintla (Simons C. et., al., (1959)), microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz, microcuenca del río Platanitos, Guatemala y microcuenca del río Sibacá, El Quiché (Fuentes, 2005); así también los trabajos realizados en la estación Hidrológica Forestal en río Frío con un proyecto del CEFÉ-INAB; para esta investigación en particular, se utilizó el método de Schosinsky & Losilla, (2000).

i. Método Schosinsky & Losilla

Este método según Schosinsky & Losilla, (2000), fue desarrollado en Costa Rica en el 2000 y se basa en una ecuación que es el resultado de correlación estadística al analizar diversas bandas de Pluviógrafo. Considera la velocidad de infiltración del suelo como el

factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse. Ésta depende básicamente de las características físicas del suelo como: textura, estructura, compactación y contenido de humedad, que son independientes de la localidad en que se encuentra determinado suelo.

El método considera tres aspectos: Relación entre la infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia (fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo), factor de pendiente del terreno (fracción que infiltra por efecto de pendiente) y factor de cobertura vegetal (fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal). La suma de estos aspectos es el valor de coeficiente de infiltración del suelo (2000).

La fórmula general generada por Schosinsky & Losilla, (2000), con la que se determinó la precipitación efectiva es la siguiente:

$$P_{ef} = \left(1 - \sum Ki \right) Ci \times P \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

P_{ef}: Precipitación efectiva (precipitación que infiltra)

P: Precipitación mensual

C_i: Coeficiente de infiltración.

K_i: Valor de retención vegetal (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).

Además el método considera tres aspectos:

- La relación existente entre la infiltración y la precipitación (K_{fc}) o la fracción que infiltra por efecto del suelo.
- La relación que existe entre la infiltración y la pendiente del terreno (K_p) o la fracción que infiltra por efecto de la pendiente.
- La relación que existe entre la infiltración y la cobertura vegetal (K_v) o la fracción que infiltra por efecto de la vegetación.

La sumatoria de estos tres aspectos proporciona el coeficiente de infiltración para un determinado suelo e indica la capacidad de infiltración del mismo.

$$C_i = K_{fc} + K_p + K_v \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Ci: Coeficiente de infiltración

K_{fc}: Factor de infiltración por efecto del suelo

K_p: Factor de infiltración por efecto de la pendiente

K_v: Factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal.

Schosinsky & Losilla (2000), obtuvieron una ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) con la intensidad de la lluvia, y es la siguiente:

$$K_{fc} = 0.267 \times \ln \left(\frac{I}{f_c} \right) - 0.000154 \left(\frac{I}{f_c} \right) - 0.723 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

K_{fc}: Factor de infiltración de agua en el suelo e intensidad de lluvia.

Ln: Logaritmo neperiano (natural)

f_c: Valor de infiltración básica en mm/día

Los valores del factor de infiltración por efecto de la pendiente (K_p) y el factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (K_v) propuestos por Schosinsky & Losilla (2000), se presentan en los cuadros 8 y 9.

ii. Método Palacios Vélez

Palacios, citado por Herrera (1995), desarrolló en 1971, dos ecuaciones para estimar la precipitación efectiva en distritos de riegos. Este autor considera la intensidad de la precipitación como el factor principal que condiciona la cantidad de agua que se infiltra. Las ecuaciones resultantes se obtuvieron en las zonas tropical, semiárida y árida de México, particularmente en suelos con textura media.

3.1.5.1.3. Evapotranspiración

Según Linsley (1988), al estudiar el balance hídrico de un área de drenaje, el interés principal radica en la determinación de las pérdidas de agua total o evapotranspiración.

Nittler & Barahona (1993), indican que ésta consta de dos procesos, evaporación y transpiración, que por la dificultad de separar la medición en el campo y debido a que

tienen el mismo impacto neto en el rendimiento de agua en una cuenca, usualmente son definidos y medidos en conjunto.

La evaporación es el proceso de cambio de agua del estado líquido a gaseoso, donde el suelo juega el papel de reservorio en la cuenca. Esta toma lugar en la superficie, debido al movimiento del agua dentro del suelo hacia la misma e influye mucho en los niveles de evaporación (Custodio & Llamas, 2001).

La transpiración es básicamente un producto del proceso de respiración por parte de las plantas y demás seres vivos; las plantas absorben agua del suelo y a través de sus procesos internos, trasladan el agua hacia la superficie de las hojas y corteza, donde el agua se evapora. Son varios los factores que influyen en los distintos niveles de transpiración como lo son: las formas de la vegetación, densidad vegetal, especies, condiciones climáticas, disponibilidad del agua en el suelo, etc.

Thornthwaite, citado por Custodio & Llamas (2001) en 1948, introduce para propósitos prácticos las siguientes divisiones:

Evapotranspiración potencial: es la pérdida de agua cuando se supone que el desarrollo de las plantas es óptimo y el suelo permanece a capacidad de campo.

Evapotranspiración real: es el agua pérdida en determinada área, al satisfacer total o parcialmente la demanda de la cobertura vegetal en función del desarrollo y condiciones de humedad del suelo.

Según la investigación realizada por Cabrera (1997), los valores típicos de evapotranspiración potencial varían entre 1 a 3 mm/d para los climas templados, de 5 a 8 mm/d en los trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/d en regiones áridas.

3.1.5.1.4. Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP)

Según la investigación realizada por Herrera, (1995), los métodos modernos para el cálculo de la evapotranspiración, se basan en el cálculo de la evapotranspiración potencial, que puede ser determinada por métodos directos e indirectos. Entre los directos se encuentran, lisímetros y parcelas de campo, que son métodos que implican un gran

costo y bastante tiempo; y en los métodos indirectos pueden mencionarse algunos como: Blaney y Criddle, Thornthwaite, Penman y Hargreaves, (2003).

Los dos primeros por ser desarrollados en latitudes diferentes a Guatemala, proporcionan resultados inferiores a los verdaderos, en el caso del método de Penman proporciona los mejores resultados pero en Guatemala y especialmente en la microcuenca del río San Lucas, por carecer de una estación meteorológica tipo A no se puede emplear, para la determinación de la Evapotranspiración Potencial; por lo que se cita el siguiente método como el indicado para el cálculo de la ETP.

i. Método de Hargreaves

Herrera, (1995), menciona que es un método práctico y confiable, porque es una ecuación diseñada para la región centroamericana, por el investigador Hargreaves. Esta ecuación permite estimar la evapotranspiración potencial en función de las variables: temperatura media, radiación solar extraterrestre, brillo solar y la humedad relativa como se muestra a continuación.

$$ETP = 0.0075 \times TMF \times RSM = \text{mm/mes} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$$TMF = 1.8 \times TMC + 32$$

$$RSM = 0.075 \times RMM \times S^{1/2}$$

$$RMM = RS \times \text{No. días del mes}$$

$$S = (Sd/24) \times 100$$

Y donde:

TMF = Temperatura media mensual (°F)

TMC = Temperatura media mensual (°C)

RSM = Radiación solar incidente mensual

RMM = Radiación mensual extraterrestre (mm/mes)

RS = Radiación solar extraterrestre (mm/día) (dato de tabla).

S = Brillo solar mensual en %

Sd = Duración máxima media diaria de horas de brillo solar (dato de tabla).

Cuadro 1. Porcentaje de horas de sol mensual con respecto a la latitud

Grados Lat. N	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	8.5	7.66	8.49	8.21	8.5	8.22	8.5	8.49	8.21	8.5	8.22	8.5
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.6	8.23	8.42	8.07	8.3
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.6	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.1
14	8.08	7.39	8.44	8.41	8.9	8.73	8.99	8.79	8.26	8.28	7.85	8.04
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.8	9.05	8.83	8.28	8.2	7.75	7.88
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.8
18	7.83	7.3	8.42	8.5	9.09	8.92	9.16	8.9	8.27	8.21	7.66	7.74

Fuente: Herrera (2002).

3.1.5.1.5. Estimación de la evapotranspiración real

De acuerdo a Custodio & Llamas, (2001), la cantidad de agua que se pierde a la atmósfera tiene un límite superior que corresponde al valor de la evapotranspiración potencial y menciona que para estimar evapotranspiración real se puede utilizar ecuaciones empíricas como las de Turc y Coutagne, pero con la limitante en que sólo se basan en las variables climáticas, precipitación y temperatura.

i. Método de Penman

Penman, citado por Fuentes 2005 y Herrera 1995, establece este método, el cual utiliza el criterio de variación lineal de la evapotranspiración real, que se refiere a que la misma es proporcional al contenido de humedad del suelo, o sea que cuando el contenido de humedad del suelo se acerca al punto de marchites permanente, mayor dificultad tienen las plantas para obtener el agua a través de su sistema radicular, por tanto el consumo es menor.

3.1.5.2. Suelo

3.1.5.2.1. Textura y estructura

Estas características del suelo, le confieren propiedades que influyen principalmente en la infiltración del agua en el suelo, así como de la velocidad y el comportamiento del

movimiento en el mismo y de las proporciones en las que el agua se encuentra en el suelo y la disponibilidad para las plantas.

Nittler & Barahona (1993), indican que la textura del suelo influye mucho en la infiltración, por ello los suelos arenosos son mucho más permeables que los suelos arcillosos. En los suelos arenosos, los poros son más grandes e interconectados por lo que facilitan la infiltración. Y las diferentes estructuras de los suelos influyen en la configuración de los poros y espacios dentro del suelo, por lo que incrementan o afectan la infiltración.

3.1.5.2.2. Densidad aparente y porosidad

La densidad aparente depende de la textura del suelo y está relacionada con el volumen del espacio poroso, por ello esta cambia cuando los suelos se compactan. La densidad aparente de los suelos no cultivados oscila entre 1.0 y 1.6 gr/cc., y su importancia radica en que permite calcular la lámina de agua para las diferentes unidades de suelos, al conocer las constantes de humedad y la profundidad radicular esto según Sandoval, (1989).

La porosidad se estima en base a la densidad de los suelos e influye en la infiltración del agua, movimiento del aire y agua y en el crecimiento radicular de las plantas (Sandoval, 1989).

3.1.5.2.3. Contenido de humedad

Padilla, (2003), en su investigación “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”; indica que el contenido de humedad de los suelos es una característica muy importante en el balance hídrico, porque según su comportamiento interviene en la infiltración, en la cantidad de agua que toman las plantas y en la recarga de agua a estratos profundos. Por ello, se determinan contenidos de humedad como capacidad de campo, punto de marchites permanente y humedad aprovechable.

3.1.5.2.4. Capacidad de Campo

Según Custodio & Llamas, (2001), es el contenido de humedad del suelo cuando ha perdido el agua gravitacional. Es importante porque es el agua que podrá ser aprovechada por las plantas para su desarrollo.

3.1.5.2.5. Punto de marchites permanente –PMP-

Sandoval (1989), define este contenido de humedad como, el agua retenida por el suelo que no puede ser aprovechada por las plantas, por ello se reducen los valores de evapotranspiración real.

3.1.5.2.6. Humedad aprovechable -Ha-

Según Sandoval, (1989), es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, como límite superior aprovechable y el punto de marchites permanente, como límite inferior aprovechable y representa la lámina de agua disponible para las plantas. A este tipo de humedad o “constante de humedad” también se le conoce como agua capilar.

3.1.5.2.7. Infiltración

De acuerdo a Custodio & Llamas, (2001) es el porcentaje de agua de la precipitación pluvial que penetra por la superficie del suelo en un determinado tiempo.

La infiltración es importante en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada y también en el estudio de recarga hídrica. Existen varios factores que condicionan la infiltración en un área determinada, por lo que su estimación precisa es difícil de obtener (Custodio & Llamas, 2001).

Nittler & Barahona, (1993), dividen a la infiltración en inicial y básica. La inicial es la cantidad de agua infiltrada durante las primeras dos horas de lluvia cuando los suelos no están saturados. En esta etapa, la infiltración es más rápida, dado que los poros están vacíos y que existe una atracción entre las partículas del suelo y el agua. La infiltración básica, es cuando los suelos superficiales ya están saturados y los valores de infiltración se vuelven más o menos constantes.

La infiltración tiene un impacto directo en la cantidad de escorrentía superficial y la disponibilidad de agua para uso en la cuenca durante todo el año. Pero el agua corre y se mueve más lentamente dentro del suelo, que en la superficie del mismo, particularmente en áreas de topografía quebrada, como las existentes en la cordillera del “Cerro Alux”, donde se localiza la parte alta o el origen de la microcuenca del río San Lucas y del río El

Arenal, así mismo todas las áreas de la parte media de la microcuenca, en las laderas u hondonadas que dan origen a las corrientes.

3.1.5.2.8. Estimación de la infiltración básica

Según Padilla, (2003), existen diferentes métodos para definir la infiltración básica de un suelo, entre ellos, los siguientes: Porchet o agujero cilíndrico invertido y doble cilindro, para los efectos de esta investigación se empleara el método de “Porchet”, y a manera de referencia se indican a continuación los dos métodos en mención.

A. Método de “Porchet” o cilindro invertido para la infiltración.

Según Padilla, (2003), este método se considera preciso y fácil de aplicar en el campo, especialmente en las unidades de muestreo a nivel de microcuenca.

Custodio & Llamas, (2001), indica que consiste en excavar en el suelo un agujero de radio (R), al cual se agrega agua hasta saturarlo completamente y luego se llena de agua hasta una altura conocida (h), se mide un cambio pequeño en el tiempo (dt), suponiendo que la infiltración (f) en ese intervalo es constante.

B. Método del “infiltrómetro” ó de doble cilindro.

Sandoval, (1989), indica que es el más versátil y el más adecuado para determinar la infiltración básica en sistemas de riego. El método se basa en que la velocidad de infiltración decrece con el tiempo.

3.1.5.3. Topografía

Nittler & Barahona, (1993), manifiestan que la topografía es sumamente impactante en la infiltración. En lugares de pendientes fuertes, el agua tiene muy poca oportunidad de infiltrarse antes de formar la escorrentía superficial. Las condiciones superficiales varían mucho. Con condiciones ásperas, usualmente la infiltración es mayor, dado que el agua se mantiene sobre la superficie más tiempo, dando más oportunidad de entrar al suelo.

Según el INAB (2003), la topografía influye debido al tiempo de contacto del agua con la superficie, en condiciones planas el agua cae a la superficie y su movimiento será lento lo que dará un mayor tiempo para que se infiltre, caso contrario sucede en topografía quebrada, el agua cae y debido a la inclinación del terreno, se desplaza a mayor velocidad formando parte del agua de escorrentía.

3.1.5.4. Estratigrafía geológica

Según De Ridder (1994), con fines hidrogeológicos, se definen tres estratos o capas: permeable, semipermeable e impermeable. Una capa es permeable cuando sus propiedades de transmitir agua son favorables en comparación con los estratos superiores o inferiores, en ésta la resistencia al flujo vertical es pequeña, así que sólo se toman en cuenta las pérdidas de energía causada por el flujo horizontal.

En la capa semipermeable, sus propiedades transmisoras de agua son relativamente desfavorables en el flujo horizontal, pero el flujo vertical debe ser considerado ya que la resistencia al flujo es mínima, debido al espesor relativamente pequeño de las capas. Y en la capa impermeable las propiedades transmisoras de agua son tan desfavorables que sólo fluyen a través de ella cantidades mínimas de agua, ya sea vertical u horizontalmente,.

De acuerdo a Herrera (1995), existen capas o estratos en donde predominan materiales granulares gruesos (gravas y arenas) que por su granulometría y su mayor diámetro medio comparado con materiales finos (arcillas y limos), presentan una mayor permeabilidad y capacidad de transmitir el agua; por tanto en estos estratos se pueden encontrar los mejores acuíferos.

La estratigrafía o secuencia de rocas que han sufrido deformaciones por la acción de fuerzas de compresión y tensión, presentan diferentes grados de fracturación, que modifican sus condiciones originales de porosidad y permeabilidad. Es por ello que muchas rocas que originalmente presentaban condiciones poco favorables para la transmisión y almacenamiento del agua subterránea, se convierten en las zonas de mayor permeabilidad y llegan a constituir buenos acuíferos (Herrera, 1995).

INAB (2003), reporta que es de gran importancia realizar un estudio de la estratigrafía para las zonas de importancia hidrogeológica, para conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar la cantidad de recarga hídrica, porque si existe una capa impermeable, no permitirá el paso del agua a mayor profundidad y se generará un flujo sub superficial que alimentará un cauce cercano o bien emergerá en manantiales.

3.1.5.5. Cobertura vegetal

3.1.5.5.1. Profundidad radicular

Sandoval, (1989), indica que la profundidad radicular determina la lámina de agua que es utilizada por las plantas para su desarrollo y depende del tipo de planta, condiciones del suelo y clima. También menciona que las raíces de las plantas que absorben mayor cantidad de agua del suelo, son las que se encuentran en la parte superior de la zona radicular. La profundidad radicular de las plantas puede oscilar hasta 2.50 m.

Cuadro 2. Profundidad radicular en diferentes combinaciones de suelos y plantas.

Tipo de vegetación	Profundidad de raíces (m)
Alfalfa (pastos)	1-2
Algodón	1-1.7
Banano	0.5-0.8
Caña Azúcar	1.20-2
Frijol	0.5-0.7
Cebolla	0.3-0.5
Cítricos	1.20-2.0
Bosques	2.0-3.0

Fuente: Schosinsky, G., 2006

En cuanto a profundidad radicular es oportuno mencionar que aquellos sistemas radiculares profundos permiten una mejor percolación del agua, ya que según lo que menciona Sandoval (1989) al respecto de la zona de mayor absorción de humedad por las plantas, se sabe que en las partes más profundas ya no se da la absorción de agua por las plantas, permitiendo esto que el agua se infiltre con mayor facilidad, ejemplo de ello son los árboles, ya que en un bosque existen numerosos sistemas radiculares todos de consistencia leñosa y profundos, esto permite que el agua penetre a niveles considerables en el suelo.

3.1.5.5.2. Intercepción

Según Nittler & Barahona (1993), es el proceso de retención de la precipitación en los estratos de vegetación y broza, limitando la cantidad de agua que llega al suelo. La intercepción puede captar y guardar hasta 30% de la precipitación en bosques húmedos tropicales. En áreas áridas, con menos vegetación, la intercepción disminuye, sin embargo en áreas de pastos y arbustos, la retención de agua de lluvia oscila entre 10 y 20%.

El agua retenida en los estratos de vegetación y broza puede evaporarse antes de llegar al suelo; o llegar hasta el suelo por goteo o escurrimiento (movimiento de agua por debajo y a través de las ramas y troncos). Si esto último ocurre, la lluvia llega hasta el suelo durante un período más largo ocasionando mejores posibilidades para que el agua se infiltre y no forme parte de la escorrentía superficial (Nitler & Barahona, 1993).

La cantidad de agua que llega hasta el suelo a través del goteo, versus la cantidad que se evapora varía mucho debido a las diferentes condiciones climáticas, físicas y de la vegetación. Se puede considerar que la intercepción aparentemente roba agua de la cuenca y del sistema hidrológico; dado que en áreas de alta intercepción (bosques densos con varios estratos de vegetación y un estrato profundo de broza), se puede perder hasta 30% de la precipitación en forma de evaporación (Nitler & Barahona, 1993).

Linsley (1988) reporta que se han encontrado en otras latitudes, que un bosque de árboles maderables de 50 años de edad, intercepta hasta un 20% de lluvia y que la capacidad de intercepción se reduce a mayor velocidad del viento y que la tasa de evaporación aumenta.

3.1.5.6. Escurrimiento

Linsley (1988), considera tres caminos principales: escorrentía superficial, escorrentía sub superficial y escurrimiento subterráneo.

3.1.5.6.1. Escorrentía superficial

Nittler & Barahona (1993), expresan que es el exceso de agua que no se infiltra ni se evapora de la superficie antes que el agua llegue a los ríos y red de drenaje. La cantidad de escorrentía está directamente relacionada con la intensidad y duración de la precipitación y el área recolectora que drena a la misma red de drenaje.

La escorrentía se aumenta con la distancia, ya que entre más larga sea desde el inicio de la escorrentía hasta la red de drenaje, mayor será la cantidad de escorrentía. La velocidad está directamente relacionada con la pendiente y la cantidad.

3.1.5.6.2. Escorrentía sub superficial

Según Linsley (1988), es una porción del agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra y que puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar

al cauce de la corriente. Esta agua se mueve más lentamente que la escorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente. A pesar de viajar más lentamente que la escorrentía superficial, la escorrentía sub superficial puede ser mayor en cantidad, especialmente en lluvias de intensidad moderada.

Esta agua podría recargar el acuífero y convertirse en agua subterránea, de no ser por alguna capa confinante que se lo impide y la convierte en agua sub superficial.

3.1.5.6.3. Escurrimiento subterráneo

Nittler & Barahona (1993), lo consideran un término para describir el proceso de percolación. A través de la percolación, la precipitación recarga los acuíferos subterráneos, los ríos, lagos y nacimientos. La percolación depende básicamente de la textura y estructura de los suelos, subsuelos y estratos subyacentes. La percolación es más parecida a la infiltración en medios más gruesos (arenosos) que finos (arcillosos) donde la percolación generalmente es mayor.

3.1.5.7. Métodos para aforar el escurrimiento superficial

Padilla (2003), indica que aforar es el conjunto de operaciones que permite cuantificar el volumen de agua de una sección específica del cauce de un río, en un tiempo determinado y que los métodos prácticos de aplicación más frecuente son: el método volumétrico y método de sección velocidad.

3.1.5.7.1. Método volumétrico

Es el método para cuantificar el caudal de pequeños manantiales de agua, para ello se utiliza un recipiente de volumen conocido y el tiempo que tarde en llenarse, determinándose el caudal en m^3/s o l/s (Herrera, 1995).

3.1.5.7.2. Método sección velocidad

En este método se determina la sección transversal del cauce y la velocidad de la corriente. Primero, se determina el punto donde se efectuará la medición y se divide el ancho del cauce en tramos de acuerdo al Cuadro 3. Posteriormente, se obtiene el ancho y la profundidad, datos que servirán para calcular la profundidad media y el área de cada tramo (Padilla, 2003).

Cuadro 3. Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce.

Ancho del cauce (m)		Espaciamiento (m)
DE	A	
0	1	0.20
1	2	0.25
2	4	0.50
4	8	1.00
8	15	1.50
15	25	3.00
25	50	5.00

Fuente: Herrera, 2002.

Para determinar la velocidad media, se puede utilizar flotadores o molinetes. Un molinete es un instrumento que sirve para registrar velocidades de flujos (agua, viento) en forma indirecta, utilizando la medición del número de revoluciones de una hélice o copas a través de un sensor en determinado intervalo de tiempo. Existen varios modelos, los que por norma, incluyen su ecuación correspondiente basada en su calibración que permite obtener en base al número de revoluciones, el valor de velocidad (Padilla, 2003).

Un flotador es cualquier objeto que sea poco menos denso que el agua, cuya diferencia le permita flotar en ella lo suficiente para que al menos un 75 % del objeto quede sumergido en el agua, para poder así, registrar la velocidad con la que el agua arrastra dicho objeto que es equivalente a la velocidad del flujo de agua.

3.1.5.7. Variabilidad espacial y temporal

De acuerdo a Lerner (Lerner et. al., 1990), las variaciones de recarga hídrica en el espacio y tiempo son una consecuencia directa de la diferencia por factores como precipitación, propiedades del suelo, vegetación, relieve y uso de la tierra.

La escala de tiempo puede ser instantánea, eventual, temporal, anual, histórica y geológica. Pero se debe considerar que al trabajar con largos intervalos temporales puede sobreestimarse o subestimarse la recarga hídrica (Lerner et. al., 1990).

Herrera (1995), manifiesta que el intervalo temporal diario, respecto al mensual y anual, es más preciso debido a que toma en cuenta los cambios de humedad del suelo y de evapotranspiración de forma detallada.

Lerner et., al., (1990), indica que el área de trabajo debe ser pequeña para intervalos temporales cortos cuando se utiliza un nivel de estudio detallado y deberá ser grande para estudios a nivel de reconocimiento, con intervalos temporales largos. También, reporta que la menor variabilidad espacial se obtiene al estimar la recarga en puntos específicos de interés, pero multiplicar estos puntos es algo no viable para grandes áreas por el tiempo y elevado costo. Por tanto recomienda extrapolar valores de recarga donde los suelos y aspectos hidrológicos, sean representativos del área circundante.

3.1.6. Métodos para determinar recarga hídrica

De acuerdo a Lerner et., al. (1990), los requisitos de un buen método para estimar recarga son: El balance de agua, se refiere a que todo método debe cuantificar el agua que no se recarga para reducir la posibilidad de sobreestimar o subestimar la recarga al acuífero.

Los procesos de recarga, hacen mención a que todos los métodos excepto algunos de medida directa, dependen del conocimiento de los procesos y mecanismos de flujo del agua para convertirse en recarga, se debe hacer la estimación de error, este indica que un buen método dará errores mínimos respecto a los parámetros que son difíciles de estimar exactamente.

Los métodos empleados deben poseer la facilidad de uso, la misma se refiere a que los métodos deben requerir datos puntuales, baratos y no especializados (hidrológicos), para que se puedan emplear en los proyectos de investigación. La extrapolación, establece que necesitando el estudio de recarga un período largo, los métodos que pueden emplear datos disponibles por monitoreo para extrapolar estimaciones, son más útiles en comparación a los que requieren observaciones especializadas.

Lerner et., al. (1990), reporta que los métodos para cuantificar recarga han sido agrupados en: medida directa, métodos de balance de agua, método Darciano y técnicas de trazadores.

3.1.6.1. Medida directa

Puede utilizarse para medir recarga por precipitación. La medida se realiza utilizando un lisímetro, a una profundidad del suelo, donde el agua ya no es afectada por la influencia de la evapotranspiración u otro proceso (Lerner et. al., 1990).

Las ventajas de éste método es el balance implícito de masa para cuantificar la recarga y la escala temporal que puede ser instantánea, eventual o anual, y entre sus desventajas se puede mencionar el costo de la construcción y operación del lisímetro y que sólo proporciona una medida para un punto específico (Lerner et. al., 1990).

3.1.6.2. Método Darciano

Lerner et., al.(1990), indica que este método utiliza la ley de Darcy para describir el flujo de agua subterránea a través del suelo, se basa en la carga hidráulica, presión, contenido de humedad, conductividad hidráulica, otras propiedades y cambios de flujo.

La ventaja de este método es que tiende a representar el flujo de agua (proceso físico que interesa en recarga hídrica), y su desventaja radica en que puede ser aplicado dentro de ciertos límites, como flujo laminar y que el número de Reynolds sea igual o menor a la unidad (Lerner et. al., 1990).

3.1.6.3. Técnicas de trazadores

Según Lerner et., al. (1990), los trazadores ambientales han sido ampliamente utilizados en zonas áridas y semiáridas para estimar recarga hídrica. Entre los diferentes trazadores se puede mencionar el de isótopos, que son formas del mismo elemento con números distintos de neutrones (Ej.: Oxígeno 18 y 16) que pueden ayudar a determinar la edad, origen, tamaño, flujo y destino de una fuente de agua.

Este método se basa en la identificación del agua por sus “huellas digitales”, aprovechando que las moléculas del agua están formadas por estructuras únicas (Lerner et. al., 1990). Su principal ventaja es que es un método rápido y eficaz, pero en sus desventajas está que para nuestro medio es costoso y según Lerner et., al. (1990), estos trazadores no miden directamente corrientes de agua u otros problemas que pueden surgir, como desconocimiento de entradas secundarias de trazadores y diferentes

mecanismos de corrientes como canales o fisuras, que pueden hacer que se sobre o subestime la recarga hídrica.

3.1.6.4. Métodos de balance de agua

Este método se basa en que los procesos como precipitación, evapotranspiración y escorrentía superficial pueden ser estimados más fácilmente que la recarga, por tanto esta última es un elemento desconocido que se establece mediante una ecuación de balance general (Lerner et. al., 1990).

Se distingue en este grupo el balance hídrico de suelos en el cual la precipitación y la evapotranspiración potencial constituyen entradas de información para valorar la humedad del suelo y obtener los valores de evapotranspiración real y recarga hídrica (Lerner et. al., 1990). También, se encuentra el balance de agua del cauce de un río, que se determina por los flujos de corrientes en puntos diferenciales (arriba-abajo), para cuantificar pérdidas por infiltración que se constituye en una recarga al acuífero (Lerner et. al., 1990), esto se realiza por medio de los aforos diferenciales (ver inciso 3.1.6.6 Aforos diferenciales, de este capítulo)

Las ventajas de estos métodos, es que utilizan datos disponibles, rápidos de aplicar y cuantifican toda el agua que entra al sistema. Además, se pueden utilizar para estimar todas las fuentes de recarga y con frecuencia son los únicos métodos viables (Lerner et. al., 1990).

La mayor desventaja es que los errores pueden ser altos debido a que la recarga es el elemento encontrado por balances de otros componentes. Esto, porque es difícil estimar de forma precisa los componentes como evapotranspiración y humedad del suelo que son elementos básicos en el método de balance hídrico de suelos (Lerner et. al., 1990).

3.1.6.5. Balance hídrico de suelos

Según De Ridder (1994), el balance hídrico sirve para cuantificar la situación hídrica de cualquier tamaño de área en un período de tiempo determinado, para ello se auxilia de la ecuación de hidrología general, que es una representación de la ley de conservación de la masa, la cual es aplicada al ciclo hidrológico tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \pm \text{Cambio en el almacenamiento.} \quad (\text{Ecuación 5})$$

De acuerdo a De Ridder (1994), el método de balance hídrico de suelos, tiene las siguientes cuatro características:

- Puede ser estimado para cualquier subsistema del ciclo hidrológico, así como para diferente tamaño de área e intervalo de tiempo.
- Sirve para controlar, si todo el flujo y los componentes involucrados, han sido considerados cuantitativamente.
- Permite calcular los elementos desconocidos de una ecuación de balance, previendo que los otros componentes son conocidos. También puede ser considerado como un modelo del proceso hidrológico completo bajo estudio, esto indica que se puede usar para predecir cómo afectan los cambios imperantes en ciertos componentes que podrían estar sobre otros componentes del sistema o subsistema.

INAB (2003), establece que la recarga hídrica natural se puede estimar y comprobar en base al balance hídrico de suelos, ya que integra todos los valores en los cuales se divide la precipitación que cae sobre una determinada zona.

Según Herrera (1995), los componentes básicos para la estimación de la recarga, a través del balance hídrico, considerando que no existe aporte lateral, son: precipitación pluvial, evapotranspiración, infiltración y escorrentía superficial.

El balance hídrico de suelos para estimar recarga hídrica potencial, se define de la siguiente manera:

$$\text{Rec} = P - (\text{ETR} + \text{Es} + \text{Ret}) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

Rec = Recarga hídrica natural mm o m³/año

P = Precipitación

ETR = Evapotranspiración real

Es = Escorrentía superficial

Ret = Retención (vegetal y techos)

3.1.6.6. Aforo diferencial

De acuerdo a INAB (2003), los aforos diferenciales, sirven para estimar en algunos tramos del río lo siguiente: Disminución del caudal (río efluente) debido a la infiltración, lo que permite cuantificar la recarga al acuífero. Incremento del caudal (río efluente), que permite inferir que la zona de almacenamiento de agua (acuífero) se está descargando.

3.1.7. Áreas principales de recarga hídrica natural

De acuerdo al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA- (2000), basado en un estudio a escala regional, establece que para evaluar cuantitativamente la recarga potencial de los “Depósitos Fluviales Cuaternarios”, en zonas que no tienen datos validados, se puede adoptar un valor de recarga del 10% de la precipitación media anual, considerando estudios de balance hídrico realizados en la zona de la Costa del Pacífico, donde se ha calculado una recarga del 14% de las precipitaciones medias anuales.

Para la unidad Depósitos Piroclásticos del Cuaternario, se puede adoptar un 15% considerando válido lo que se ha determinado en estudios hidrogeológicos del Valle de Guatemala, donde sobre la base de balances hídricos detallados, ha sido calculada una recarga media variable de entre el 8% (en la subcuenca Norte) y el 22% (en la subcuenca Sur), de las precipitaciones anuales medias. En el caso de la unidad “Rocas Ígneas y Metamórficas” a escala regional todo el conjunto es considerado impermeable (MAGA, 2000).

Lerner et., al. (1990), reporta que para regiones donde predominan rocas ácidas cristalinas se pueden encontrar recargas altas, arriba del 15% de la precipitación promedio anual, cuando influye la composición química y fractura de las rocas. Citando un estudio efectuado en 1983 por Sukhijn y Rao en la microcuenca del río Vedaveti, India, en material de granito reporta una recarga de 13 a 21% de la precipitación anual, utilizando el método con isótopos de carbono-14. También, menciona que Athavale en 1985, determinó la recarga natural de una microcuenca en India en material de basalto, granito, gneises y esquistos, siendo aproximadamente el 8% del promedio de la lluvia anual.

3.1.8. Áreas críticas de recarga hídrica natural

Padilla, (2003), expresa que se les denomina a aquellas áreas que se consideran susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a un manejo inadecuado, y se determinan a partir de las áreas principales de recarga hídrica natural, por tanto deben ser objeto de un manejo especial que permita mantener y/o manejar sus características. Las áreas críticas se reconocen considerando básicamente la geología, infiltración básica, recarga anual (lámina) y pendiente.

3.1.9. Modelo en Excel para el balance hídrico y la recarga potencial

El modelo utilizado para los balances hídricos y la recarga potencial es el descrito por Schosinsky, (2006); el cual propone un esquema en una hoja electrónica de Excel, que realiza automáticamente los cálculos de las ecuaciones que se presentan en la columna con el nombre "Concepto".

En el modelo únicamente se ingresan datos en las casillas donde aparecen los números en azul, los que indican valores que se obtienen de datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, tal como la precipitación, datos de campo, datos obtenidos de tablas publicadas, tales como los valores de retención de lluvia por intersección de la vegetación, profundidad radicular, constantes por pendiente, vegetación y de humedad, entre otras que se muestran en diferentes cuadros del presente capítulo, tal como los muestreos de suelos y las infiltraciones básicas obtenidas con las pruebas de infiltración; datos con los que el modelo calcula las ecuaciones requeridas para la estimación de la recarga potencial.

La evapotranspiración potencial (ETP), se encuentra en azul, no es calculada por el modelo. El motivo es dejar libre al usuario, de calcular dicha evapotranspiración por la ecuación que considere conveniente, ya que existen varias ecuaciones, como Blaney & Criddle que requiere únicamente la temperatura media mensual; tanque de evaporación que no todas las estaciones meteorológicas lo tienen; y la ecuación de Christiansen, que requiere datos de humedad relativa, radiación solar y temperatura que no todas estaciones tienen dichos datos, etc.

Por otro lado, la humedad inicial (HSi) que generalmente usa la capacidad de campo (CC), se deja en libertad al usuario, en utilizar otra humedad inicial que no sea la capacidad de campo, por algún motivo especial, en este caso se utilizó la capacidad de campo como la humedad inicial y se inició a correr el balance a partir del mes de octubre, suponiendo que los suelos al culminar la época lluviosa se encontraban saturados, un ejemplo de lo anterior se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Modelo en Excel para la realización del balance hídrico, según Schosinsky
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio:
Estación climática:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Iluvia

fc [mm/d]	176.00		
Kp [0.01%]	0.10		
Kv [0.01%]	0.20		
Kfc [0.01%]	0.630415		Por peso
I [0.01%]	0.930415		(%) (mm)
DS (g/cm ³):	1.18	CC	22.00 519.20
PR (mm)	2000.00	PM	15.00 354.00
HSi (mm)	512.80	(CC-PM)	7.00 165.20
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20		

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	50.00	48.00	0.65	3.30	2.80	14.60	11.30	103.30	223.00	155.00	159.00	222.00	992.95
Ret [mm]	10.00	9.60	0.65	3.30	2.80	5.00	5.00	20.66	44.60	31.00	31.80	44.40	208.81
Pi (mm)	37.22	35.73	0.00	0.00	0.00	8.93	5.86	76.89	165.99	115.37	118.35	165.24	729.58
ESC (mm)	2.78	2.67	0.00	0.00	0.00	0.67	0.44	5.75	12.41	8.63	8.85	12.36	54.56
ETP (mm)	76.73	76.34	75.97	81.44	89.37	121.84	160.00	119.18	117.03	98.51	96.84	93.43	1206.68
HSi (mm)	512.80	483.95	460.87	423.02	397.38	380.26	372.81	366.35	402.08	475.18	500.14	519.20	
C1	1.00	1.00	0.65	0.42	0.26	0.21	0.15	0.54	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.72	0.54	0.35	0.21	0.12	0.06	0.00	0.15	0.59	0.84	1.00	1.00	
ETR (mm)	66.07	58.81	37.84	25.64	17.12	16.38	12.32	41.16	92.89	90.41	96.84	93.43	648.92
HSf (mm)	483.95	460.87	423.02	397.38	380.26	372.81	366.35	402.08	475.18	500.14	519.20	519.20	
DCC (mm)	35.25	58.33	96.18	121.82	138.94	146.39	152.85	117.12	44.02	19.06	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	71.81	74.26
NR (mm)	45.91	75.86	134.30	177.62	211.19	251.85	300.53	195.14	68.16	27.16	0.00	0.00	1487.73

Fuente: Schosinsky, G., 2006

Con base en lo anterior es importante mencionar que se utilizó la ecuación propuesta por Schosinsky & Losilla para el cálculo de la ETP ya que esta es la más aplicable para Centro América debido a que los investigadores la formularon para las condiciones climáticas centroamericanas.

3.2. Marco referencial

3.2.1. Localización del área de estudio

Las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, forma parte de la subcuenca del río Villalobos la que a su vez forma parte de la subcuenca del Lago de Amatitlán, que constituye la parte alta de la cuenca del río María Linda, la cual se encuentra en la vertiente del Océano Pacífico. Se ubica en la hoja topográfica escala 1:50,000 Ciudad de Guatemala, (2959-I), así como en las coordenadas GTM de 480000 m., a 492000 m., Este y de 1608000 m a 1617000 m Norte; y en coordenadas geográficas de 14033'19" a 14037'23" de latitud Norte y 90034'21" a 90040'00" de longitud Oeste (hoja cartográfica 1:50,000 de Guatemala) y se encuentra entre los 1296 msnm, para el punto de aforo en la colonia Villalobos y los 2249 msnm para la parte más alta, ubicada en el parte aguas en la finca la suiza contenta y el cerro Alux.

La microcuenca del río San Lucas tiene un área aproximada de 44.75 km², mientras que la microcuenca del río Arenal tiene un área aproximada de 16.87 km², lo cual en total hacen un área 61.62 km² aproximadamente para el área de estudio. Esto constituye de forma aproximada el 15% del área de la subcuenca del Lago de Amatitlán (Asturias, 2006).

3.2.2. Hidrografía

El área de estudio está constituida en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal a las cuales pertenecen las siguientes corrientes: río El Mariscal, San Cristóbal, Villalobos, San Lucas, El Arenal y así los diferentes tributantes intermitentes y efímeros; los cuales en conjunto desembocan sus aguas en el río Villalobos, que a su vez desemboca en el lago de Amatitlán y este mismo pertenece a la cuenca del río María Linda.

La densidad de drenaje es de 2.53 km., por cada km²., de cuenca en el caso de la microcuenca del río San Lucas y de 4.44 km., de drenaje por cada km²., de cuenca en el

caso de la microcuenca del río El Arenal, suponiendo mejores características de drenaje en caso del la microcuenca del río El Arenal que en las del río San Lucas. Debido a la baja densidad de drenaje se puede determinar que el agua es lentamente evacuada del área de influencia, lo cual puede provocar un proceso de erosión laminar si se conjuga con bajas capacidades de infiltración de los suelos (Asturias, 2006).

3.2.3. Relieve

Las pendientes de los cauces son de aproximadamente 12% de pendiente máxima, el punto más alto del cauce dentro de la cuenca es de 2249 m.s.n.m. y el punto más bajo de aforo se ubica a aproximadamente 1296 m.s.n.m., en la figura que se presenta a continuación, se observa la topografía y la ubicación de la microcuenca.

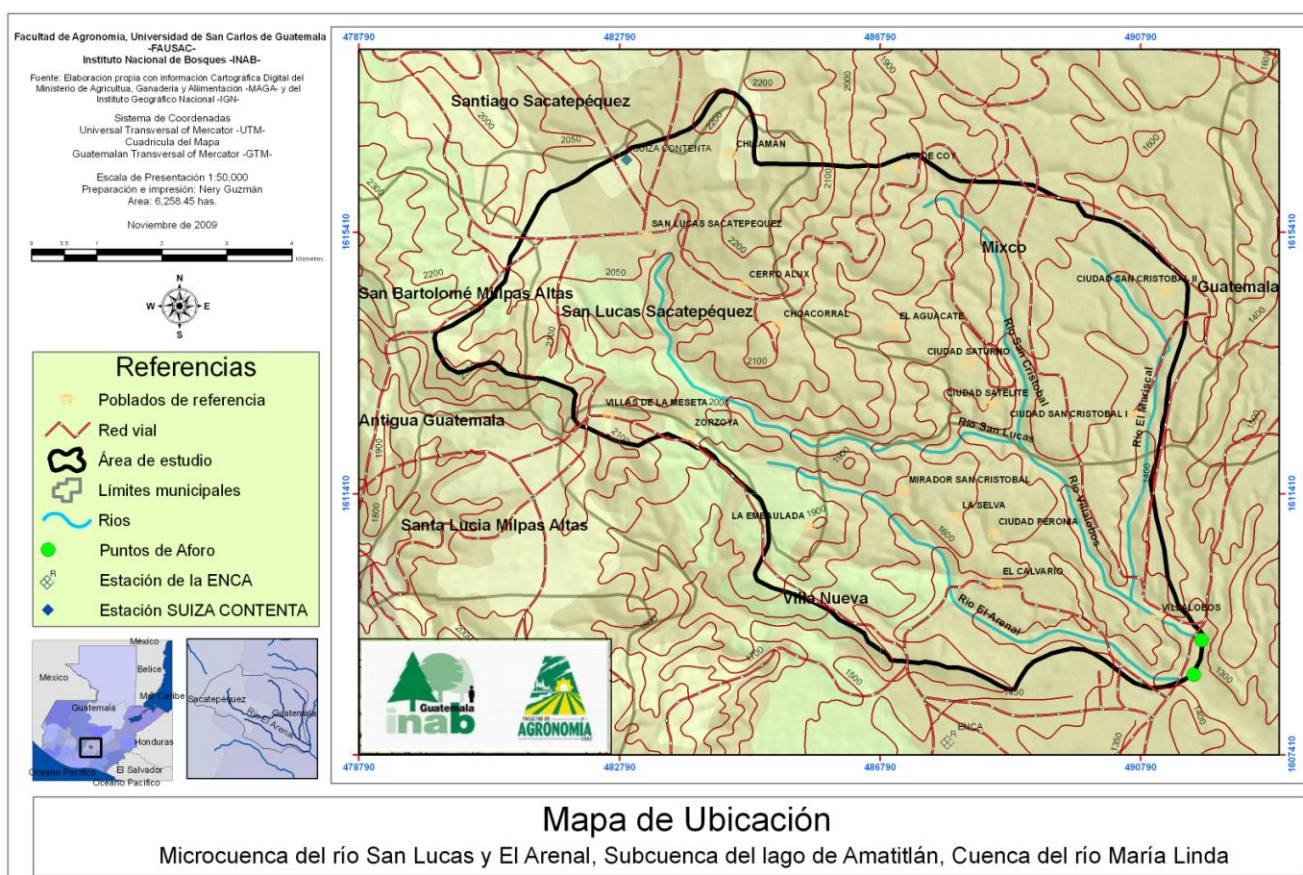


Figura 3. Ubicación de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

Las pendientes medias de las microcuencas en estudio están arriba del 16%. La microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal, presenta en las laderas terrenos con pendientes de 50 a 60% mientras que las áreas con pendientes de 0-8 % se pueden

localizar al este en San Cristóbal y oeste en la Embaulada, San Lucas Sacatepéquez; además existen terrenos con pendientes intermedias así como muy altas pendientes, que se localizan en la parte central del área en estudio.

El Arenal es la microcuenca donde el 46.18 % de su área se encuentran en terrenos con pendientes que van de 40-60 %, los cuales forman las laderas que drenan hacia el cauce, el 44.74 % de su área se encuentra ocupada por terrenos que poseen pendientes que van de 0-20 % en estos los que tienen una inclinación de 0-8 % son los que aportan mayor área y se pueden localizar al centro y oeste de las microcuencas (según Asturias, 2006).

3.2.4. Geología

La orografía y morfología del Valle de Guatemala es resultado de deformaciones causadas por agentes naturales de meteorización (destrucción de rocas) y erosión sobre depósitos volcánicos, sedimentos y cuerpos plutónicos (rocas profundas) existentes antes del vulcanismo.

El valle está limitado al oeste por la falla de Mixco, que va desde San Juan Sacatepéquez hasta el borde oeste del Lago de Amatitlán. Al norte los límites están dados por bloques levantados de calizas cretácicas delimitadas por rocas intrusivas y metamórficas del Paleozoico (Asturias, 2006).

En la cuenca se distinguen tres unidades geológicas:

- Depósitos volcánicos del cuaternario
- Rocas ígneas y metamórficas del terciario
- Rocas ígneas y metamórficas del cuaternario

Siendo de mayor importancia los depósitos volcánicos del cuaternario (Qp), incluyendo rellenos y cubiertas gruesas de cenizas volcánicas tipo pómez de origen diverso. Según el mapa de geología presentado en la figura 6 de este capítulo, las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, poseen casi el 60 % de su área constituida por sedimentos eólicos de cenizas de origen volcánicos.

3.2.5. Suelos

Los suelos del área en estudio, han sido desarrollados sobre cenizas volcánicas a elevaciones medias a excepción de las partes altas de la microcuenca, las cuales se han desarrollado sobre cenizas volcánicas pero a elevaciones altas. Los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas a elevaciones medias son poco profundos, de textura franca y franca arcillosa hasta los 30 cm. luego son de texturas franco arcillosas de color café oscuro o café amarillento ligeramente ácidos, que promedian hasta un metro de profundidad (Asturias, 2006).

De acuerdo a la clasificación Taxonómica de los suelos de la república de Guatemala realizada por la Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA) y el Programa de Emergencia por Desastres Naturales (MAGA-BID, 2000) indica que los suelos de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, corresponden a los siguientes Órdenes.

3.2.5.1. Orden Alfisol (Alf)

Suelos con un horizonte interno que tiene altos contenidos de arcilla con relación a los horizontes superficiales, además presentan alta saturación de bases (mayor de 35%). Los Alfisoles son suelos maduros con un grado de desarrollo avanzado, pero que todavía tienen un alto contenido de bases en los horizontes interiores. Generalmente son suelos con buen potencial de fertilidad (MAGA-BID 2000).

3.2.5.1.1. Suborden Ustalfs (Ls)

Sub orden de los Alfisoles que están secos entre 90 y 180 días del año en su interior. Presentan déficit de humedad. Al igual que los Udalfs, ofrecen buenas condiciones para la producción agropecuaria, pero en caso de actividades agrícolas, se requiere de la suplementación de agua, para tener cultivos con más de una cosecha por año. Estos suelos ocupan 455.64 km² y del territorio nacional corresponde al 0.42 %, se encuentran en los departamentos de Chimaltenango, Guatemala, Sacatepéquez, Suchitepéquez (MAGA-BID 2000).

3.2.5.2. Orden Andisol (And)

Suelos desarrollados sobre ceniza volcánica que tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cc) y con altos contenidos de alófono. Generalmente son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo. En condiciones de fuerte pendiente tienden a erosionarse con facilidad. Una característica de los Andisoles, es su alta retención de fosfatos (arriba del 85%), la cual es una limitante para el manejo, por lo que se debe considerar en los planes de fertilidad cuando se someten a actividades de producción agrícola (MAGA-BID 2000).

3.2.5.2.1. Suborden Ustands (Ds)

Ocupan 436.49 Km² que corresponde al 0.40 % del territorio nacional, se encuentra en Chimaltenango, Quetzaltenango, San Marcos, Sololá, Totonicapán y Sacatepéquez. Pertenecen al orden Andisol, estos suelos por lo regular que están secos entre 90 y 180 días del año; en su interior presentan deficiencia de humedad; Su principal problema, además de las limitantes mencionadas a nivel del orden, es la falta de humedad la mayor parte del año, esta es una limitante para las actividades agrícolas (MAGA-BID 2000).

3.2.5.2.2. Suborden Vitrandis (Dv)

Son suelos con alto contenido de vidrio volcánico, lo que hace que tengan texturas gruesas (arenosas) y una baja retención de agua. Por ser suelos bastante arenosos, demandan mayor cantidad de agua para actividades productivas agrícolas, sin embargo, por sus características físicas, son fácilmente laborables.

Una limitante lo constituyen las pendientes fuertes en las cuales se les encuentra en muchos casos. Ocupan 154.07 km² que corresponden a 0.14 % del territorio nacional, este tipo de suelo se encuentra principalmente en los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez (MAGA-BID 2000).

3.2.5.3. Orden Entisol (Ent)

Suelos con poca o ninguna evidencia de desarrollo de su perfil y por consiguiente, de los horizontes genéticos. El poco desarrollo es debido a condiciones extremas, tales como, el relieve (el cual incide en la erosión o, en su defecto, en la deposición superficial de materiales minerales y orgánicos) y por otro lado, las condiciones como el exceso de

agua. De acuerdo al relieve, estos suelos están presentes en áreas muy accidentadas, cimas de montañas y volcanes o en partes planas (MAGA-BID, 2000).

3.2.5.3.1. Suborden Orthents (Eo)

Suelos de profundidad variable, la mayoría son poco o muy poco profundos; generalmente están ubicados en áreas de fuerte pendiente, existen también en áreas de pendiente moderada a suave, en dónde se han originado a partir de deposiciones o “coluviamientos” gruesos y recientes.

Una gran cantidad de Orthents en Guatemala, no son apropiados para actividades agrícolas, sobre todo cuando están en superficies inclinadas. Entre sus limitaciones están: la poca profundidad efectiva, en muchos casos la “pedregosidad” interna y los afloramientos rocosos. Si han perdido su cubierta natural, sus mejores usos serán para producción forestal o sistemas agroforestales.

Este tipo de suelos se encuentran cubriendo el 4.93 % del territorio nacional, correspondiendo a 5,375.83 km²., se le puede encontrar principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso, Escuintla, Guatemala, Huehuetenango, Jalapa, Jutiapa, Quetzaltenango, Quiché, Sacatepéquez, San Marcos, Sololá, Suchitepéquez, Totonicapán, y Zacapa (MAGA-BID, 2000).

3.2.5.4. Orden Inceptisol (Int)

Suelos incipientes o jóvenes, sin evidencia de fuerte desarrollo de sus horizontes, pero son más desarrollados que los entisoles. Son suelos muy abundantes en diferentes condiciones de clima y materiales originarios (MAGA-BID, 2000).

3.2.5.4.1. Suborden Usteps (Ps)

Este tipo de suelo cubren 811.00 km² del territorio nacional que corresponde a 0.74 % del mismo, se encuentra principalmente en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Huehuetenango, Izabal, Jalapa, Jutiapa, Petén, Quiché, Zacapa, Sacatepéquez y Guatemala, son Inceptisoles que están secos en su interior, entre 90 y 180 días del año. Presentan deficiencia de humedad. Se localizan en las regiones con menor lluvia. Para su

manejo adecuado, requieren de la aplicación de agua para producción de más de una cosecha de cultivos anuales o de ciclo corto (MAGA-BID, 2000).

3.2.6. Fisiografía

La región fisiográfica donde se encuentra la microcuenca corresponde a las tierras altas volcánicas.

En general presenta cauces de ríos altamente erosionados, lo cual da lugar a taludes de cauces con pendientes pronunciadas uniformes, lo cual genera planicies altas dentro de la microcuenca principalmente en la del río San Lucas circundadas por barrancos que alcanzan en algunos lugares más de 100 metros de profundidad según Asturias, 2006 (información que se puede visualizar en la Figura 6 del Capítulo I).

En el 2006 se realizó un análisis geomorfológico del área en mención con una escala de detalle (1:20,000) utilizando fotografías aéreas y su fotointerpretación, no obstante a finales del 2007 y principios del 2008 se efectuó por parte del laboratorio de SIG del MAGA como parte del proyecto nacional, el análisis paisajístico del municipio de San Lucas Sacatepéquez y de todo el departamento de Sacatepéquez, a una escala 1:30,000.

3.2.7. Clima

Los parámetros climáticos de esta área se encuentran monitoreadas principalmente por dos estaciones meteorológicas de las cuales se encuentran registros de por lo menos 10 años de lecturas, para la estación de la granja La Suiza Contenta ubicada en San Lucas Sacatepéquez y 9 años para la estación de la Escuela Nacional Central de Agricultura – ENCA- en Bárcena, Villa Nueva; a continuación en los Cuados 5 y 6 se presentan los parámetros climáticos registrados en las estaciones mencionadas.

Cuadro 5. Registros climáticos de la estación de la ENCA en Bárcena, Villa Nueva.

Registro climático Estación "La ENCA" Bárcena, Villa Nueva.														
Año de registro 2001 - 2009														
Coordenadas: GTM WGS84 X: 487833 Y:1607627														
Elevación: 1,430 msnm														
VARIABLE	Mes												Anual	D.E.
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Precipitación (mm)	0.4	0.8	3.0	28.1	53.5	185.5	150.4	163.2	208.1	157.0	14.3	1.2	965.5	84.1
Temperatura C	18.3	18.7	17.7	19.7	21.3	20.2	23.9	20.7	20.5	19.7	18.9	18.5	238.0	1.67
Humedad Relativa (%)	65.8	65	59.2	65.9	47.2	77.5	78	74.7	82.8	82.1	70.4	47.2	816.0	12.1
ETP(mm) (Hargreaves)	69.2	67.1	79.8	73	92.9	60	60.7	64.9	52.1	52.7	63.6	84.8	820.8	12.4
Radiación Solar (RS) *	12.3	13.5	14.8	15.8	16	16	16	15.9	15.3	14.1	12.7	11.9	174.3	1.58
No. De días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365.0	0.9
% Brillo solar mensual (S)	448	458	532	446	686	298	291	334	230	238	389	686	5036.7	155.4

(^a) Calculado según Herrera I. (2002)

D.E = Desviación Estándar

En la estación de la ENCA se cuenta con todo el equipo de lectura climática, es una estación de tipo "A" automática, en la que se cuenta con registros a partir del 2001. Esta estación se encuentra fuera del área de estudio pero lo suficientemente cerca para ser tomada en cuenta, se encuentra a una diferencia de altura entre la ubicación de la estación y el punto de aforo de 125 m. y a 3 kilómetros de distancia horizontal del punto de aforo, por lo que los registros tomados tienen influencia en el área de estudio.

Cuadro 6. Registros climáticos de la estación climática "La Suiza Contenta", San Lucas Sacatepéquez

Registro climático Estación "La Suiza Contenta" Sacatepéquez														
Año de registro 2000 - 2009														
Coordenadas: GTM WGS84 X: 482900 Y:1616517														
Elevación: 2,105 msnm														
VARIABLE	Mes												Anual	D. E.
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Precipitación (mm)	4.6	2.6	12.1	21.9	122.3	212.8	174.6	220.6	197.3	108.2	44.5	4.9	1126.3	88.9
Temperatura C	16	13.8	13.5	17.3	16	15.8	15.7	15.9	15.1	12.2	10.4	12.4	174.1	2.0
ETP(mm) (Hargreaves)**	43.7	41.3	50.4	59.3	60.6	58.8	60.4	59.6	53.4	45.5	36.5	37.8	607.3	9.3
Radiación Solar (RS) *	12.3	13.5	14.8	15.8	16	16	16	15.9	15.3	14.1	12.7	11.9	174.3	1.6
No. De días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365.0	0.9
Duración media solar/día*	11.3	7.36	8.43	8.44	8.98	8.8	9.05	8.83	8.28	8.2	7.75	7.88	103.3	1.0
Brillo solar mensual % (S)	3.36	3.41	3.46	3.53	3.57	3.6	3.59	3.54	3.49	3.43	3.37	3.35	41.7	0.1

* Calculado según Herrera I. (2002)

D.E = Desviación Estándar

** Calculado según García B. (2005)

En esta estación no se poseen registros de humedad relativa y se carecen de otros datos importantes, no obstante se cuenta con los datos de precipitación y temperatura que son los básicos para los análisis de este estudio, con un registro de hasta 15 y 20 años, pero con fines de esta investigación se tomo únicamente un registro de 10 años.

3.2.8. Población

Las poblaciones en la microcuenca, pertenece a los municipios de San Lucas Sacatepéquez, Villa Nueva, Santiago Sacatepéquez, San Bartolomé Milpas Altas y Mixco. De forma general, en el norte se encuentra la población perteneciente a San Lucas, Santiago Sacatepéquez y San Bartolomé Milpas Altas, en el sur y oeste se encuentra la población de Villa Nueva, al este se encuentra la población de Mixco y en total se encuentra una población proyectada para el año 2008 de 133,673 habitantes y un total de 137,683 habitantes para el año 2010, teniendo una tasa de crecimiento de 1.03 % (con base en datos del XI censo de población y VI de habitación del INE, 2002).

Los principales centros poblados que se encuentran en el área son: Ciudad Satélite, El Campanero, El Aguacate, Pinares de San Cristóbal, Mirador San Cristóbal, Sector Martínez, La Selva, San José Villa Nueva, Balcones de San Cristóbal, Lo de Coy, Hamburgo, La Libertad, Labor de Castilla, Valle Dorado, San Lucas Sacatepéquez, Choacorrall, La Embaulada, Zorzoya, Los Alpes, San José, Chicamán, Manzanillo, Granjas Suiza Contenta, Villas de Sevilla, El Calvario, El Gran Mirador, Roldan, (Maldonado, 2004).

Con base en lo anterior, se observa un crecimiento de 28,995 personas para el área, en un lapso de 8 años. Esto representa un incremento de 21.05 % de la población para este periodo, lo que significa que para el ciclo 2008 - 2009 se encuentran alrededor de 133,673 habitantes en la microcuenca.

Este fenómeno de crecimiento demográfico es el reflejo de lo que sucede en toda la región metropolitana, que corresponde al departamento de Guatemala en su conjunto, el cual ha tenido históricamente tasas de crecimiento poblacional; estando estas por encima de las presentadas en el resto del país (Maldonado, 2004), para tener una referencia, para los efectos de esta investigación se tomo una tasa de crecimiento de 1.03 % anual (según el INE 2002).

3.3. Marco Legal

3.3.1. Decreto 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

Esta ley expresa en el artículo 12, inciso a, que uno de sus objetivos es “la protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general” y en el inciso f, agrega “el uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos” (CALAS 2004).

En el artículo 15, se encuentra que “el gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes”. Y continúa en el inciso e, con “Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo” y termina agregando en el inciso “ f ”, que el gobierno debe “Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas” (CALAS, 2004).

3.3.2. Decreto 4-89, Ley de Áreas Protegidas

En el artículo 13, indica que “como programa prioritario del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), se crea el Subsistema de Conservación de los Bosques Pluviales, para asegurar un suministro de agua constante y de aceptable calidad para la comunidad guatemalteca” (Herrera, 2004).

3.3.3. Acuerdo Gubernativo 759-90, Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas

En el artículo 5, expresa “con el objeto de conservar y proteger los bosques pluviales para ayudar a asegurar el suministro de agua a toda la comunidad guatemalteca, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- determinará su mejor uso, buscará su protección y dará prioridad al establecimiento de áreas protegidas públicas y privadas que contengan dichos bosques. Para el efecto, deberá gestionar la elaboración de un inventario de los mismos” (Herrera, 2004).

3.3.4. Decreto 101-96, Ley Forestal

En el artículo 1 inciso “a”, indica que uno de los objetivos es “reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características del suelo, topografía y el clima”. También el inciso “e”, se lee “conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva” (Herrera, 2004).

El artículo 6, inciso “b”, aparece “promover y fomentar el desarrollo forestal del país mediante el manejo sostenible de los bosques, la reforestación, la industria y la artesanía forestal, basada en los recursos forestales y la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas” y en el inciso “c”, expresa “impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación”.

El artículo 47, estipula “Se prohíbe eliminar el bosque en las partes altas de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosque, en especial las que estén ubicadas en zonas de recarga hídrica que abastecen fuentes de agua, las que gozarán de protección especial. En consecuencia, estas áreas solo serán sujetas a manejo forestal sostenible. En el caso de áreas deforestadas en zonas importantes de recarga hídrica, en tierras estatales, municipales o privadas, deberán establecerse programas especiales de regeneración y rehabilitación (Herrera, 2004).

A. Resolución 4.23.97, Reglamento de la Ley Forestal

En el artículo 35 indica que “el INAB en un plazo no mayor de un año a partir del presente reglamento, identificará las áreas de recarga hídrica que sea necesario conservar y restaurar, los bosques ubicados en las zonas de recarga hídrica podrán ser sujetos a manejo forestal sostenible conforme Plan de Manejo.

El INAB dictará las medidas específicas de manejo forestal que considere técnicamente apropiadas para garantizar que este tipo de bosques continúe cumpliendo funciones de regulación hidrológica. Además, fomentará con recursos financieros del Fondo Forestal Privativo, procesos de negociación y proyectos de manejo y restauración de cuencas con

el fin de reconocer, a los propietarios de bosques, los servicios ambientales generados por los ecosistemas forestales”.

3.3.5. Política Forestal de Guatemala

Según el MAGA (2000), en la política Forestal de Guatemala, se establece como principio que “los bosques son vitales para satisfacer demandas de bienes y para el mantenimiento de procesos ecológicos, protección de cuencas hidrográficas y de los recursos hídricos (vínculo hidrológico-forestal) así como para la conservación de la biodiversidad y de los recursos genéticos.” Debido a lo anterior, se plantea “fortalecer la conservación de áreas silvestres dentro y fuera del SIGAP y de ecosistemas forestales especiales, zonas de recarga hídrica y sitios relevantes por su biodiversidad, a fin de asegurar una adecuada base de recursos genéticos y productivos, para el presente y el futuro”.

También expresa que en el instrumento de política, específicamente para el plan de manejo integrado de los recursos hídricos (PMIRH), el reconocimiento del vínculo hidrológico-forestal es clave. Por tanto, expresa que en base a la normativa forestal, el INAB debe emitir normas especiales en zonas de recarga hídrica, especialmente donde del vínculo hidrológico-forestal es importante en la regulación de ciclos hidrológicos locales y/o regionales, en función del mejoramiento del bosque a la recarga hídrica (MAGA, 2000). Con base a lo anterior, la Política Forestal estipula que se debe partir de la delimitación de las zonas de recarga hídrica, caracterización de las condiciones del bosque y mecanismos de uso, restauración y protección (MAGA, 2000).

3.3.6. Decreto 12-2002. Código Municipal

La Secretaría Presidencial de la Mujer –SEPREM- en su obra “Recopilación de Leyes” reporta el Código Municipal, que en su artículo 35 inciso “y”, establece que a las corporaciones municipales le compete “la promoción y protección de los recursos renovables y no renovables del municipio”.

3.3.7. Decreto 90-97. Código de Salud

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- , cita el código de salud que en el artículo 84, indica lo siguiente: “se prohíbe terminantemente la tala de árboles en las riberas de ríos, lagos, lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas”.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Contribuir con la conservación de las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

4.2. Específicos

1. Identificar las áreas críticas de recarga hídrica natural y clasificar por orden de importancia en cuanto a su capacidad de recarga, en la jurisdicción de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.
2. Cuantificar la recarga hídrica por medio de balance hídrico de suelos, en la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.
3. Proponer lineamientos de manejo de los recursos naturales renovables, con énfasis en el recurso hídrico; teniendo como base las condiciones actuales (2008 y 2009) para el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

5. HIPÓTESIS

Las áreas críticas de recarga hídrica natural para el área de estudio; se encuentran en la parte alta de la microcuenca del río San Lucas; debido a que estas áreas de recarga natural se ubican en las topografías elevadas y escarpadas, en suelos permeables, que facilitan la infiltración y descenso del agua hacia los depósitos subterráneos, ya que la topografía le proporciona condiciones ásperas de terreno y posibles “fracturas” del lecho rocoso y escarpado; permitiendo una mayor infiltración, debido a que el agua logra filtrarse en mayores proporciones, además existe una mayor disponibilidad de agua de precipitación debido a que, en el área son del tipo orográfico, las cuales aportan mayor cantidad de agua de lluvia.

6. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal, en Sacatepéquez y, Guatemala, corresponde a un estudio con una escala de presentación, con un nivel de semi-detalle (Escala 1:50,000), cuya base cartográfica se comprende desde fotografías aéreas con un análisis a escala 1:20,000 para el caso de uso de la tierra y a escala de menor detalle para el caso Geología (semi-detalle = 1:50,000) y Taxonomía (reconocimiento = 1:250,000).

El procedimiento de trabajo, consistió en fases que permiten el cumplimiento de los objetivos planteados para esta investigación; teniendo como tal las que se describen a continuación.

6.1. Fase de delimitación de área de estudio

Se adquirió la hoja cartográfica a escala 1:50,000 del IGN (1984) de Guatemala y se delimitó la red de drenaje del río San Lucas y El Arenal, trazando una línea perpendicular a las curvas de nivel sobre los puntos más altos de los montes, montañas, volcanes y cimas que se encuentran en el área, esto para definir los límites de la red de drenaje, cuyo resultado será el área de influencia en cuanto a drenaje del río San Lucas y El Arenal, constituyéndose como las microcuencas con estos nombres.

6.2. Fase de recopilación y generación de Información básica

6.2.1. Recopilación de información

Consistió en el desarrollo de las siguientes actividades: Luego de interpretar la información descrita en el diagnóstico del área de estudio, y habiendo delimitado la problemática principal, que para este caso consiste en la ubicación y definición de las Zonas de Captación y Regulación Hidrológica, en la microcuenca del río San Lucas y El Arenal bajo los mismos argumentos, calificarlo como prioritario.

Se recolectó y ordenó la información sobre recursos naturales, aspectos socioeconómicos, aspectos generales de suelos, recursos hídricos, caracterizaciones y otros estudios relacionados al tema de investigación: como geología, hidrología e hidrogeología, principalmente suelos y tierras.

Se consultó los siguientes mapas temáticos de la república de Guatemala: clasificación taxonómica de suelos, geología (ver Figura 8), cuencas hidrográficas (MAGA, 2009), cobertura y/o uso de la tierra (MAGA, 2005); así como el de capacidad de uso, fotografías áreas del año 2006, entre otros.

Se adquirió un ejemplar de los mapas a escala 1:50,000 de los temas siguientes: Topografía y corrientes o cuerpos de agua. Basado en las hojas cartográficas: escala 1:50,000 del IGN (1985) así también las fotografías aéreas con escala 1:20,000 impresas y en formato digital; estas sirvieron para determinar el uso de la tierra.

6.2.1.1. Información climática

Se analizó información climática de forma mensual, siendo para ello los siguientes factores: precipitación, temperatura máxima y mínima, evapotranspiración, todas estas para el período 2000 - 2009, de la estación de la finca Suiza Contenta, que está ubicada en la parte alta de la microcuenca del río San Lucas y El Arenal y para la parte baja y media del área, la estación de la ENCA, información que se presenta en el Cuadro 5 y 6 de este capítulo.

A. Evapotranspiración

Se tabularon los registros de temperatura máxima, mínima y media, para cada estación de forma mensual, se estableció la consistencia para la temperatura media mensual de las estaciones de: finca La Suiza Contenta, Escuela Nacional Central de Agricultura ENCA Bárcena, Villa Nueva, debido a un cambio en la variación del clima y posteriormente se calculó la evapotranspiración mensual por el método de Hargreaves diseñado para la región centroamericana (ver Ecuación 1).

Hargreaves, se basa en una ecuación que permitió obtener el valor de ETP para cada estación, teniendo este dato se encontró el valor de Evapotranspiración potencial para cada unidad de mapeo trabajada por medio de un gradiente encontrado para cada mes, tomando en cuenta el cambio o la variación en la ETP de las estaciones con respecto de la altura.

La evapotranspiración media mensual por unidad de muestreo, se efectuó trazando Isopleas para cada mes del año.

B. Evapotranspiración real (ETR)

Se estimó utilizando el método de Penman 1984, citado por López (2005), que considera el criterio de variación lineal y las constantes de humedad del suelo (capacidad de campo - CC-, punto de marchitez permanente -PMP- y humedad del suelo al inicio de cada mes - Hsi-), en la Ecuación 7:

$$ETR = ETP \times (1 - (CC - Hsi) / (CC - PMP)) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

CC= Capacidad de campo

Hsi= Humedad del suelo inicial

RAD= Rango de agua disponible = CC – PMP

PMP = Punto de marchitez permanente

Donde según Herrera, (2002) la formula general para la conversión de % de humedad a lamina es: Humedad (cm) = (humedad % x prof. Radicular (cm) x densidad (g/cc)/ 100)

C. Temperatura

Para establecer los registros de temperatura se acudió a las estaciones meteorológicas aledañas al área de estudio, mismas que se mencionaron en el inciso A, obteniendo registros de temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales de las microcuencas.

D. Humedad relativa y precipitación

Al igual que la información de temperatura, esta información ya se posee en la base de datos de las estaciones mencionadas, por lo que al igual que para los datos de precipitación y Humedad Relativa, se obtuvieron de forma física y digital en las estaciones respectivas.

6.2.2. Fase de Generación de información

6.2.2.1. Delimitación preliminar de unidades de mapeo para muestreo de suelos y pruebas de infiltración

Haciendo uso de la información y mapas elaborados en los pasos anteriores, se delimitaron las unidades de mapeo para toma de muestra de suelo y la realización de las pruebas de infiltración, para reducir la variabilidad espacial existente en la microcuenca,

por sobre posición de tres capas temáticas: Taxonomía de suelos (Escala 1: 250,000), Geología (Escala 1:50,000), y Uso de la tierra (Escala 1:10,000).

Se generó el mapa de unidades taxonómicas, tomando como base las hojas temáticas de Guatemala (IGN, 1982) a escala 1:250,000 y se realizó la digitalización de polígonos del mapa taxonómico de la microcuenca de los ríos San Lucas y el Arenal, así como el mapa de Geología utilizando la hoja temática de Guatemala (IGN, 1982) a escala 1:50,000.

Se generó el mapa de uso actual de la tierra, empleando como base cartográfica la serie de fotografías aéreas tomadas por el IGN en el 2006, realizando posterior a ello un recorrido por el área para corroborar los límites, así también con el objetivo de realizar una actualización de la información colectada por la fotografía aérea.

Al obtener cada unidad, se ubicó de forma sistemática el punto para la toma de muestra de suelo y realizar pruebas de infiltración, considerando aspectos como representatividad, disponibilidad del recurso agua y accesibilidad (tomando como mínimo una unidad de mapeo de 0.25 cm², en mapa; equivalente a un área mayor de 1.5 ha., por unidad de mapeo).

Se elaboraron y editaron los mapas de ubicación geográfica e hidrográfica, topográfico, geológico y unidades de mapeo a escala 1:25,000 en formato digital, utilizando el software Arc Map 9.2.

También se elaboraron los mapas preliminares para la definición de áreas de mapeo que se detallan a continuación:

- El mapa geológico.
- Mapa de uso de la tierra.
- Mapa de taxonomía de suelos.

La descripción del porque se utilizó cada una de las capas se presenta a continuación:

- Taxonomía de Suelos, tema básico porque las características y propiedades físicas del suelo, afectan el movimiento y retención del agua (ver Figura 7).

- Geología, tema importante porque según el tipo de rocas y materiales (fragmentos no consolidados) así varía la permeabilidad de los estratos, tomando en cuenta los grupos hidrológicos citados por Custodio & Llamas (2001) (ver Figura 8).

- Uso de la tierra, es un factor que influye en la infiltración del suelo; porque según el tipo de cobertura así es la intercepción de la masa foliar y profundidad radicular; ejerce una gran influencia en el comportamiento del agua al precipitar, ya que es la primera capa que encuentra o toca el agua en un evento de lluvia, de ahí esta misma toma un camino distinto influenciado por el uso que tenga la tierra.

En cuanto a la cobertura se estimó el uso de la tierra para el año 2006; esto en función de la publicación de las fotografías aéreas de esa fecha, siendo estas las más recientes con las que cuenta el IGN (Instituto Geográfico Nacional y el MAGA), en este entonces; por medio de fotointerpretación y digitalización de los polígonos a una escala 1:10,000. Posterior a ello, se hicieron correcciones en campo para actualizarlo al año 2008 y se ubicó el tratamiento que recibe cada uso (ver Figura 9).

Cuadro 7. Detalle del uso actual de la tierra en las microcuencas de los ríos San Lucas y el Arenal

No.	Uso de la tierra 2009	Área (m ²)	%
1	Bosque mixto denso	18,265,184.28	29.43
2	Centro poblado urbano	23,596,349.56	38.02
3	Brócoli y repollo	618,589.06	0.99
4	Aguacate	387,770.43	0.624
5	Maíz y Frijol	16,916,729.92	27.25
6	Cultivos bajo invernadero	67,220.75	0.10
7	Esparrago y Arveja China	722,546.28	1.16
8	Arveja China	298,483.56	0.48
9	Arveja China y Brócoli	435,305.40	0.70
10	Limón	163,081.19	0.26
11	Superficie degradada	364,412.10	0.58
12	Centro poblado rural	222,832.49	0.35
Total =		62,058,505.02	100

Es importante destacar que las anteriores categorías de uso de la tierra, son dinámicas ya que los campos de cultivo están bajo constante rotación, las masas forestales debido a la presión social y económica están disminuyendo y por ende las áreas descubiertas de vegetación y dotadas de características urbanas están aumentando.

Tomando en cuenta lo anterior, fueron definidas unidades lo más homogéneo posibles, esto para definir los lugares a muestrear, los cuales consistieron en áreas con Geología, Taxonomía y Uso de la Tierra y homogéneos y representativos.

6.2.2.2. Muestreo de suelos

Para efectos de esta actividad se realizaron recorridos para ubicar las unidades de mapeo generadas en el mapa descrito y mencionado en el paso anterior. Los muestreos de suelo se realizaron por medio de una excavación a 50 cm., de profundidad, por medio de una herramienta denominada “pala doble”; fijando el punto a extraer la muestra, comprobando su representatividad en cuanto a pendiente, cobertura vegetal, vías de acceso y que no existieron factores de alteración en el sistema.

Después de lo anterior, las muestras fueron trasladarlas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de La Universidad de San Carlos de Guatemala donde se efectuó su análisis (características físicas tales como; Dap., Dreal., CC., PMP., y granulometría del suelo) esto permitió realizar los balances hídricos por medio de la hoja electrónica de Excel propuesto por Schosinsky & Losilla, (2000).

6.3. Fase de cumplimiento de objetivos

Metodología para realización de objetivo 1: Cuantificar la recarga hídrica por medio de balance hídrico de suelos, en la microcuenca del río San Lucas y El Arenal; para las condiciones del año 2008.

6.3.1. Determinación de escorrentía

Se realizaron distintos tipos de aforos, dentro de los que se mencionan los aforos a los nacimientos o manantiales, aforos a los ríos en su “punto de aforo” y aforos diferenciales, procediendo de la siguiente manera:

La velocidad del agua del cauce del río (V), se obtuvo con el promedio de tiempos que tardó el flotador en recorrer la longitud del río, para ello se utilizó la fórmula siguiente.

$$V = 0.90 \left(\frac{\text{Longitud}}{\text{Tiempo}} \right) \left[\frac{m}{s} \right] \quad (\text{Ecuación 8})$$

Para la medición del área de la sección del río donde se realizó el aforo se siguió los criterios de Herrera, (2002), por medio de la siguiente fórmula.

$$A_i = \left(\frac{a+b}{2} \right) \times L \quad (m^2) \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Donde:

A_i: Área parcial de cualquier tramo del río.

a: Profundidad al inicio del tramo.

b: Profundidad al final del tramo.

L: Ancho del tramo.

El área de la sección del río (A), se obtiene de acuerdo a:

$$A = \sum A_i \quad (m^2) \quad \text{(Ecuación 10)}$$

El caudal del río (Q) se obtiene mediante la siguiente con la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V \quad (m^3 / s) \quad \text{(Ecuación 11)}$$

A. Aforos a manantiales

Para esta actividad fue necesario ubicar y “georeferenciar” todos los pozos y manantiales presentes en el área de estudio. El método de aforo usado fue el “Volumétrico” (en casos donde no fue posible realizar este método, se empleó el método de flotadores y sección-velocidad debido a su docilidad y eficiencia); esto con el fin de estimar la cantidad de agua de escorrentía que se aporta al cauce de los ríos San Lucas y El Arenal que no proviene directamente de la lluvia, si no del manto freático como flujo sub superficial.

La ubicación y “georeferenciación” de los manantiales y afluentes, se realizó en la primera visita al área estudio y conjuntamente, se llevaron a cabo los aforos de los mismos (empleando las formulas anteriores) , como una primera oportunidad, luego de ello se implementó esta actividad de cuantificación de caudales dos veces al mes para las corrientes de agua y para los manantiales de toda el área que comprende la microcuenca del río San Lucas y El Arenal, se realizo una jornada de aforos en la época de lluvia y una en la época de estiaje.

B. Aforos a ríos

Se ubicó el punto de aforo de los cauces principales, fijando estos en el intercepto del río San Lucas y El Arenal con el río Villalobos. Realizando posterior a ello los aforos que identificaran el comportamiento del cauce (efluente o influente) se aforaron por el método de sección velocidad, utilizando molinete que será proporcionado por las instituciones cooperantes (el Instituto Nacional de Bosques –INAB- y la Facultad de Agronomía -FAUSAC-) que estimó la velocidad del agua en la corriente (en los casos donde no se conto con el molinete se determinó la velocidad, por medio de flotadores y se emplearon las formulas descritas anteriormente); estos aforos se realizaron dos veces por mes.

C. Aforos diferenciales

Se realizaron aforos diferenciales, en la época lluviosa (septiembre 2008) y seca (abril 2009), para identificar el comportamiento del cauce (efluente o influente). Los tramos se ubicaron y “georeferenciaron” para ser localizados en un mapa ilustrativo.

Al igual que en el caso anterior, los aforos, se realizaron por medio del método de sección velocidad, utilizando molinete proporcionado por las instituciones cooperantes (el Instituto Nacional de Bosques –INAB- y la Facultad de Agronomía -FAUSAC-) que estima la velocidad del agua en la corriente (en los casos donde no se conto con el molinete se determinó la velocidad, por medio de flotadores y se emplearon las formulas mencionadas anteriormente).

6.3.2. Precipitación efectiva

Se determino de forma mensual, utilizando la ecuación de Schosinsky & Losilla (2000) que fue desarrollado en la región centroamericana y considera aspectos como; la retención de lluvia (K_i) y la infiltración (C_i) que incluye la fracción que infiltra por efecto de textura del suelo (K_{fc}), por efecto de pendiente (K_p) y por efecto de la cobertura vegetal (K_v). El método utiliza las siguientes ecuaciones:

$$P_e = (1 - K_i) \times C_i \times P_m = \text{mm} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$C_i = K_{fc} + K_p + K_v \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$K_{fc} = ((0.267 \times \ln (fc)) - (0.000154 \times (fc)) - 0.72) \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

K_i , en bosques es 0.2, cultivos en general 0.12 y caminos o áreas construidas 0.01 a 0.05.

$$K_{fc} + K_p + K_v > 1 \Rightarrow C_i = 1$$

$$P_i \leq 5 \text{ mm} \Rightarrow C_i = 0$$

K_v y K_p son los valores propuestos en los Cuadros 8 y 9.

f_c = infiltración (mm/día)

Cuadro 8. Valores de coeficientes de bandeja (K_p) según valores de pendientes.

Valor de pendiente	Coficiente (K_p)
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: Schosinsky & Losilla, 2000.

Cuadro 9. Valores de coeficientes (K_v) según tipo de cobertura vegetal.

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

Fuente: Schosinsky & Losilla, 2000.

Como ya se dijo, se utilizó para este caso, la precipitación mensual (P_m) y las condiciones: lluvia retenida es igual a la precipitación diaria si el aguacero es ≤ 1.3 mm o para bosques 0.2 y otros cultivos 0.12, cuando $P_d > 1.3$ mm. Esto para realizar el balance hidrológico general con datos mensuales en cada caso.

6.3.3. Infiltración Básica

Se realizó utilizando el método "Porchet" o cilindro invertido en el cual por medio de la ecuación $I_b = (r \ln(h_1 + r/2) - r \ln(h_2 + r/2)) / 2(t_2 - t_1)$ donde " I_b " es la infiltración básica " r " es el radio del agujero, " t " es el tiempo " \ln " es el logaritmo natural, " h " es altura del agua en el agujero.

Se tabularon y graficaron los valores registrados para obtener la infiltración básica a través de la curva tiempo acumulado versus la velocidad de infiltración, en cada unidad de muestreo.

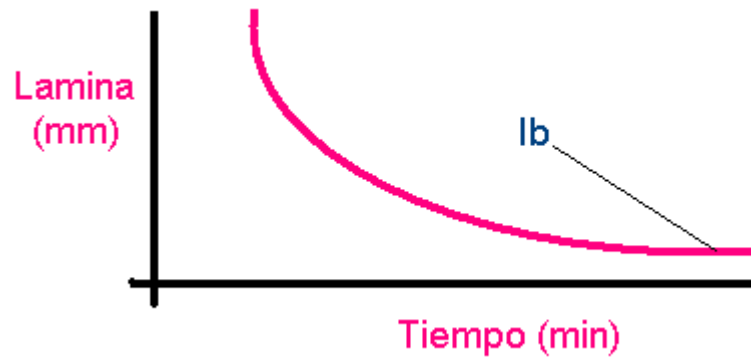


Figura 4. Ejemplo de gráfica y determinación de la Infiltración Básica (Ib).

Para establecer la relación entre la infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) y la intensidad de lluvia -Kfc- (fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo), se utilizó la ecuación propuesta por Schosinsky & Losilla (2000), en base al análisis de bandas “pluviográficas” de cada aguacero, donde la condición principal es: $16 \leq f_c \leq 1,568$.

Lo anterior se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$K_{fc} = ((0.267 \times \ln (f_c)) - (0.000154 \times (f_c)) - 0.72 \text{ (Ecuación 15)})$$

6.3.4. Propiedades físicas del suelo y contenido de humedad

Se conocieron dichos datos, mediante los resultados brindados por un análisis físico de determinadas muestras de suelo, se tabularon los datos de las propiedades físicas, textura, densidad aparente, constantes de humedad y profundidad del suelo, registrados para cada unidad de mapeo detalladas como resultado de procedimientos anteriores (unidades de mapeo para muestreo de suelos y pruebas de infiltración). El contenido de humedad de las muestras fué proporcionado en base a peso de suelo seco por tanto se convirtió a lámina de agua.

6.3.5. Balance de agua del cauce de las corrientes superficiales

Se tabularon e interpretaron los datos de manantiales, el cauce principal en el punto de aforo y los aforos diferenciales, para establecer áreas de descarga y recarga que se registren a lo largo del curso del agua (cauce).

El valor de descarga en los puntos de aforo de la microcuenca del río San Lucas y El Arenal, sirvió para comparar la esorrentía calculada y obtener un porcentaje de error del balance hídrico de suelos.

6.3.6. Balance hídrico

El balance hídrico de suelos se estimó para cada unidad de muestreo, utilizando una hoja de cálculo en Excel (propuesta por Schosinsky & Losilla, 2000), anotando en la misma las condiciones del clima (precipitación, evapotranspiración y temperatura), características físicas del suelo (infiltración básica, densidad aparente, profundidad efectiva) y constantes de humedad (capacidad de campo y punto de marchites permanente). Proceso que permitió obtener el dato de recarga potencial de cada unidad de mapeo.

6.3.7. Balance hídrico para Áreas de Recarga Hídrica Natural.

Según De Ridder (1994), El balance hídrico sirve para cuantificar la situación hídrica de cualquier tamaño de área en un período de tiempo determinado, para ello se tomo como base la ecuación de hidrología general (ver Ecuación 5), que es una representación de la ley de conservación de la masa, la que a la vez es aplicada al ciclo hidrológico.

Siguiendo lo que comenta Herrera, (2002), para el efecto se contemplo un periodo de tiempo y de un sistema hidrológico bien definido, por lo tanto todos los términos hidrológicos que se tomaron en cuenta, están basados en ese periodo de tiempo y sistema determinado; constituidos por el almacenamiento de detención del agua en la superficie del terreno y los procesos de precipitación, evaporación, infiltración y escurrimiento.

En concreto, según Herrera (2002) la Ecuación General de Hidrología (ver ecuación 5) para este caso, incluyó los factores hidrológicos siguientes:

- Precipitación o lluvia (p)
- Evaporación del agua y la transpiración de las plantas (ETP)
- Escurrimiento afluente y efluente (q_a y q_e respectivamente)
- Infiltración del agua en el suelo del terreno (I)
- Cambio de Almacenamiento de detención de agua en la superficie del terreno (ΔA)

Las áreas que presenten un bajo almacenamiento de agua, serán las que se considerarán como susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a un manejo inadecuado, y se determinarán a partir de las áreas principales de recarga hídrica natural. Estas áreas “críticas” se reconocerán considerando básicamente los siguientes aspectos: geología, infiltración básica, recarga anual (lámina) y pendiente (López, 2005).

Metodología para la realización del objetivo 2: Identificar las áreas críticas de recarga hídrica natural y clasificar por orden de importancia en cuanto a su capacidad de recarga, en la jurisdicción de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

6.3.8. Delimitación de zonas de recarga hídrica natural

6.3.8.1. Determinación de áreas de recarga hídrica

Se definieron las áreas críticas de recarga, analizando las áreas principales de recarga hídrica mostradas por la aplicación de la metodología del paso anterior (6.3.7) basándose en el método de matrices, propuesto en el documento “Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural” (López, 2005).

El método mencionado anteriormente, considera la sumatoria de los valores asignados a cada uno de los aspectos siguientes, geología, infiltración básica, recarga anual y pendiente; para definir la categoría de un área crítica en base a la metodología planteada y los aspectos mencionados, delimitando los polígonos y digitalizándolos para trabajarlos y presentarlos por medio del programa Arc Map 9.2.

Para la delimitación de las zonas de recarga hídrica, se toman como fundamento, los valores que permiten registrar la disminución o la susceptibilidad a disminuir el potencial de recarga y regeneración de las áreas críticas de recarga delimitadas.

Los valores asignados se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 10. Matriz de criterios de recarga hídrica anual, según INAB.

Recarga anual (mm/año)	Código
0 – 50	Nula
50 – 100	Baja
100 – 150	Media
150 – 200	Alta
> 200	Muy Alta

Fuente: INAB, 2003 (Manual de Hidrología).

En el caso de las zonas con recarga Nula para este caso se tomaran como No estimadas o Nulas, debido a que muchas veces se presentan recargas pequeñas que cuando son sumadas, presentan una cifra significativa.

6.3.8.2. Clasificación de áreas de recarga hídrica natural

Para el cálculo de la recarga hídrica natural se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rh = P_{ef} + HIS - HFS - ETR \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

Rh: Recarga hídrica.

P_{ef}: Precipitación efectiva.

HIS: Humedad inicial del suelo.

HFS: Humedad final del suelo.

ETR: Evapotranspiración real.

Luego de estimar la recarga hídrica natural potencial, en base al balance hídrico de suelos mensual, se procedió a comparar la lámina de recarga potencial encontrada por unidad de área, aplicando la metodología citada por INAB (2003), que establece las categorías en mm/año descritas en el Cuadro 23 y 24; en cuyas categorías fueron modificadas de un código numérico a las palabras que corresponden en cuanto a recarga, (Nula o No Estimada, Baja, Media, Alta y Muy alta respectivamente).

Metodología para la realización del objetivo 3: Proponer lineamientos de manejo de los recursos naturales renovables, con énfasis en el recurso hídrico; teniendo como base las condiciones actuales (2008 y 2009) para el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

6.3.9. Propuesta de lineamientos de manejo

Para esta fase se realizaron actividades con la comunidad, en busca de los principales problemas presentes en el área, tomando como base la información generada con el documento de caracterización del recurso hídrico en el área de estudio, (Capítulo I de este documento) siendo esto desde la perspectiva de los habitantes.

Para la realización de lo anterior, se tomó en cuenta la información brindada por un análisis de árboles de problemas para el área de estudio, con el fin de realizar un análisis sobre los recursos naturales que se encuentren en mayor estado de degradación, enfocándolo al recurso hídrico y su recarga, tomando en cuenta la situación actual general de cada uno de ellos, y se plantean de la manera siguiente:

6.3.9.1. Recurso agua

Partiendo de la información edáfica generada y estableciendo la relación que existe entre el suelo, el tipo de drenaje, condiciones físicas presentes y la situación social; así también, una vez establecido una especie de inventario hídrico del área, se conoció la intensidad de la problemática y donde radica la principal razón de la misma, esto sirvió para generar una opinión técnica crítica que permitió brindar lineamientos de manejo del recurso hídrico existente.

6.3.9.2. Recurso suelo

Con base en la información colectada y generada en las anteriores fases, se proporcionaron medidas técnicas a tomar en cuenta para brindarle un manejo sostenible al recurso suelo, fundamentándose en las características del lugar, tanto sociales como naturales; así también como resultado de una investigación previa (MAGA, 2003), se contó con un mapa de capacidad de uso de la tierra en esa zona en específico, lo cual permitió brindar los lineamientos para la conservación y mejor aprovechamiento de esos suelos.

6.3.9.3. Recurso bosque

Con la elaboración del presente capítulo y la interrelación que existió entre los factores forestales durante la misma, se generaron conclusiones que conllevaron a lineamientos más certeros en materia del manejo del recurso bosque principalmente, ya que se constituye como la cobertura del suelo más importante en el área de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal y establecido previamente la situación de este tipo de cobertura en el área por medio de un mapa de uso de la tierra (ver Figura 9 de este capítulo); se conoció la situación del mismo, el cual tiene una estrecha relación con la conservación, captación y protección del recurso hídrico que es a lo que responde esta investigación.

Se tomaron los criterios que se derivan del estudio al respecto del manejo de la cobertura vegetal presente en los campos agrícolas, mismos que también ejercen una gran influencia en materia de captación y regulación hídrica, y que al igual que la cobertura forestal también se encuentra presente en el área de estudio (por lo tanto es pertinente contemplar y generar lineamientos generales para su manejo en función de propiciar un buen uso del recurso hídrico y garantizar su preservación a largo plazo).

6.4. Fase de elaboración y verificación de mapas

La escala de edición de los mapas es 1:50,000 en formato digital, para ello se usó el software Arc Map versión 9.2. Para el mapa de geología y taxonomía, se recurrió a la base de datos de cartografía digital del MAGA, 2003 haciendo cortes con la delimitación del área en estudio para obtener dicha información; para el caso del mapa de uso de la tierra, se utilizaron las fotografías aéreas físicas y digitales del MAGA, 2006.

Para lo anterior, se hizo un recorrido de verificación y actualización posterior a ello; el mapa de fisiografía se obtuvo de la base de datos de una investigación previa (Asturias, 2006) y los mapas subsiguientes son fruto del trabajo de digitalización y análisis de las capas digitales del MAGA, 2003.

El mapa de zonas captación y regulación hidrológica se obtuvo después de haber realizado el balance hídrico y determinar las áreas de recarga hídrica, mismas que se identificaron y plasmaron en el mapa.

6.4.1. Verificación de mapas

Se realizaron recorridos en el área de estudio para verificar el uso de la tierra con que contaba cada uno de los polígonos presentados y generados en los mapas elaborados, para corroborar la información y con ello actualizar la información y minimizar el error de los mapas.

6.5. Fase de elaboración del informe final

Se sistematizaron y analizaron los resultados con el objetivo de realizar propuestas generales de manejo de los recursos naturales, especialmente sobre el recurso hídrico y sus áreas de captación, por último se generaron las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cumplimiento del objetivo 1

Identificar las áreas críticas de recarga hídrica natural y clasificar por orden de importancia en cuanto a su capacidad de recarga, en la jurisdicción de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

7.1. Cuantificación de la recarga hídrica en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Para cuantificar la recarga hídrica en el área de estudio, se necesitó realizar las siguientes actividades:

7.1.1. Información climática

Se contó con registros climáticos provenientes de las estaciones “La Suiza Contenta” en la parte alta de la microcuenca, información proporcionada por el INSIVUMEH; así también información colectada por la estación de la “ENCA” ubicada en la parte baja intermedia de la misma; con un periodo de registros de 10 años de datos climáticos en las estaciones mencionadas, los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 11. Precipitación pluvial mensual promedio (mm) de las estaciones de las microcuencas de los ríos San Lucas y el Arenal.

Estación	Mes												Total mm
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
La Suiza	4.	2.	12.	21.	122.	212.	174.	220.	197.	108.	44.	4.	1126.
ENCA	0.	0.	3.0	28.	53.5	185.	150.	163.	208.	157.	14.	1.	965.5

Fuente: Datos de INSIVUMEH y ENCA (Con un periodo de registro a partir del año 2000 a mayo de 2009)

Cuadro 12. Temperatura media (°C) mensual de las estaciones de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.

Estación	Mes												Media C°
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
La Suiza	16	13.8	13.5	17.3	16	15.8	15.7	15.9	15.1	12.2	10.4	12.4	14.5
ENCA	18.3	18.7	17.7	19.7	21.3	20.2	23.9	20.7	20.5	19.7	18.9	18.5	19.83.0

Fuente: Datos de INSIVUMEH y ENCA (Con un periodo de registro a partir del año 2000 a mayo de 2009)

A manera de resumir la información climática; se presenta en los cuadros anteriores, la que corresponde a un promedio de datos climáticos obtenidos directamente de las estaciones climáticas, no obstante se cuenta con un registro de 10 años, información con

la que se elaboraron los siguientes “climadiagramas” los que ya incluyen la información de la ETP calculada para el estudio por el método de Hargreaves.

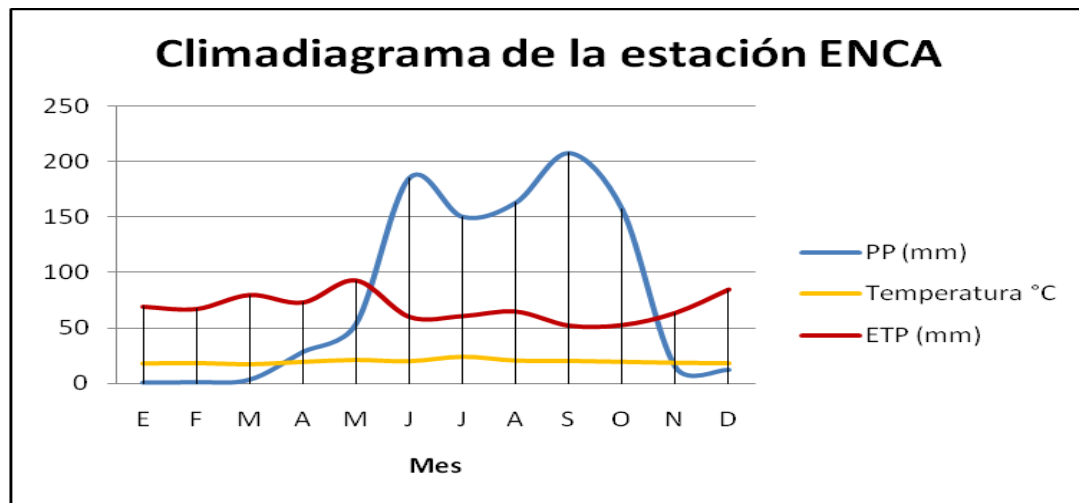


Figura 5. Climadiagrama de la estación climática de la ENCA año 2008.

En la estación de la ENCA se registran temperaturas entre 18.3 °C y 23.9 °C teniendo como promedio 19.83 °C, estas influyen en la ETP juntamente con el inicio del periodo de lluvias, ya que a partir de la tercera semana de marzo (según los registros climáticos) se empiezan a notar en la región, aumentos en la humedad del suelo a causa de precipitaciones.

Debido a lo anterior, la ETP empieza su aumento ya que la humedad disponible es mayor, hasta que se estabiliza al llegar el inicio de las lluvias en la segunda semana de mayo, donde la ETP nuevamente inicia su descenso ya que el suelo se empieza a saturar y la relación entre la ETP y la PP aumenta, e inicia la época donde la recarga es más significativa pues las perdidas por ETP son menores y se encuentra mayor disponibilidad de agua o humedad que puede infiltrarse.

Por otro lado en la tercera semana de octubre que es donde finaliza el periodo de lluvias registrado en la estación de la ENCA, se presenta una ETP igual a la PP; momento en el que después se inicia el descenso de la humedad disponible y por lo tanto aumenta la ETP hasta que el suelo llega al punto de marchitez permanente –PMP-.

Así también se elaboro una grafica con los datos climáticos de la estación de La Suiza Contenta, ubicada en la parte alta de las microcuencas en estudio, esta información se presenta a continuación:

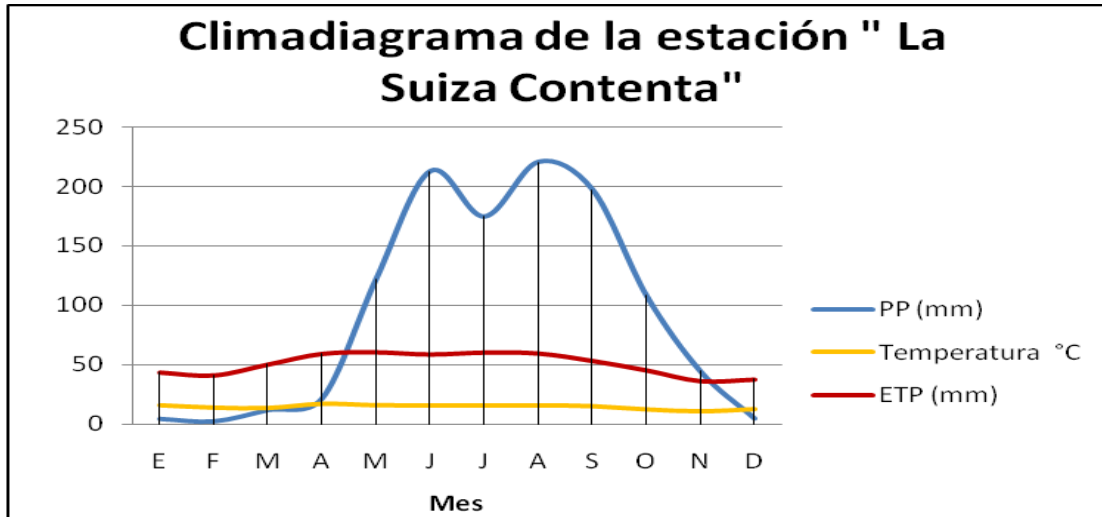


Figura 6. Climadiagrama de la estación climática de la Suiza Contenta, año 2008.

En la estación climática de "La Suiza Contenta" se registran temperaturas entre 10.4 °C y 17.3 °C teniendo como promedio 14.5 °C, es notable que son menores a las registradas en la estación de la ENCA en parte baja del área de estudio. El comportamiento de la precipitación registrada en esta estación, es en cierta medida diferente a la estación de la ENCA, ya que se presenta una mayor PP (un promedio de 1,126 mm/año para la estación de "La Suiza Contenta" y 965.5 mm/año para la "ENCA", ver Cuadro 11 y 12 de este capítulo).

La precipitación influye en la cantidad de ETP juntamente con la vegetación presente en el área, el periodo de lluvias y principalmente, la temperatura que varía según la altura; ya que mientras el suelo se encuentra en el PMP en los meses de enero y abril, la ETP se mantiene constante y es a partir de abril donde se empiezan a notar aumentos en la humedad del suelo a causa de precipitaciones y de la misma manera incrementa la cantidad de ETP.

Para el caso de los valores de ETP en la estación de "La Suiza Contenta" en la parte alta del área de estudio, se mantienen con poca variación según se muestra en el

“climadiagrama” (de 36.5 mm. a 60.6 mm.) esto es a causa de los valores de temperatura más bajos (14.5 °C promedio) y presencia de cobertura vegetal más densa (ver Figura 9).

Después que el suelo se satura o llega a CC, se inicia la época donde la recarga es significativa pues existe mayor disponibilidad de agua de la que precipita para el proceso de infiltración, claro que esto también se ve influenciado de la geología, taxonomía y el tipo de cobertura o uso de la tierra en cada región.

La ETP inicia su descenso juntamente con la disminución de la temperatura en el periodo agosto-septiembre, después de ello se registra el periodo donde la ETP es equivalente a la PP y se da en la primera semana de noviembre que es donde el suelo pasa de su estado a CC al PMP, donde ya no existe posibilidad de recarga pues toda la humedad que pueda existir en el suelo por cualquiera de los medios, es removida del sistema por medio de la ETP.

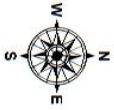
El periodo donde la humedad en el suelo es mayor a la ETP en esta zona es de 6 meses y $\frac{1}{2}$ aproximadamente (mientras que en la parte baja es de 5 $\frac{1}{2}$) esto significa que la temporada de recarga en estas zonas es mayor que en la parte baja del área de estudio.

7.1.2. Unidades de mapeo

Las unidades de mapeo fueron definidas como se detalla en la metodología; siendo estas el resultado de utilizar una herramienta en el Arc Gis 9.2 denominada “Intersect” la cual en palabras sencillas fusiona los temas de los mapas indicados, formando polígonos donde cada uno de los temas “ intersectados” coinciden sin que estos sean repetidos.

El resultado de lo anterior, fue un conjunto de polígonos que corresponden, para este caso una geología, taxonomía y un uso de la tierra particular dentro del área de trabajo; sin que esta combinación sea repetida en otro polígono, de lo anterior se obtuvieron 34 unidades homogéneas y representativas para realizar el muestreo.

Los mapas elaborados se presentan respectivamente a continuación:



Referencias

Unidad Taxonómica

Ds-Ls Ms-Ei-Ps

Eo Ps-Eo

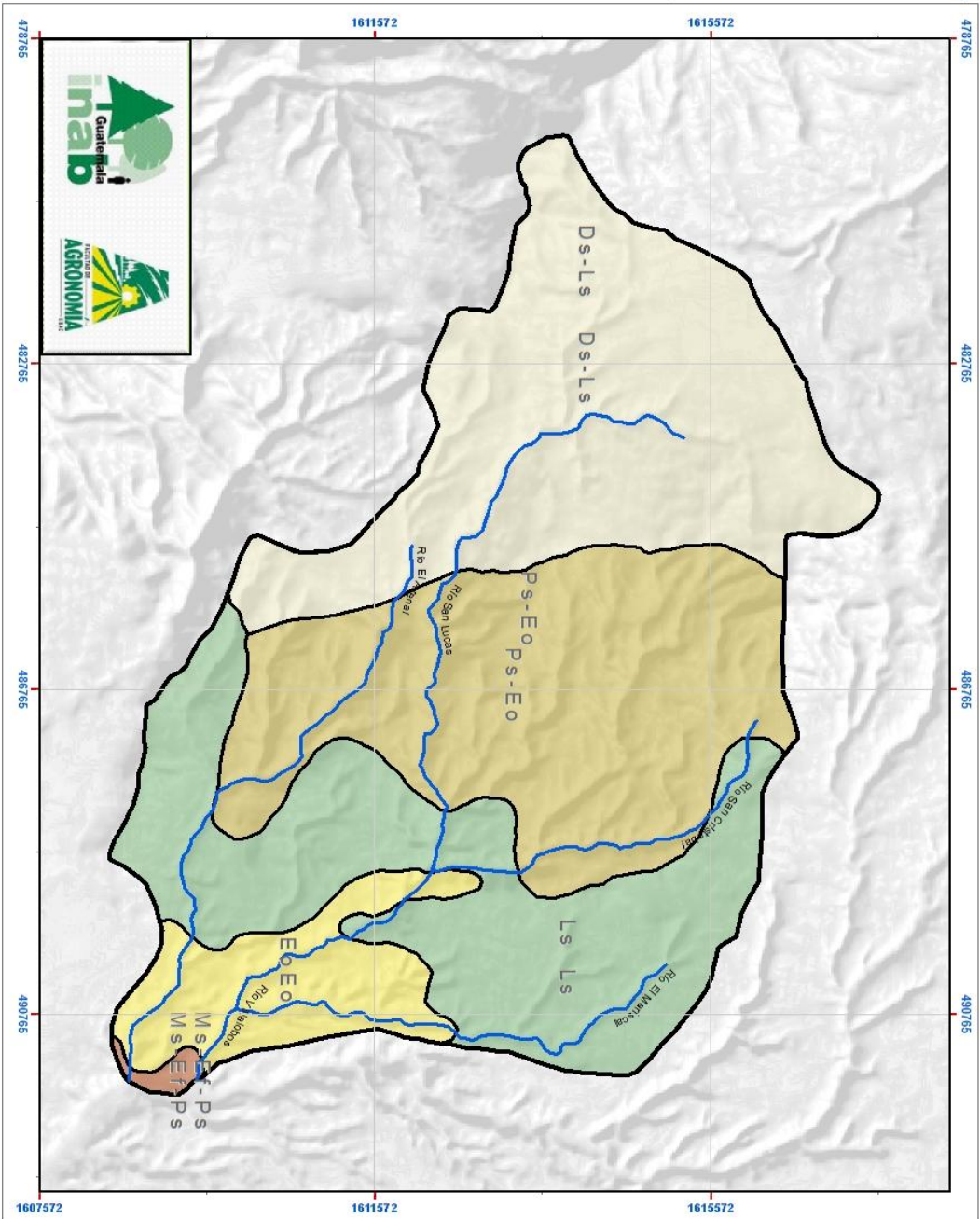
Ls

Simbolos convencionales

Corrientes principales

Área en estudio

No.	Código	Unidad Taxonomica	Área (m ²)
1	Ds- Ls	Ustarends - Ustalfs	20,083,426.55
2	Eo	Orthents	5,645,061.71
3	Ms- E- Ps	Ustolls - Fluvents - Usteps	348,011.45
4	Ps- Eo	Usteps - Orthents	19,146,065.81
5	Ls	Ustalfs	17,112,063.67
Total =			62,334,629.19



Mapa de Taxonomía de suelos

Microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda



Figura 7: Mapa de Taxonomía de suelos de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

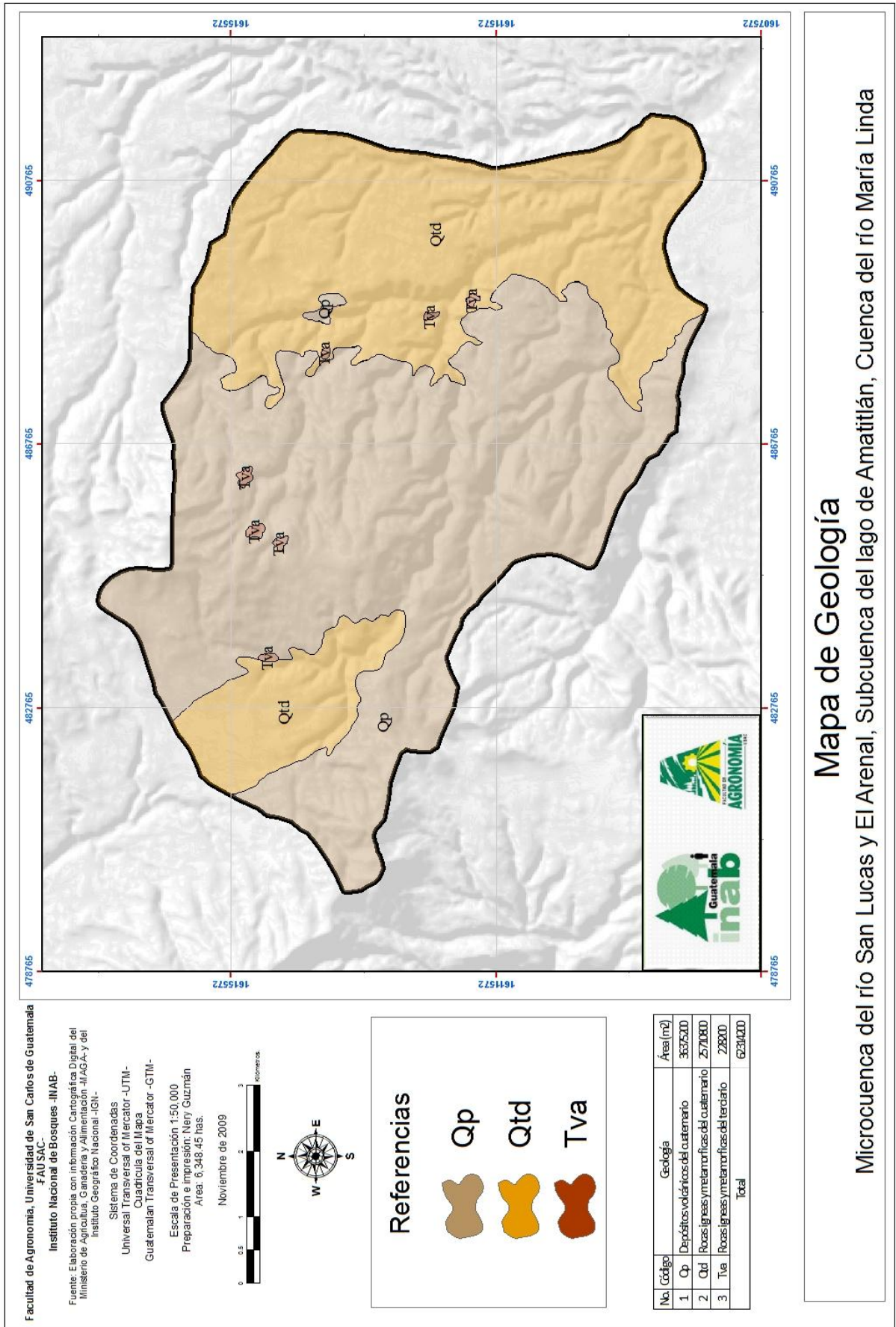
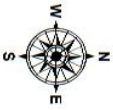


Figura 8: Mapa de Geología de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

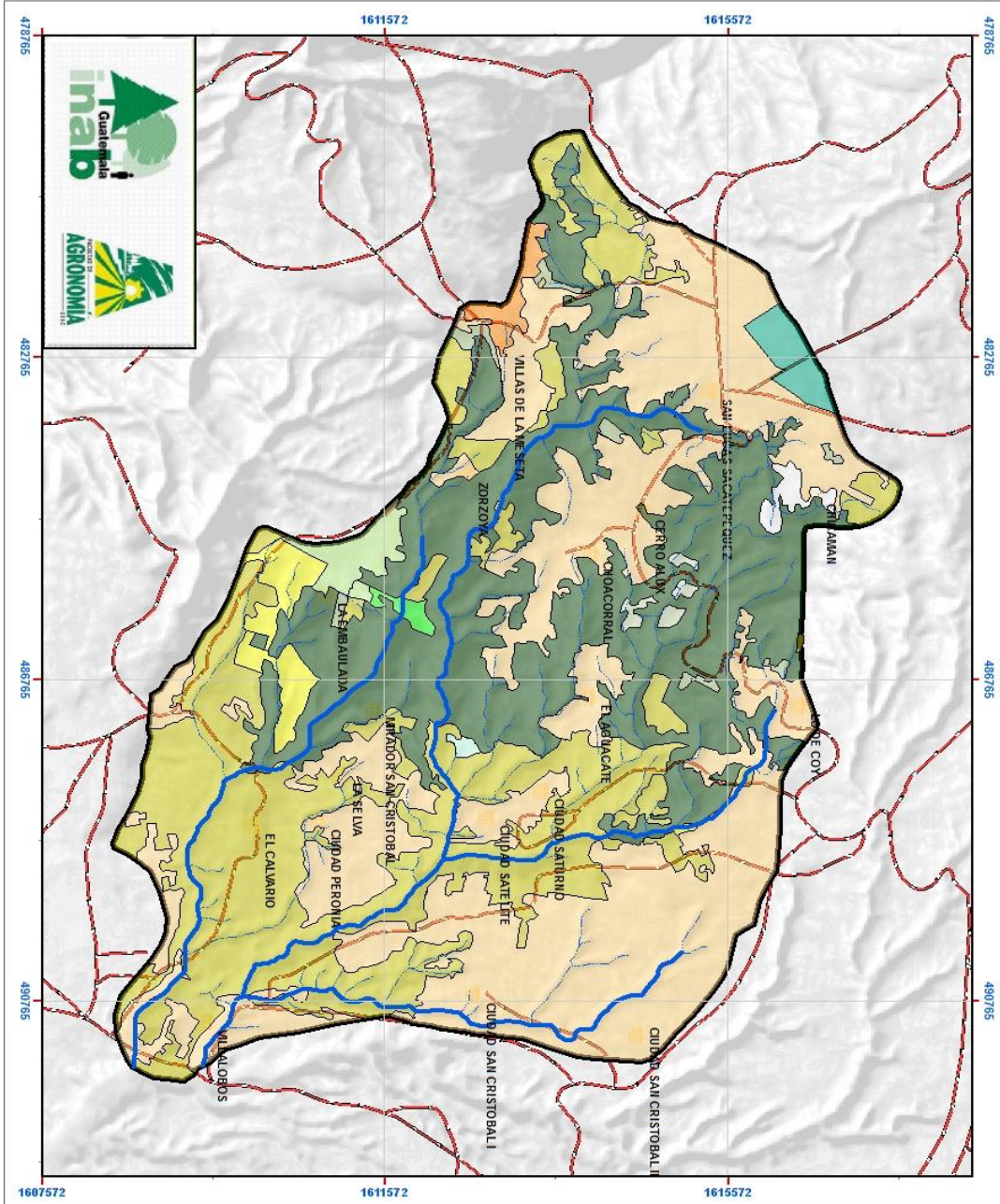
Mapa de Geología

Microcuenca del río San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda



Referencias

	Bosque mixto/Denso
	Centros poblados Rurales
	Centros poblados Urbanos
	Cultivos de clima cálido/Bajo invernadero
	Cultivos de clima templado/Aguacate
	Cultivos de clima templado/Limon
	Hortalizas clima templado/Brocoli, repollo.
	Hortalizas de clima templado/Arveja
	Hortalizas de clima templado/Arveja, brocoli
	Hortalizas de clima templado/Esparrago, Arveja
	Maz, frijol
	Superficie de escasa vegetación/Degradada
Simbología convencional	
	Poblados de referencia
	Corrientes de agua
	Vías de acceso

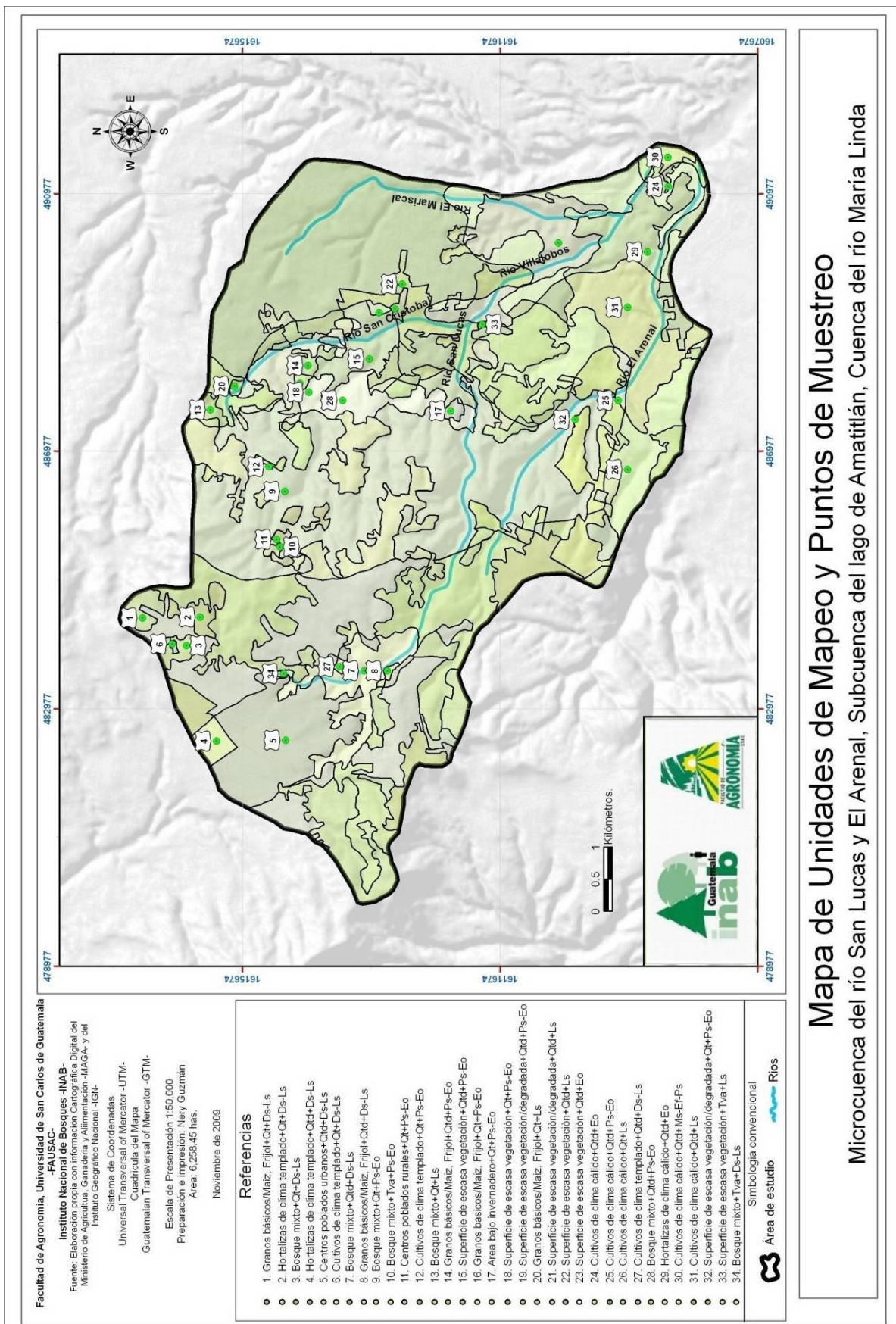


Mapa de Uso de la Tierra 2008

Microcuenca del río San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda



Figura 9: Mapa de uso de la tierra 2008 de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.



Mapa de Unidades de Mapeo y Puntos de Muestreo
 Microcuenca del río San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda

Figura 10: Mapa de Unidades de mapeo y puntos de muestreo en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

7.1.3. Infiltración básica

Con base en las unidades de mapeo presentadas en la figura anterior, se realizaron un total de treinta y cuatro pruebas de infiltración distribuidas en las distintas unidades de mapeo definidas, las velocidades de infiltración básica se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Infiltración básica de las unidades de muestreo de la microcuenca de los ríos San Lucas y el Arenal

No.	Nombre de Prueba de infiltración	Coordenadas UTM		Infiltración básica	
		X	Y	mm/d	m/d
1	Granos básicos/Maíz, Frijol+Qt+Ds-Ls	753688	1618218	79.488	0.079488
2	Hortalizas de clima templado+Qt+Ds-Ls	753708	1617315	55.296	0.055296
3	Bosque mixto+Qt+Ds-Ls	753266	1617527	172.8	0.1728
4	Hortalizas de clima templado+Qtd+Ds-Ls	751788	1617047	53.9136	0.0539136
5	Bosque mixto+Qtd+Ds-Ls	752905	1614762	38.016	0.038016
6	Centros poblados urbanos+Qtd+Ds-Ls	751807	1615972	43.2	0.0432
7	Cultivos de clima templado+Qt+Ds-Ls	753286	1617750	47.6928	0.0476928
8	Granos básicos/Maíz, Frijol+Qtd+Ds-Ls	752905	1614403	38.016	0.038016
9	Bosque mixto+Qt+Ps-Eo	755680	1616023	26.2656	0.0262656
10	Bosque mixto+Tva+Ps-Eo	754818	1616093	138.24	0.13824
11	Centros poblados rurales+Qt+Ps-Eo	754929	1616146	55.296	0.055296
12	Cultivos de clima templado+Qt+Ps-Eo	756060	1616274	17.28	0.01728
13	Bosque mixto+Qt+Ls	756935	1617196	69.12	0.06912
14	Granos básicos/Maíz, Frijol+Qtd+Ps-Eo	757641	1615684	28.6848	0.0286848
15	Superficie de escasa vegetación+Qtd+Ps-Eo	757751	1614733	17.28	0.01728
16	Granos básicos/Maíz, Frijol+Qt+Ps-Eo	757361	1615807	34.56	0.03456
17	Área bajo invernadero+Qt+Ps-Eo	756958	1613461	62.208	0.062208
18	Superficie de escasa vegetación+Qt+Ps-Eo	757227	1615671	34.56	0.03456
19	Superficie de escasa vegetación+Tva+Ps-Eo	757419	1615189	124.416	0.124416
20	Granos básicos/Maíz, Frijol+Qtd+Ls	758241	1616198	9.3312	0.0193312
21	Granos básicos/Maíz, Frijol+Qt+Ls	757305	1616826	21.4272	0.0214272
22	Superficie degradada	758539	1614343	34.56	0.03456
23	Superficie de escasa vegetación+Qtd+Ls	758923	1614233	48.384	0.048384
24	Superficie de escasa vegetación+Qtd+Eo	759587	1611810	152.064	0.152064
25	Cultivos de clima templado+Qtd+Eo	759822	1612368	31.7952	0.0317952
26	Cultivos de clima templado+Qtd+Ps-Eo	757154	1610856	103.68	0.10368
27	Superficie degradada+Q	755803	1610960	26.6112	0.0266112
28	Cultivos de clima templado+Qtd+Ds-Ls	752964	1615144	62.208	0.062208
29	Bosque mixto+Qtd+Ps-Eo	757105	1615144	11.4048	0.0114048
30	Cultivos de clima templado+Qtd+Eo	759468	1610427	28.6848	0.0286848
31	Cultivos de clima templado+Qtd+Ms-Ef-Ps	760942	1610127	62.208	0.062208
32	Cultivos de clima templado+Qtd+Ls	758599	1610730	286.848	0.286848
33	Superficie degradada+Qt	756845	1611525	11.4048	0.0114048
34	Superficie de escasa vegetación+Tva+Ls	758314	1612982	44.928	0.044928

La mayoría de las unidades mapeo reportan valores de infiltración básica considerablemente bajos, que oscilan entre los 0.01 y 0.17 m/día, con estos valores se registraron las mayores velocidades en las unidades de mapeo de la parte alta de la microcuenca y las menores en la parte media y baja de la misma.

7.1.4. Densidad aparente, textura y constantes de humedad

Las características físicas del suelo son de gran importancia para la recarga hídrica, principalmente las constantes de humedad, la densidad aparente y la textura, ya que influyen directamente sobre la velocidad de infiltración, es decir según las propiedades físicas del suelo (granulometría y composición), se facilita o dificulta el paso del agua a través del suelo hacia los estratos inferiores. En el Cuadro 14 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros mencionados, estos fueron proporcionados por el Laboratorio de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Cuadro 14. Constantes de humedad, Dap., y textura de las unidades de mapeo, microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

No.	Unidad de Mapeo	Humedad (%)		Dap	Granulometría (%)			Clase Textural
		PMP (15)	CC (1/3 atm)		A	L	Ar	
001	Manzanillo	39.91	35.7	0.9091	28.98	22.34	48.46	Franco Arcillo Arenoso
002	Chicaman	37.20	33.70	0.9091	33.18	26.54	40.28	Franco Arcilloso
003	Chicaman	33.25	23.55	0.8889	20.58	28.64	50.78	Franco
004	Fca. Suiza	37.29	17.71	1.0000	24.78	30.74	44.48	Franco
005	Sn. Lucas	30.05	17.13	0.9302	20.58	28.64	50.78	Franco
006	Chicaman	39.30	25.25	0.9524	24.78	28.64	40.28	Franco
007	Entre	35.35	28.86	0.9302	24.78	28.64	46.58	Franco
008	Choacorrall	24.86	14.46	0.8889	10.08	22.34	67.58	Franco Arenoso
009	Chicaman	33.61	29.61	0.9524	28.98	22.34	48.68	Franco Arcillo Arenoso
010	Chicaman	33.68	22.86	0.9091	17.56	31.50	50.94	Franco
011	Mixco	24.87	19.08	1.0000	15.4	23.10	61.44	Franco Arenoso
012	Mixco	27.66	22.74	0.9091	23.86	27.30	48.84	Franco Arcillo Arenoso
013	La	22.87	17.01	0.9302	21.76	25.20	53.04	Franco Arcillo Arenoso
014	Labor de C.	26.66	20.39	1.0526	35.70	27.30	37.00	Franco Arcilloso
015	Labor de C.	19.46	11.02	1.1765	8.40	25.20	66.40	Franco Arenoso
016	Labor de C.	25.99	20.91	1.0000	35.70	23.10	41.20	Franco Arcilloso
017	Labor de C.	22.23	16.36	1.0000	27.30	25.20	47.50	Franco Arcillo Arenoso
018	Peronia	25.08	19.15	1.0256	28.06	23.10	48.84	Franco Arcillo Arenoso
019	Celajes	25.88	20.08	0.9091	32.26	23.10	44.64	Franco Arcillo Arenoso
020	San	36.41	30.08	0.93	44.86	25.2	29.94	Arcilloso
021	Mirador Sn	27.81	22.22	0.9302	30.16	23.10	46.74	Franco Arcillo Arenoso
022	San	28.04	21.60	0.9524	34.36	25.20	40.44	Franco Arcilloso
023	Sn. José	21.37	18.48	1.0000	42.76	25.20	32.04	Arcilloso
024	Sec.	25.08	17.94	1.0526	28.06	27.30	44.64	Franco Arcillo Arenoso
025	El Zope	20.35	17.07	1.02	30.16	21	48.84	Franco Arcillo Arenoso
026	Villa Nueva	19.54	12.66	1.25	9.16	18.9	71.94	Franco Arenoso
027	El Carmen	16.09	11.37	1.1111	8.40	16.80	74.80	Franco Arenoso
028	Choacorrall	24.52	17.75	1.0526	25.96	27.30	46.74	Franco Arcillo Arenoso
029	Labor de C.	15.73	9.81	1.0526	8.40	21.00	70.60	Franco Arenoso
030	Chichorin	20.56	14.40	1.0000	18.90	23.10	58.00	Franco Arenoso
031	Marelia	33.20	27.50	0.9524	39.90	27.30	32.80	Franco Arcilloso
032	Catalina	12.94	10.08	0.8333	15.46	16.80	67.74	Franco Arenoso
033	Peronia	9.35	4.96	1.1111	8.40	16.80	74.80	Franco Arenoso
034	Santa Lucia	21.73	16.11	1.0256	29.40	21.00	49.60	Franco Arcillo Arenoso

A=Arcilla, L=Limo y Ar=Arena, Dap= Densidad Aparente

La textura en la parte baja de la microcuenca es predominantemente franco arcillo arenosa y en la parte alta, la textura es franca; hallándose una combinación de ambas en la parte media; la densidad aparente oscila entre 0.90 y 1.17 g/cc.

7.1.5. Aforo de manantiales y aforos diferenciales

7.1.5.1. Aforo de manantiales y pozos.

Las fuentes de agua para los pobladores de la microcuenca se constituyen de forma mixta, ya que en la parte alta del área, predominan los nacimientos y en la parte baja y media predominan los pozos; por esta razón se aforaron todos por igual, ya que las aguas son empleadas en el área de drenaje que da origen a los ríos San Lucas y El Arenal. Estas fuentes de agua fueron aforados durante la época de estiaje y la época lluviosa utilizando el método de sección velocidad y flotadores para estimar la velocidad (estos fueron descritos en la metodología).

Cuadro 15. Caudal de manantiales y pozos aforados en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

No.	Categoría	Caudal (m ³ /d)		Total
		Máximo	Estiaje	
1	Pozo	9,466.16	9,466.16	18,932.32
2	Manantial	2,029.05	1,856.04	3,885.09
Total =		11,495.21	11,322.20	22,817.41

Con una población proyectada para el año 2008 de 129,779 habitantes, existe una explotación o un caudal de extracción aproximado de 11,339.27 m³/día., siendo este dato un promedio entre los caudales de los pozos y manantiales en la época de máximos caudales y caudales de estiaje, según el cuadro anterior, que se traducen en 4,138,836.0 m³/año., para el 2008, (información que también se detalla en el Cuadro 8 del Capítulo I).

Los proyectos de explotación de agua ubicados en la parte alta de la microcuenca, presentan abundante producción de agua y un caudal poco variable, siendo únicamente los proyectos ubicados en la parte media y baja los que presentan variaciones en su caudal con forme la época, aunque estas variaciones no son significativas (ver detalle en Cuadro C1 en el Apéndice 3 de este capítulo).

El bajo diferencial en cuanto a la producción de agua de los pozos y manantiales en el área de estudio se debe a que estos se alimentan exclusivamente del manto freático, por lo tanto las extracciones de agua en la zona dependen de la recarga de agua que ocurra al manto subterráneo año con año.

7.1.5.2. Aforos diferenciales y al cauce principal.

A. Aforos a los cauces principales en punto de aforo

Las corrientes principales fueron aforadas en varios lugares a lo largo de su cauce (ver mapa en Apéndice 6) al igual que los manantiales, el procedimiento se llevo a cabo durante la época de estiaje (seca) y la época lluviosa y el método utilizado fue el de sección velocidad y volumétrico para los manantiales; el principal objetivo de estos aforos fue determinar el comportamiento del caudal del río a lo largo de un año de registro, esta información se presenta en la figura siguiente:

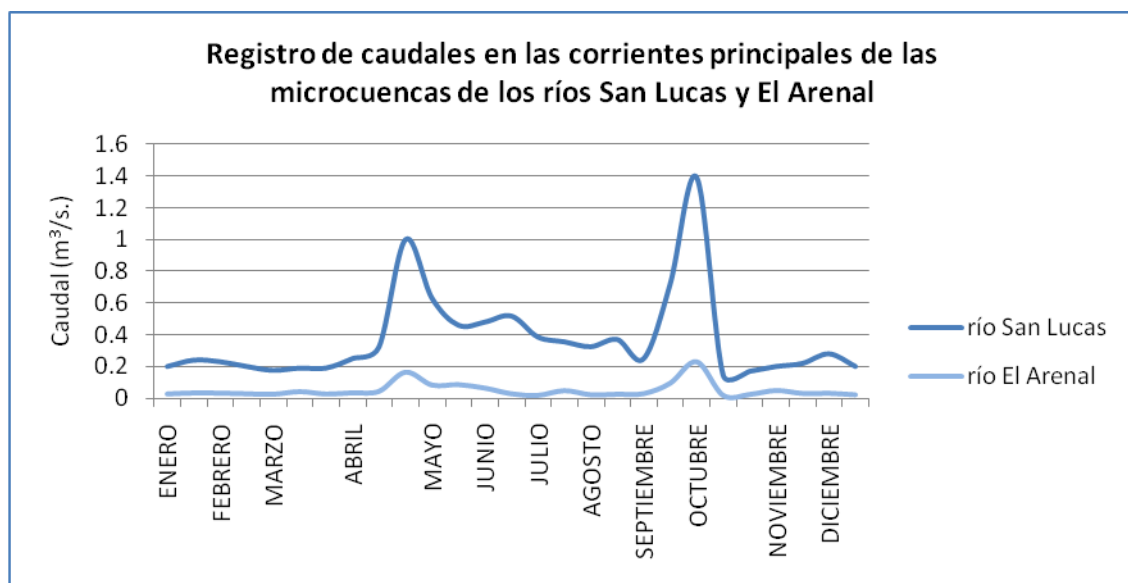


Figura 11: Registro de la variación de los caudales en los ríos San Lucas y El Arenal para el año 2008.

En el gráfico anterior se puede ver la fluctuación de los caudales en los puntos de aforo a lo largo de un año de registro, donde el total del volumen promedio de agua reportado para los dos cauces es de $0.418 \text{ m}^3/\text{s.}$, siendo mucho mayor el reportado para el río San Lucas ($0.37 \text{ m}^3/\text{s.}$) que para el río El Arenal ($0.048 \text{ m}^3/\text{s.}$) lo cual presenta un diferencial significativo ($0.322 \text{ m}^3/\text{s.}$).

B. Aforos diferenciales

Los resultados de los aforos diferenciales realizados a los cauces principales se presentan en el Cuadro 16, donde la corriente de la microcuenca del río San Lucas, incrementa su caudal a lo largo de su recorrido lo que indica que el río es efluente; a excepción de los caudales del río El Arenal, que se comportan de forma contraria en el último “transecto” efectuado, esto según lo observado en el terreno.

Lo anterior, es debido a las alteraciones presentes en el suelo en el lugar donde se encuentra la extracción de arena (arenera “El Carmen” y arenera de la finca “Labor de Castilla”) el agua de escorrentía arrastra grandes cantidades de arena y gravas al río, lo que provoca que al hacer contacto con estos materiales, el flujo normal de la corriente se profundice a niveles que se imposibilita su cuantificación.

Cuadro 16. Aforos diferenciales de los ríos San Lucas y El Arenal, durante la época seca y lluviosa del año 2008.

Rio San Lucas						Rio El Arenal					
	No.	m ³ /s.	Coordenadas UTM		(h) msnm	Tipo	m ³ /s.	Coordenadas UTM		(h) msnm	Tipo
			x	y				x	y		
Época lluviosa	1	0.10	752886	1614479	1936	Efluente	0.0769	755032	1612744	1800	Efluente
	2	0.15	757965	1615820	1577		0.083	755640	1612494	1695	
	3	0.19	760238	1613132	1416	Efluente	0.0991	756838	1615653	1525	Influente
	4	0.21	760154	1612707	1385		0.2347	757377	1610655	1453	
	5	0.23	760075	1612117	1335	Efluente	0.00735	757751	1610549	1395	Influente
	6	0.23	759940	1611610	1330						
	7	0.27	760071	1610945	1325	Efluente					
	8	0.28	760853	1611723	1320						
	9	0.29	760634	1612586	1316	Efluente					
	10	0.32	760741	1612299	1308						
Época seca	1	0.007	752890	1614483	1930	Efluente	0.06528	755032	1612742	1804	Efluente
	2	0.01	757956	1615804	1580		0.05475	755641	1612493	1694	
	3	0.043	760236	1613231	1410	Efluente	0.04443	756835	1611659	1520	Influente
	4	0.055	760154	1612707	1385		0.0176	757377	1610655	1458	
	5	0.047	760057	1612118	1341	Efluente	0.00555	757750	1610550	1395	Influente
	6	0.048	759942	1611601	1340						
	7	0.116	760078	1610926	1335	Efluente					
	8	0.134	760836	1611770	1328						
	9	0.222	760624	1612690	1321	Efluente					
	10	0.241	760715	1612290	1300						
Media	0.19	Máximo				0.04	Máximo				
Media	0.10	Estiaje				0.03	Estiaje				

El comportamiento del cauce del río San Lucas en la mayoría de los “transectos” es de tipo “Efluente”, esto significa que en dichos tramos, el manto freático aporta caudal al cauce demostrándose claramente con el aumento del caudal a lo largo del mismo.

El río El Arenal se comporta efluente en el primer “transecto”, no obstante en los últimos tres puntos se comporta de forma influente ya que se registra una disminución de caudal a lo largo del cauce (se presentan pocos “transectos” debido al difícil acceso a las áreas).

Una de las causas visibles del comportamiento influente del último “transecto” del río El Arenal, es la alta concentración de arena en el área del cauce del río, en tales sectores.

7.1.6. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial para cada una de las estaciones fue calculada por medio del método de Hargreaves y los datos para cada unidad se calcularon por medio del gradiente encontrado para cada mes (con base en Ecuación 18), tomando en cuenta la variación de ETP según la altura; resultados que se presentan en los Cuadros 17 y 18.

Cuadro 17. Evapotranspiración potencial (mm) para cada unidad de mapeo de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal .

ETP Estación Suiza Contenta		43.7	41.3	50.4	59.3	60.6	58.8	60.4	59.6	53.4	45.5	36.5	37.8
ETP Estación ENCA		46.8	47.5	57.1	63.6	70.2	66.5	75.2	68.2	62.1	57	47.8	45.3
Código	Gradiente	0.005	0.009	0.010	0.006	0.014	0.011	0.022	0.013	0.013	0.017	0.017	0.011
	Ḥ	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
O1	2218	42.65	40.25	49.35	58.25	59.55	57.75	59.35	58.55	52.35	44.45	35.45	36.75
O2	1849	44.58	42.18	51.28	60.18	61.48	59.68	61.28	60.48	54.28	46.38	37.38	38.68
O3	2160	42.67	40.27	49.37	58.27	59.57	57.77	59.37	58.57	52.37	44.47	35.47	36.77
O4	2112	42.70	40.30	49.40	58.30	59.60	57.80	59.40	58.60	52.40	44.50	35.50	36.80
O5	2076	42.71	40.31	49.41	58.31	59.61	57.81	59.41	58.61	52.41	44.51	35.51	36.81
O6	2140	42.68	40.28	49.38	58.28	59.58	57.78	59.38	58.58	52.38	44.48	35.48	36.78
O7	1980	44.64	42.24	51.34	60.24	61.54	59.74	61.34	60.54	54.34	46.44	37.44	38.74
O8	2018	42.74	40.34	49.44	58.34	59.64	57.84	59.44	58.64	52.44	44.54	35.54	36.84
O9	2067	44.68	42.28	51.38	60.28	61.58	59.78	61.38	60.58	54.38	46.48	37.48	38.78
10	2100	42.70	40.30	49.40	58.30	59.60	57.80	59.40	58.60	52.40	44.50	35.50	36.80
11	2012	44.66	42.26	51.36	60.26	61.56	59.76	61.36	60.56	54.36	46.46	37.46	38.76
12	1915	44.61	42.21	51.31	60.21	61.51	59.71	61.31	60.51	54.31	46.41	37.41	38.71
13	1720	45.62	46.35	55.90	62.40	69.00	65.30	74.00	67.00	60.90	55.80	46.60	44.10
14	1658	45.66	46.39	55.94	62.44	69.04	65.34	74.04	67.04	60.94	55.84	46.64	44.14
15	1634	45.68	46.41	55.96	62.46	69.06	65.36	74.06	67.06	60.96	55.86	46.66	44.16
16	1677	45.65	46.38	55.93	62.43	69.03	65.33	74.03	67.03	60.93	55.83	46.63	44.13
17	1695	45.64	46.36	55.91	62.41	69.01	65.31	74.01	67.01	60.91	55.81	46.61	44.11
18	1676	45.65	46.38	55.93	62.43	69.03	65.33	74.03	67.03	60.93	55.83	46.63	44.13

19	1618	45.69	46.42	55.97	62.47	69.07	65.37	74.07	67.07	60.97	55.87	46.67	44.17
20	1682	46.82	47.55	57.10	63.60	70.20	66.50	75.20	68.20	62.10	57.00	47.80	45.30
21	1685	45.64	46.37	55.92	62.42	69.02	65.32	74.02	67.02	60.92	55.82	46.62	44.12
22	1495	45.78	46.50	56.05	62.55	69.15	65.45	74.15	67.15	61.05	55.95	46.75	44.25
23	1466	45.80	46.52	56.07	62.57	69.17	65.47	74.17	67.17	61.07	55.97	46.77	44.27
24	1393	47.80	48.52	58.07	64.57	71.17	67.47	76.17	69.17	63.07	57.97	48.77	46.27
25	1471	45.79	46.52	56.07	62.57	69.17	65.47	74.17	67.17	61.07	55.97	46.77	44.27
26	1536	45.75	46.48	56.03	62.53	69.13	65.43	74.13	67.13	61.03	55.93	46.73	44.23
37	2024	44.66	42.26	51.36	60.26	61.56	59.76	61.36	60.56	54.36	46.46	37.46	38.76
28	1683	45.64	46.37	55.92	62.42	69.02	65.32	74.02	67.02	60.92	55.82	46.62	44.12
29	1395	47.80	48.52	58.08	64.58	71.18	67.48	76.18	69.18	63.08	57.98	48.78	46.28
30	1361	47.77	48.50	58.05	64.55	71.15	67.45	76.15	69.15	63.05	57.95	48.75	46.25
31	1438	45.82	46.54	56.09	62.59	69.19	65.49	74.19	67.19	61.09	55.99	46.79	44.29
32	1640	45.67	46.40	55.95	62.45	69.05	65.35	74.05	67.05	60.95	55.85	46.65	44.15
33	1541	45.74	46.47	56.02	62.52	69.12	65.42	74.12	67.12	61.02	55.92	46.72	44.22
34	2018	42.74	40.34	49.44	58.34	59.64	57.84	59.44	58.64	52.44	44.54	35.54	36.84

Los datos de evapotranspiración anual que muestra el cuadro anterior para cada una de las unidades de mapeo, así también para cada estación y corresponden a: para la estación de La Suiza Contenta es de 607.3 mm., y para La ENCA de 707.37 mm., siendo mayor en La ENCA, debido a la diferencia de altitud, los factores de temperatura y humedad.

Debido a que la fórmula de Hargreaves para calcular ETP requiere de información de HR y S; y que en la estación climática ubicada en la Finca “La Suiza Contenta” no se poseen datos de Humedad Relativa (HR), el Brillo Medio Mensual (S) se calcularon por medio de tablas, determinando la duración media de horas de insolación y posteriormente aplicando la siguiente fórmula:

$$S = \left(\frac{N}{24} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

N: Número de horas de brillo solar (tomado de García, 2005)

S: Brillo solar mensual en %

7.1.6. Precipitación media

El cálculo de la precipitación media para cada estación, se obtuvo por medio del método de Penman y los registros climáticos proporcionados por la estación de la Suiza Contenta para la parte Alta y de la estación de la ENCA para la parte baja del área en estudio, no así para el dato de precipitación media de cada unidad; este se obtuvo por medio de un gradiente calculado para cada mes (con base en la Ecuación 18).

En el Cuadro 18 se presentan los datos de precipitación media para cada unidad de mapeo por cada mes; estos fueron obtenidos por medio de un gradiente, tomando en cuenta el diferencial de altura y el diferencial de precipitación para cada mes, utilizando los datos de las estaciones presentes en el área. Lo anterior se muestra a continuación:

$$\text{Gradiente} = (\partial \text{dcE} / \partial hE) \text{ (Ecuación 18)}$$

Donde:

∂dcE : El valor absoluto del diferencial de los datos climáticos de las estaciones

∂hE : El diferencial de altura entre las estaciones climáticas

Cuadro 18. Precipitación media de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

PP Estación Suiza Contenta	4.6	2.6	12.1	21.9	122.3	212.8	174.6	220.6	197.3	108.2	44.5	4.9	
PP Estación ENCA	0.4	0.8	3	28.1	53.5	185.5	150.4	163.2	208.1	157	14.3	1.2	
Código	Gradiente	0.006	0.003	0.0135	0.0092	0.1019	0.0404	0.0358	0.0850	0.016	0.0723	0.0452	0.005
	\bar{h}	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
O1	2218	5.30	2.90	13.62	35.34	133.82	217.37	178.65	230.20	220.71	213.97	49.91	5.52
O2	1849	3.01	1.92	8.65	31.95	96.21	202.45	165.42	198.83	214.80	187.29	33.23	3.50
O3	2160	4.94	2.75	12.84	34.81	127.91	215.02	176.57	225.27	219.78	209.78	47.29	5.20
O4	2112	4.64	2.62	12.19	34.36	123.01	213.08	174.85	221.19	219.01	206.31	45.12	4.94
O5	2076	4.42	2.52	11.71	34.03	119.34	211.63	173.56	218.13	218.44	203.70	43.49	4.74
O6	2140	4.82	2.69	12.57	34.62	125.87	214.22	175.85	223.57	219.46	208.33	46.38	5.09
O7	1980	3.82	2.27	10.41	33.15	109.56	207.74	170.12	209.97	216.90	196.76	39.15	4.21
O8	2018	4.06	2.37	10.93	33.50	113.43	209.28	171.48	213.20	217.51	199.51	40.87	4.42
O9	2067	4.36	2.50	11.59	33.95	118.43	211.26	173.24	217.36	218.29	203.05	43.08	4.69
10	2100	4.57	2.59	12.03	34.25	121.79	212.60	174.42	220.17	218.82	205.44	44.57	4.87
11	2012	4.02	2.35	10.85	33.45	112.82	209.04	171.27	212.69	217.41	199.08	40.60	4.39
12	1915	3.42	2.09	9.54	32.55	102.93	205.12	167.79	204.44	215.86	192.06	36.21	3.86
13	1720	2.20	1.57	6.91	30.76	83.06	197.23	160.80	187.86	212.74	177.97	27.40	2.79
14	1658	1.82	1.41	6.07	30.19	76.74	194.72	158.57	182.59	211.75	173.48	24.60	2.45
15	1634	1.67	1.34	5.75	29.97	74.29	193.75	157.71	180.55	211.36	171.75	23.52	2.32
16	1677	1.94	1.46	6.33	30.37	78.68	195.49	159.26	184.20	212.05	174.86	25.46	2.55
17	1695	2.05	1.51	6.57	30.53	80.51	196.22	159.90	185.73	212.34	176.16	26.27	2.65
18	1676	1.93	1.46	6.32	30.36	78.57	195.45	159.22	184.12	212.04	174.78	25.42	2.55
19	1618	1.57	1.30	5.53	29.83	72.66	193.10	157.14	179.19	211.11	170.59	22.79	2.23
20	1682	1.97	1.47	6.40	30.41	79.19	195.69	159.43	184.63	212.13	175.22	25.69	2.58
21	1685	1.99	1.48	6.44	30.44	79.49	195.81	159.54	184.88	212.18	175.44	25.82	2.60
22	1495	0.80	0.97	3.88	28.70	60.13	188.13	152.73	168.73	209.14	161.70	17.24	1.56
23	1466	0.62	0.90	3.49	28.43	57.17	186.96	151.69	166.26	208.68	159.60	15.93	1.40
24	1393	0.17	0.70	2.50	27.76	49.73	184.00	149.07	160.05	207.51	154.33	12.63	1.00
25	1471	0.66	0.91	3.55	28.48	57.68	187.16	151.87	166.69	208.76	159.96	16.15	1.42
26	1536	1.06	1.08	4.43	29.07	64.30	189.79	154.20	172.21	209.80	164.66	19.09	1.78
27	2024	4.10	2.38	11.01	33.56	114.04	209.52	171.70	213.71	217.60	199.94	41.14	4.46
28	1683	1.97	1.47	6.41	30.42	79.29	195.73	159.47	184.71	212.15	175.29	25.73	2.59
29	1395	0.18	0.71	2.53	27.78	49.93	184.08	149.15	160.22	207.54	154.47	12.72	1.01
30	1361	(0.03)	0.62	2.07	27.47	46.47	182.71	147.93	157.33	207.00	152.01	11.18	0.82
31	1438	0.45	0.82	3.11	28.17	54.32	185.82	150.69	163.88	208.23	157.58	14.66	1.24
32	1640	1.71	1.36	5.83	30.03	74.90	193.99	157.93	181.06	211.46	172.18	23.79	2.35
33	1541	1.09	1.10	4.50	29.12	64.81	189.99	154.38	172.64	209.88	165.02	19.32	1.81
34	2018	4.06	2.37	10.93	33.50	113.43	209.28	171.48	213.20	217.51	199.51	40.87	4.42

Los datos de precipitación para la parte alta de la cuenca fueron los de la estación “La Suiza Contenta” y para la parte media y baja los de la estación de la “ENCA”.

7.1.7. Cálculo de la recarga hídrica natural

Para el cálculo de la recarga de cada unidad de mapeo se utilizó una hoja electrónica de Excel, elaborada por Schosinsky & Losilla (2001). Los resultados de recarga hídrica natural para cada una de las unidades de muestreo se presentan en el Cuadro 19 y 20.

Cuadro 19. Recarga hídrica natural de las unidades de mapeo de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Código	Área (m ²)	PP(mm)	ETP(mm)	Esc(mm)	Ret(mm)	Rec(mm)	Ponderado	% Área
1	2485451.21	1307.31	594.66	461.94	172.26	286.15	11.36	3.97
2	1770907.08	1147.26	617.84	498.17	151.23	146.18	4.14	2.83
3	5467084.73	1282.16	594.99	216.81	268.98	357.1	31.19	8.74
4	284578.71	1261.32	595.26	554.73	166.51	149.41	0.68	0.45
5	23689596.24	1245.71	595.47	501.97	164.27	204.52	77.42	37.85
6	472583.32	1273.47	595.10	579.3	217.24	91.31	0.69	0.76
7	1398297.14	1204.06	618.59	497.26	204.64	125.61	2.81	2.23
8	42499.66	1220.56	595.80	633.27	160.78	68.91	0.05	0.07
9	10483738.64	1241.8	619.08	583.49	260.28	43.98	7.37	16.75
10	121233.84	1256.12	595.33	167.02	263.44	378.66	0.73	0.19
11	222835.34	1217.97	618.77	528.93	160.44	163.04	0.58	0.36
12	899852.87	1175.87	618.22	386.98	154.95	253.58	3.65	1.44
13	201742.10	1091.29	692.94	296.13	227.12	134.07	0.43	0.32
14	389980.58	1064.39	693.46	620.27	140.42	0.58	0.00	0.62
15	1210337.99	1053.98	693.66	752.28	119.27	0	0.00	1.93
16	606185.78	1072.65	693.30	595.94	141.49	23.71	0.23	0.97
17	94260.57	1080.44	693.15	583.79	142.51	5.66	0.01	0.15
18	1096145.13	1072.22	693.31	279.79	121.36	131.1	2.30	1.75
19	50428.89	1047.04	693.79	388.41	118.48	66.5	0.05	0.08
20	70644.36	1074.81	707.37	775.7	141.77	0	0.00	0.11
21	1392354.04	1076.11	693.23	713.94	121.8	5.93	0.13	2.22
22	1997721.54	993.71	694.82	549.25	111.27	47.01	1.50	3.19
23	1551385.13	981.13	695.07	466.12	109.45	28.14	0.70	2.48
24	115334.43	949.45	719.06	122.41	104.87	293.8	0.54	0.18
25	2235381.28	983.29	695.03	465.32	128.39	57.65	2.06	3.57
26	29494.17	1011.47	694.48	210.62	132.95	253.93	0.12	0.05
27	634745.37	1223.16	618.84	627.66	161.12	67.39	0.68	1.01
28	184266.75	1075.23	693.25	400.08	223.59	49.17	0.14	0.29
29	2340061.02	950.32	719.08	603.44	123.08	8.19	0.31	3.74
30	472591.68	935.58	718.79	465.55	120.75	27.19	0.21	0.76
31	25540.71	968.97	695.30	395.97	126.08	73.4	0.03	0.04
32	26993.01	1056.59	693.61	90.18	119.57	215.6	0.09	0.04
33	493285.40	1013.66	694.44	746.08	114.17	0	0.00	0.79
34	26993.00	1220.56	595.80	438.1	255.61	105.06	0.05	0.04
Total	62584531.71	37829.7	22440.85	16196.9	5450.14	3862.53	150.2416	100

El cálculo se inicio en el mes de octubre por suponer que los suelos se encuentran saturados, cercanos a la capacidad de campo –CC-, esto debido a la finalización de la época lluviosa.

Como se observa, no en toda el área en estudio, se produce recarga hídrica, puesto que en las unidades 33, 20 y 15 que se constituyen como superficies de escasa vegetación y superficies degradadas, no se registran valores de recarga hídrica.

Por otro lado se registra mayor volumen de recarga anual en las unidades de muestreo de la parte alta y media de las microcuencas (unidades 1, 3, 5, 10, 12, 24, 26 y 32 que se pueden observar en la Figura 10) ubicadas en el cinturón central del área en estudio, que es donde se encuentran la mayoría de las unidades con uso de bosque ya sea mixto o latifoliado (ver Figura 9).

El aporte de las áreas anteriores, equivale a 83.7 % (125.75 mm) que sumado al resto que aportan las otras categorías, hacen un total de 150.24 mm/año., de lamina de agua que equivalen a **9,402,700,09 m³/año**; de lo cual una pequeña parte de este, forma parte del flujo superficial, (río San Lucas y El Arenal y sus tributantes) debido a factores geológicos y morfometría del paisaje, ya que son áreas con pendientes y fracturas que permiten la incorporación del agua de los depósitos subterráneos a corrientes superficiales.

El valor ponderado de recarga, corresponde a la cantidad de de agua que se recarga por cada unidad de área, ya que se obtuvo el valor del área de cada unidad de mapeo relacionado con el total del área en estudio, de este valor y la capacidad de recarga hídrica; se obtuvo como producto el ponderado por cada unidad.

7.1.8. Clasificación de las zonas de recarga hídrica natural de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.

Las unidades 1, 3, 5, 10, 12, 24, 26 y 32 (que se muestran en la Figura 10) se clasifican como muy alta recarga hídrica (estas según su clasificación se presentan en la Figura 13), aportando el 83.7 % de la recarga de la microcuenca, las primeras dos se ubican en la aldea Chicamán en San Lucas Sacatepéquez, la 26 se encuentra en la finca el Calvario en Villa Nueva, la unidad 26 se localiza en Sector Martínez en Villa Nueva y por último la

unidad 32 se localiza en la parte media del área, en la arenera El Carmen, la cual es una unidad alterada por lo tanto las cifras de recarga no son naturales.

Después de cuantificar la recarga hídrica en cada una de las unidades de mapeo definidas, se realizó una clasificación en base a la lámina de agua que cada unidad aporta a la recarga, utilizando un criterio cuantitativo, tomando en cuenta la clasificación realizada por INAB (2003), y adaptándola a los valores de recarga reportados en este estudio. La clasificación de las áreas de recarga hídrica, se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 20. Clasificación de recarga hídrica natural según las unidades de mapeo en la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal.

Unidad	Área m ²	Recarga (mm)	Aporte (%)	Clase
1	2,485,451.21	11.36	7.41	Muy Alta
2	1,770,907.08	4.14	3.78	Media
3	5,467,084.73	31.19	9.25	Muy Alta
4	284,578.71	0.68	3.87	Media
5	23,689,596.24	77.42	5.29	Muy Alta
6	472,583.32	0.69	2.36	Baja
7	1,398,297.14	2.81	3.25	Media
8	42,499.66	0.05	1.78	Baja
9	10,483,738.64	7.37	1.14	Nula
10	121,233.84	0.73	9.80	Muy Alta
11	222,835.34	0.58	4.22	Alta
12	899,852.87	3.65	6.57	Muy Alta
13	201,742.10	0.43	3.47	Media
14	389,980.58	0.00	0.02	Nula
15	1,210,337.99	0.00	0.00	Nula
16	606,185.78	0.23	0.61	Nula
17	94,260.57	0.01	0.15	Nula
18	1,096,145.13	2.30	3.39	Media
19	50,428.89	0.05	1.72	Baja
20	70,644.36	0.00	0.00	Nula
21	1,392,354.04	0.13	0.15	Nula
22	1,997,721.54	1.50	1.22	Nula
23	1,551,385.13	0.70	0.73	Nula
24	115,334.43	0.54	7.61	Muy Alta
25	2,235,381.28	2.06	1.49	Baja
26	29,494.17	0.12	6.57	Muy Alta
27	634,745.37	0.68	1.74	Baja
28	184,266.75	0.14	1.27	Nula
29	2,340,061.02	0.31	0.21	Nula
30	472,591.68	0.21	0.70	Nula
31	25,540.71	0.03	1.90	Baja
32	26,993.01	0.09	5.58	Muy Alta
33	493,285.40	0.00	0.00	Nula
34	26,993.00	0.05	2.72	Media
Totales	62,584,531.71	150.2416	100	

De lo anterior podemos inferir que las unidades 3 y 10 ubicadas en el área boscosa de Chicamán en San Lucas Sacatepéquez, presentan el mayor aporte en recarga hídrica al acuífero, esto comparado con las otras unidades tomadas en cuenta, lo anterior indica que se encuentran en muy buenas condiciones para la recarga del acuífero.

Lo anterior tiene relación con la pendiente del terreno que es inferior al 10 % en la mayoría de los casos y poseen textura franca, así como cobertura forestal, todo lo anterior hace que al igual que las otras unidades donde se reporta alta y muy alta recarga, se ubiquen dentro de las áreas “críticas” de recarga” de la zona y en ello radica la importancia su cuidado y conservación.

En el caso de la unidad 1 se localiza en la Aldea Chicamán en San Lucas Sacatepéquez en el área protegida del Cerro Alux, la unidad 12 se encuentra en toda el área boscosa de latifoliadas cercana a la zona residencial “La Primavera” en el municipio de Mixco, estas últimas se encuentran en lugares con mucha pendiente, (arriba de 65 %).

La unidad 11 se clasificó como recarga hídrica alta, aportando 0.39 % del total de la recarga, ubicando esta unidad en áreas de la parte alta de las microcuencas, en la zona boscosa de Choacorrál.

Las unidades que presentan recargas bajas y no estimadas o nulas, se ubican básicamente en los centros poblados y lugares con una geología que proviene de rocas ígneas y metamórficas del terciario y cuaternario, (ver figura 8 de este capítulo), lo que indica que la alteración de la cobertura vegetal con el cambio de uso de la tierra para fines urbanos, perjudica grandemente la capacidad de regeneración natural de los mantos freáticos, siendo esto por efectos de la impermeabilización y compactación de los suelos.

Para una mejor visualización de esta clasificación se presenta la siguiente gráfica:

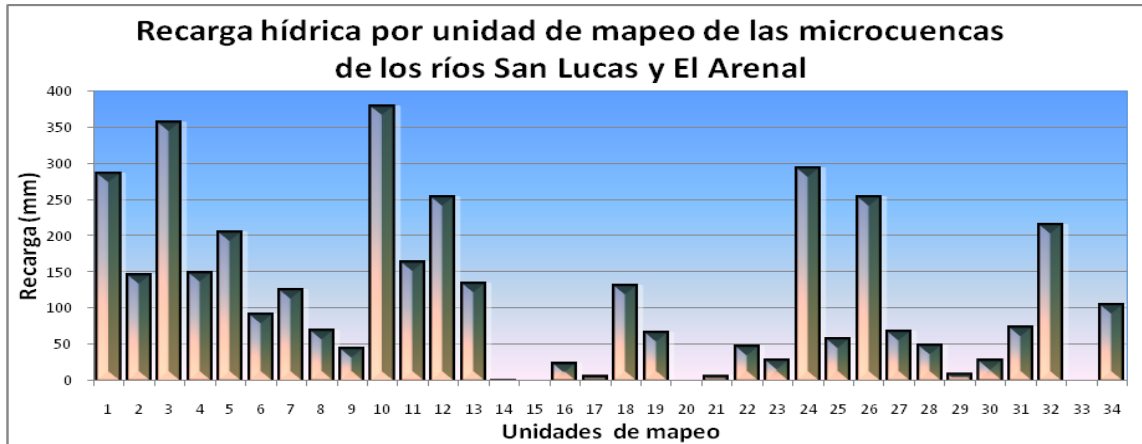


Figura 12. Grafica de recarga hídrica por unidad de mapeo en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Cumplimiento del objetivo 2

Cuantificar la recarga hídrica por medio de balance hídrico de suelos, en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

7.2. Recarga hídrica de suelos

7.2.1. Balance hídrico general

En el siguiente cuadro se presenta el resumen del balance hídrico general de suelos expresados en lamina de agua (mm) realizado en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, para el cual se utilizó la información generada con base en el análisis de los datos climáticos y el método de las curvas Isoyetas e Isopletras (ver mapas en Apéndice 6 de este capítulo).

En el siguiente cuadro se presenta esta información y se aprecia que el volumen de los factores de salida del sistema, es considerablemente menor que el volumen de entrada expresado por la precipitación pluvial, habiendo una diferencia de 14.43 % (161.95 mm).

Cuadro 21. Resumen del balance hídrico general de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Entradas	(mm)	Salidas	(mm)	Almacenamiento (mm)
Precipitación=	1121.75	Evapotranspiración=	749.17	
		Escorrentía=	210.62	
Total	1121.75	Total	959.80	161.95

En el cuadro anterior, es de notar el aporte que hace la escorrentía superficial en el balance hídrico (21.94% del total de salidas del sistema), esta cantidad comparada con el caudal del río en la época de estiaje, (río San Lucas = 1.07 m³/s. y el río El Arenal 0.18 m³/s.,) refleja que la cuenca recibe agua no solo de la lluvia, sino también del flujo sub superficial y de áreas adyacentes a la microcuenca que alimentan y mantienen este caudal a lo largo del año, debido a que estos no varían significativamente y comparado con los datos del Cuadro 16 de “aforos diferenciales” el río San Lucas es en su mayoría del tipo efluente y El Arenal de tipo influente en la última porción.

En este caso, la evapotranspiración es el factor responsable del 78.05 % de las salidas del sistema, principalmente en unidades con cobertura boscosa, sin embargo en estas mismas unidades es en donde menos escorrentía se registra, debido a la protección que brindan los follajes de los árboles y arbustos, disminuyendo la fuerza del agua y brindando más tiempo para la percolación e infiltración del agua por las raíces y capas de materia orgánica de los sistemas vegetativos.

Según la anterior metodología, el almacenamiento de agua en cada evento de lluvia es 14.43 % del total de agua que se precipita, esto significa que por cada 1,121.75 mm., de agua que entren al sistema se perderán 959.8 mm., entre evapotranspiración y escorrentía, así mismo se almacenarán 161.95 mm.

7.2.2. Balance hídrico de suelos

Según la metodología anterior, 161.95 mm., se constituye como la recarga de agua al manto freático. Ahora bien, esto comparado con el dato que se presenta con la metodología de “Balance hídrico de suelos” que toma datos directos de campo, por medio de las pruebas de infiltración (mencionadas en la metodología, inciso 6.3.3), se tiene que en toda el área se recargan únicamente **150.24 mm.**, que equivale a **9,402,700.09 m³** que es un valor considerablemente alto, puesto que de la cantidad de agua que precipita un 13.39 % se recarga como fruto de la regeneración natural del manto freático.

Lo mencionado anteriormente, deja a las microcuencas con una recarga clasificada como “Alta” según INAB (2003), quien citando a MAGA, 2000 que menciona que en las costas

del pacífico se han registrado valores de recarga de hasta un 15 % para los depósitos piroclásticos del cuaternario y el valle de Guatemala, siendo estos los más altos; así también cita a Lerner et, al,. (1990) que reporta valores de recarga similares para condiciones fuera del país utilizando isotopos de carbono-14.

La recarga reportada en esta ocasión está siendo mermada por las condiciones sociales y biofísica en la que se encuentra el área de estudio, ya que según lo reportado por Asturias (2006) en las microcuencas se registra una disminución de la capacidad de recarga hídrica, con forme cambia el uso de la tierra, cuyo patrón corresponde a urbanizaciones y por ende la disminución de la cobertura vegetal y con ello la disminución de las zonas y los valores de recarga hídrica.

Asturias (2006) reporta que según el avance de la frontera urbana o el uso de la tierra del área en estudio, la capacidad de regeneración del manto freático ha ido disminuyendo, a razón que para el año 1966 según las condiciones biofísicas, se recargaban 352.71 mm., y según las condiciones del entorno social y biofísico, para el 2006 se contaba con 204.70 mm., de recarga; esto deja un dato alarmante ya que según el presente estudio, la recarga para el 2008 son de 150.24 mm., lo que indica que según esta proporción disminuyen más de 50 mm de recarga por cada dos años.

Lo anterior provocara que si el comportamiento social y biofísico que impera en la actualidad sigue en aumento, la capacidad de regeneración hidrológica natural del área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal; muy pronto ya no podrán mantener las exigencias del recurso hídrico que se presentan en el área.

7.2.3. Mapa de Zonas de Captación y Regulación Hidrológica de la microcuenca del río San Lucas y El Arenal

Posteriormente a la determinación de las zonas de mayor recarga hídrica natural de la microcuenca del río San Lucas y río El Arenal, se asignó una categoría de recarga a cada unidad de mapeo, de esto se generó el mapa de clasificación de la recarga hídrica natural que se presenta en la Figura 13, para el cual se muestra el siguiente cuadro con las categorías de recarga y el respectivo porcentaje de influencia en la recarga.

Cuadro 22. Porcentaje de recarga hídrica por categoría, según INAB 2003, para las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

No.	Categoría	Σ Recarga (mm)	% del total de Recarga	Σ Área (m ²)	% área
1	Muy Alta	125.1	83.7	9,145,444.26	14.61
3	Alta	0.58	0.38	222,835.34	0.35
2	Media	10.41	6.92	4,778,663.16	7.63
1	Baja	3.56	2.36	27,150,775.47	43.38
5	No estimada	10.6	7.05	21,286,813.48	34.01
Suma =		150.24	100	62,584,531.71	100

También se presentan áreas con recarga que se consideran como Nulas o “No Estimadas”, sus valores individualmente no sobrepasan los 50 mm., estas áreas sumadas aportan 10.6 mm., que equivalen a 6.20 % del total de recarga; la razón por la que en globo presentan dicho valor de recarga es que se encuentran en gran número dentro del área, equivalen al 34.01 % del área total; estas se ubican principalmente en los centros poblados urbanos del área en estudio, que según el mapa de uso de la tierra, esta cobertura ocupa el 38 % de las microcuencas.

Los valores más altos de recarga a los cuales se les asigna la categoría de “Muy Alta” recarga, corresponden al 83.7 % de la recarga total (ver Cuadro 19 y 22), se registran en áreas cubiertas de bosque y campos de cultivo tales como las unidades 3 y 10 en Chicamán (ver Figura 10 y 13 de este capítulo), este dato con base en el Cuadro 22, indica que más del 50 % del área en estudio se constituye como zonas de Muy Alta recarga hídrica (con 52.79 % del área en estudio), por lo que es muy importante considerar darles un manejo racional y sustentable.

En el municipio de San Lucas Sacatepéquez, se registran los valores más altos de recarga en las localidades de Chicamán, Chipablo, Los Pinos, Residenciales El Ensueño, Lotificación Vistas de San Lucas, Granja Swis, Villas de La Meseta, Zorzoya, Residenciales Vista Azul, La Embaulada, Choacorrall, Área Protegida “Cerro Alux”; en el municipio de Santiago Sacatepéquez únicamente las áreas cercanas a Jardines de Emanuel, en Mixco las áreas cubiertas de bosque cercanas a Residenciales El Ensueño y el Área Protegida del “Cerro Alux”.

En Villa Nueva se registran como de Muy Alta Recarga las áreas desprovistas de infraestructura urbana de las siguientes localidades: Ramírez, El Zope, El Calvario, Villa de las Rosas, Peronia y Valle Alto, Terrazas II de San Cristóbal I, Villas de la Meseta, así como los campos de cultivo ubicados al este de Bárcena y el área de extracción de arena de la Arenera "El Carmen". Por último en San Bartolomé Milpas Altas el área boscosa al sur del área municipal. Los otros valores aunque son importantes, no son significativos.

Según la hipótesis planteada que supone que las tierras de mayor recarga hídrica se ubican en la parte alta de las microcuencas; con base a estos resultados queda comprobada, ya que la distribución de las zonas de Alta y Muy Alta recarga hídrica (clasificación según INAB, 2003) corresponden a la parte alta del área de estudio, donde también se observan las laderas más escarpadas o con pendientes más pronunciadas del área de estudio, las cuales corresponden a suelos de origen volcánico (ver Figura 8)

Con esta información se tiene que en el área de estudio se recargan **150.24 mm.**, de lámina de agua que equivalen a **9,402,700.09 m³**; esto según el balance hídrico de suelos realizado con información de campo, por medio de balances hídricos y pruebas de infiltración; de lo anterior se presenta en la Figura 13 el mapa que muestra la ubicación de estas áreas.

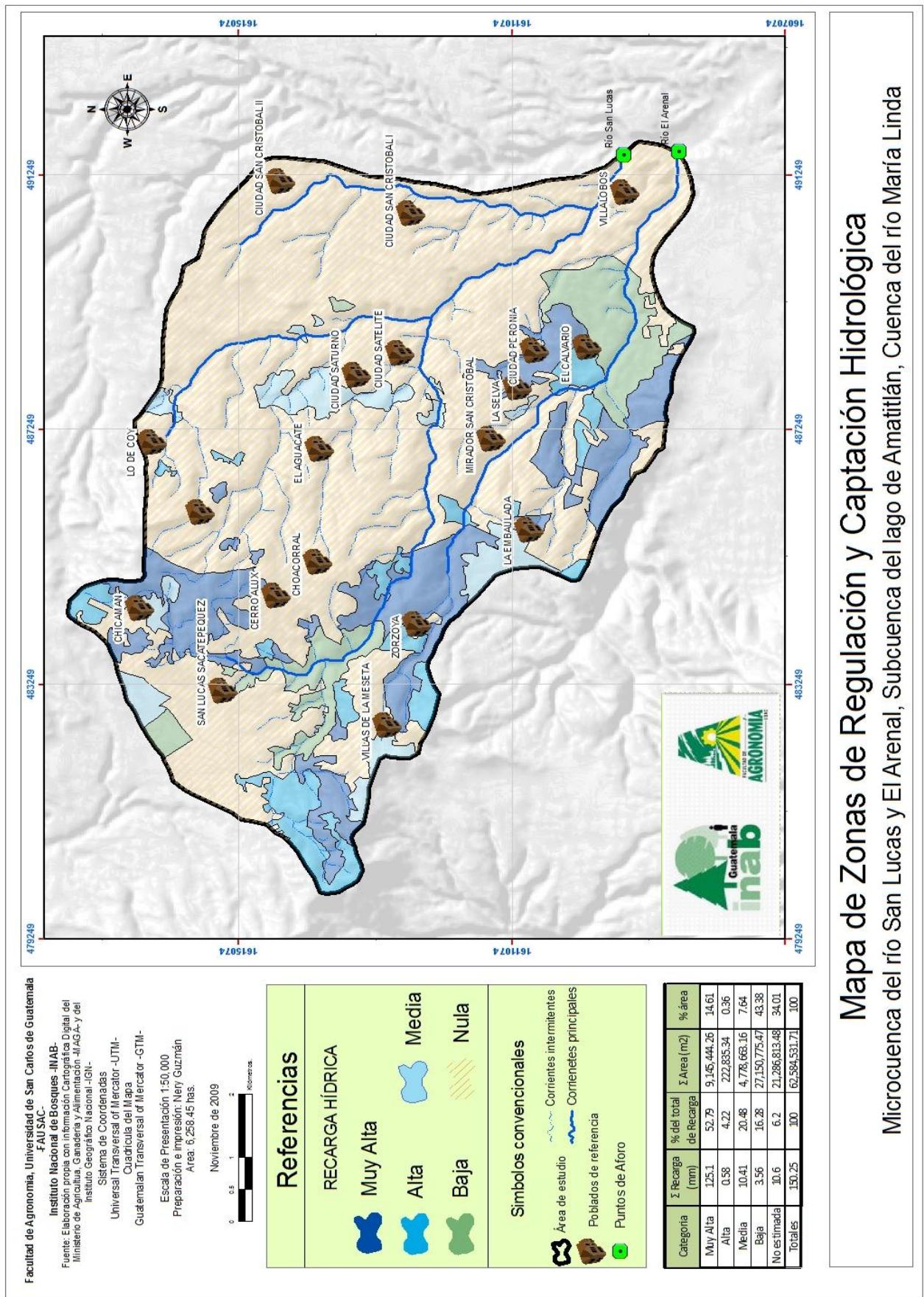


Figura 13. Mapa de zonas de Captación y Regulación Hidrológica en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Cumplimiento del objetivo 3

Proponer lineamientos de manejo de los recursos naturales renovables, con énfasis en el recurso hídrico; teniendo como base las condiciones actuales (2008 y 2009) para el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

7.3. Lineamientos de manejo

Para brindar lineamientos de manejo de acuerdo a la situación actual del recurso hídrico y la población del área en estudio, se hace necesario realizar un análisis de consumo de agua potable y de riego (uso consuntivo) estimando datos de población proyectada para la actualidad y para un periodo a futuro de 20 años, dicho análisis se realiza de la manera siguiente:

7.3.1. Demanda actual de agua en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

7.3.1.1 Demanda para consumo humano

Tomando en cuenta una dotación de 0.12 m³/persona (basado en la metodología de UNICEF citado por Fuentes (2005)), se cuenta con una población proyectada, basada en el dato poblacional del censo del 2002 del INE de 108,688 habitantes, tomando en cuenta una tasa de crecimiento de 1.03 % según el INE (2002) y sabiendo que se cuenta con una recarga de **9,402,700.09 m³** de agua (según datos de balance hídrico y pruebas de infiltración) se analiza el consumo de agua de la manera siguiente:

Cuadro 23. Población proyectada para el área en estudio.

Poblado	INE 2002	Población proyectada según T.C. del INE 2002			
	Año 2002	Año 2008	Año 2010	Año 2023	Año 2028
La Embaulada	603	720	764	1122	1300
Residenciales Vista Azul	51	61	65	95	110
Zorzoya	436	521	552	811	940
Villas de la meseta	490	585	621	912	1057
Tierra Linda	61	73	77	113	132
Tierra Linda	180	215	228	335	388
Las Julias	38	45	48	71	82
Bosques de San Lucas	148	177	187	275	319
San José	470	561	595	874	1014
Lot. Rosales de San Lucas	53	63	67	99	114
Choacorrál	2688	3210	3405	5000	5797
Litificación Montezuma	128	153	162	238	276

El Cuadro 23 continúa en la siguiente página

Colonia Jardines de San Lucas	533	636	675	992	1149
Lot. Residencial las Marías	71	85	90	132	153
Lot. San Jorge	84	100	106	156	181
Chicaman	313	374	396	582	675
Jardines de Emanuel	48	57	61	89	104
Los Pinos	57	68	72	106	123
Chipablo	185	221	234	344	399
Col. Jardines de San Lucas II	272	325	345	506	587
Residenciales Florentina	62	74	79	115	134
Club Torino	30	36	38	56	65
Condominio Las Mercedes	38	45	48	71	82
San Lucas Sacatepéquez	8871	10592	11238	16503	19131
Col. Jardines de San Lucas V	76	91	96	141	164
Condominio San José	31	37	39	58	67
Col. Jardines de San Lucas I	439	524	556	817	947
Granjas Swiss	68	81	86	127	147
Colonia Los Alpes	651	777	825	1211	1404
Residenciales El Ensueño	129	154	163	240	278
Colonia Prados de San Lucas	58	69	73	108	125
Lot. Vistas de San Lucas II	113	135	143	210	244
Residencial Los Encinos	37	44	47	69	80
Colonia Dos Robles	122	146	155	227	263
Cerro Alux	217	259	275	404	468
Granjas Santo Domingo	30	36	38	56	65
Población Dispersa	21	25	27	39	45
Residencial María Gabriela	51	61	65	95	110
Residenciales Villalobos	605	722	766	1125	1305
Prados de San José	497	593	630	925	1072
5 de Enero	378	451	479	703	815
Inta Bárcenas	165	197	209	307	356
Valle Morales.	261	312	331	486	563
Valles de María	575	687	728	1070	1240
Amanecer Villalobos	215	257	272	400	464
Anexo Mezquitil	67	80	85	125	144
Colonia Resortes Quiche	170	203	215	316	367
El Paraíso	86	103	109	160	185
Villalobos	2296	2742	2909	4271	4952
Las Rosas	33	39	42	61	71
El Pino	529	632	670	984	1141
Los Olivos	252	301	319	469	543
Valle Dorado II	2626	3136	3327	4885	5663
El Calvario	1112	1328	1409	2069	2398
Villa de Las Rosas	360	430	456	670	776
Villas de Sevilla	29	35	37	54	63
Valle Alto	93	111	118	173	201
Roldan	38	45	48	71	82
Terrazas I De San Cristóbal II	1485	1773	1881	2763	3203
Ciudad Peronia	12040	14376	15252	22398	25965
La Selva	1506	1798	1908	2802	3248
Villas Club El Dorado	2310	2758	2926	4297	4982
El Gran Mirador	2551	3046	3232	4746	5501
Villas del Amanecer I y II	3080	3678	3902	5730	6642
Jerusalem, Planes de Vista R	1215	1451	1539	2260	2620
Mirador San Cristóbal	680	812	861	1265	1466
Terrazas II de San Cristóbal I	104	124	132	193	224

El Cuadro 23 continúa en la siguiente página

Asentamiento Oasis	488	583	618	908	1052
Balcones de San Cristóbal	2251	2688	2851	4188	4854
Ciudad San Cristóbal I	8915	10645	11293	16585	19226
Ciudad Satélite	8796	10503	11143	16363	18969
Bosques de San Jacinto	69	82	87	128	149
Villa San Pedro	55	66	70	102	119
Kristal	4	5	5	7	9
Villa Claret	126	150	160	234	272
Pinares de San Cristóbal	1702	2032	2156	3166	3671
Ciudad Saturno	94	112	119	175	203
Colonia Monte Real	670	800	849	1246	1445
Los Laureles	18	21	23	33	39
Jardines	280	334	355	521	604
Calzada Mateo Flores	218	260	276	406	470
Loma Verde	20	24	25	37	43
El Aguacate	2732	3262	3461	5082	5892
Santa Bárbara I	186	222	236	346	401
Olivares I	19	23	24	35	41
Las Mercedes	44	53	56	82	95
Las Praderas I Y II	279	333	353	519	602
Villa de Mixco	75	90	95	140	162
Cristalinas	70	84	89	130	151
Pirámide	27	32	34	50	58
Los Olivos	45	54	57	84	97
Colonia Chaparral	211	252	267	393	455
El Campanero	901	1076	1141	1676	1943
Kilometro 15 1/2	27	32	34	50	58
G & T I	118	141	149	220	254
Valle de San Cristóbal	387	462	490	720	835
Bellos Horizontes	46	55	58	86	99
Ciudad San Cristóbal II	2442	2916	3093	4543	5266
Lomas de San Cristóbal	74	88	94	138	160
Los Magueyes	345	412	437	642	744
14 de Octubre	289	345	366	538	623
Los Encinos	19	23	24	35	41
La Pérez	60	72	76	112	129
La Asunción	222	265	281	413	479
Los Ángeles	222	265	281	413	479
Jardines de San Cristóbal	91	109	115	169	196
Las Ceibas	200	239	253	372	431
Prados de San Cristóbal	11	13	14	20	24
San Francisco III	277	331	351	515	597
Loma de Minerva	511	610	647	951	1102
Valle de Minerva II	1054	1259	1335	1961	2273
Alta Vista	74	88	94	138	160
Miralvalle	425	507	538	791	917
Valle III	52	62	66	97	112
Arcos II	48	57	61	89	104
Santiago	153	183	194	285	330
Valle II	325	388	412	605	701
Fuentes del Mirador	92	110	117	171	198
Venecia	56	67	71	104	121
Arcos I	74	88	94	138	160
Valle I	105	125	133	195	226
El Dorado	20	24	25	37	43

Valles del Naranjo	58	69	73	108	125
Saint Morita	31	37	39	58	67
Mayorca	20	24	25	37	43
Las Georginas	179	214	227	333	386
Paisajes de San Cristóbal	1294	1545	1639	2407	2791
Orleans I y II	166	198	210	309	358
Vista Real I y II	76	91	96	141	164
Panorama (San Cristóbal)	3751	4479	4752	6978	8089
Eben Ezer	29	35	37	54	63
Lo de Bran III	402	480	509	748	867
Bella Vista	745	890	944	1386	1607
San Remo	61	73	77	113	132
Bristol	64	76	81	119	138
Loma Linda	48	57	61	89	104
San Jacinto	1248	1490	1581	2322	2691
Los Altos	144	172	182	268	311
Royal Hill I	57	68	72	106	123
Condominio Real Minerva	68	81	86	127	147
Loma Real	824	984	1044	1533	1777
Hamburgo	813	971	1030	1512	1753
Santa Ana	151	180	191	281	326
Bella Vista II	39	47	49	73	84
Lo De Coy	7979	9527	10108	14843	17207
Quintas de Don Pedro II	13	16	16	24	28
La Libertad	955	1140	1210	1777	2060
Jardines de Emanuel	48	57	61	89	104
Total=	108,688	129,779	137,683	202,192	234,396

Los proyectos de abastecimiento de agua potable para que sean funcionales, se diseñan con un periodo de 20 a 25 años, tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional.

En el caso de las comunidades que dependen de la recarga hídrica de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal; para el aprovechamiento de agua para consumo humano, se realizaron las proyecciones de población y la demanda de agua con un periodo de 20 años (2008 – 2028). El método que se utilizó, fue el del Índice de crecimiento geométrico, el cual consiste en lo siguiente:

$$P_f = P_i (1 + t_c)^n \text{ (Ecuación 19)}$$

Donde:

P_f = Población final.

P_i = Población actual o inicial.

t_c = Tasa de crecimiento anual de la población expresado en forma decimal. (Dato que se obtiene en el INE)

n = Periodo de diseño. (años)

La proyección de consumo de agua se hace de forma resumida para cada municipio, tomando en cuenta los habitantes de cada localidad mencionada en el Cuadro 23, y se detalla en el cuadro siguiente.

Cuadro 24. Proyección de la demanda de agua para consumo humano en las comunidades de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

Municipio	Población según Censo INE (2002)	Población proyectada		Consumo de Agua m ³	
		Año 2010	Año 2028	Año 2010	Año 2028
San Lucas Sacatepéquez	17,902	22,678	38,607	993,284	11691,000
Villa Nueva	35,897	45,473	77,415	1,991,728	31390,784
Mixco	53,873	68,245	116,182	2,989,118	51088,773
San Bartolomé Milpas Altas	968	1,226	2,088	53,709	91,436
Santiago Sacatepéquez	48	61	104	2,663	4,534
TOTAL	108,688	137,683	234,396	6,030,503	10,266,527

Con una aprovechamiento de **4,138,836.0 m³/año** de agua potable para el 2008 y según proyecciones para el 2010; se consume la cantidad de **6,030,503.0 m³/año** (ver Cuadro C1 en Apéndice 3), se puede constatar haciendo un análisis a corto plazo, que la recarga de **9,402,700.09 m³** que ocurre en el área de estudio, deja un diferencial de 36 % después de realizar aprovechamientos a lo largo del año; dejando esto únicamente como reserva al manto freático **3,372,197.09 m³** de agua al año durante el periodo 2008 – 2009 para el año 2009 y 2010.

Si se hace un análisis a mediano plazo, que sería para dentro de 20 años, según los datos del cuadro anterior; para el periodo 2028 - 2030 existiría una población y consumo de agua, que aun si permanecieran intactas las condiciones actuales del manto freático y su recarga, harían falta **863,826.91 m³** de recarga en el mismo, para sufragar los gastos o el consumo de agua, solamente para consumo humano; esto sin tomar en cuenta que debido al cambio climático y el calentamiento global, pueden existir mayores pérdidas por ETP, y aumentarían las necesidades de riego en los campos de cultivo¹³.

¹³ Según lo analizado en el inciso 7.3.1.2. donde se explica que, ya desde las condiciones del año 2008, no existe agua suficiente en el manto freático para el abastecimiento satisfactorio de las necesidades de agua, tanto para riego como para consumo humano.

Según las cifras del cuadro anterior, para dentro de 20 años (2028 -2030) la recarga que existe actualmente ya no podrá cubrir las exigencias de la población del área, ya que la cantidad de consumo será mucho mayor a la disponibilidad del manto freático; esto, aunado al hecho que año con año se alteran las condiciones del entorno, minimizando la capacidad de recarga hídrica que disminuye aun mas las posibilidades de mantener productivos los proyectos de extracción y aprovechamiento de agua en el área de estudio.

Con base en lo anterior, la recarga en la zona se ve seriamente amenazada por el alto aprovechamiento del manto freático y la poca regeneración del mismo y esto se debe a múltiples factores, todos ellos de índole social, lo que indica que los proyectos de agua para consumo humano no tienen garantizada su viabilidad por más de 20 años; esto según la cantidad de aprovechamiento del recurso hídrico en el lugar, versus la regeneración natural del manto freático (ver Cuadro C1 en Apéndice 3).

No obstante esto puede variar, ya que de momento se hacen estos estimados de consumo de agua y de población, tomando en cuenta una población proyectada con un crecimiento poblacional de 1.03 % anual, siendo esto para un periodo de 20 años a partir del 2008 (Año 2028); es decir que se puede obtener un dato más exacto de consumo y aprovechamiento de agua obteniendo datos más precisos de población, siendo estos fruto de un censo poblacional y de un análisis de los flujos de migración, así como la cuantificación de caudales de riego en los proyectos agrícolas en el área de estudio.

Esto indica que si al menos las áreas con bosque donde se registra recarga hídrica (ver Figura 13) se logran mantener intactas y se realizan mejoras como pozos de absorción, reforestaciones, etc., pueden prolongar por más tiempo las condiciones actuales de carga y descarga de agua que existen en el área y poder así al menos cubrir las necesidades de agua para la población del área, por 20 años más.

Claro está que según el crecimiento poblacional, se requerirá de incrementar los focos de aprovechamiento de agua, los cuales deberán contar con una planificación estratégica, para no sobre explotar la reserva natural de agua con la que cuenta el área de estudio; por otro lado, sumado a lo anterior, el mal manejo de las áreas de recarga hídrica y la contaminación de las aguas superficiales, la mala disposición de los desechos sólidos y/o

líquidos que contaminan el agua superficial y sub superficial¹⁴ podrían disminuir la disponibilidad del agua para el consumo humano en el área de estudio en menos tiempo de lo previsto.

Este contexto se ha discutido sin tomar en cuenta el componente agrícola o necesidades de agua para riego en el área de estudio, esta información se analiza y discute en el siguiente inciso.

7.3.1.2. Demanda de agua para uso agrícola

En el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, se encuentran múltiples campos de cultivo, dentro de los que se encuentran granos básicos, plantaciones forestales y frutales que no utilizan riego en ninguna época del año, hasta los campos de cultivo con hortalizas, las cuales si requieren de riego durante la época seca, por lo tanto es necesario cuantificar estas necesidades de riego, para estimarlas dentro de los requerimientos de agua totales y realizar una proyección de las necesidades básicas de agua en el área de estudio. Esto se realiza de la siguiente manera.

Cuadro 25. Necesidades de riego para las áreas agrícolas de la microcuenca del los ríos San Lucas y El Arenal.

No.	Código de área	Coordenadas GTM		Uso de la tierra	Geología	Taxonomía	Área (m ²)	Necesidad de Riego (mm)
1	C002	482479	1616080	Hortalizas de clima templado	Ds – Ls	Qtd	284,578.71	317.98
2	C004	484692	1616102	Hortalizas de clima templado	Ds – Ls	Qt	298,483.56	470.49.
3	C0018	487660	1612367	Área bajo invernadero	Ps – Eo	Qt	941,59.99	385.73
4	C0026	490406	1611128	Hortalizas de clima cálido	Eo	Qtd	37,061.31	442.48
5	C0027	488138	1609765	Hortalizas de clima cálido	Ps – Eo	Qtd	115,334.42	391.13
6	C0028	487075	1609397	Hortalizas de clima cálido	Ls	Qt	1,341,503.84	665.63
TOTAL =							2,171,121.83	2,202.95

¹⁴ Condiciones que imperan en la actualidad por adolecer de sistemas de drenaje eficiente y plantas de tratamiento de aguas residuales y de desechos sólidos, así como de un Plan de Ordenamiento Territorial

Actualmente se encuentran 6 zonas donde se realizan proyectos productivos de tipo agrícola dentro del área de estudio que se le aplica riego; donde la “Necesidad de Riego” total asciende a 2,202.95 mm., de lamina de agua, que equivalen a 4,782,872.83 m³/año., siendo este requerimiento poco factible de cubrir según la capacidad de recarga con la que se cuenta en el área, de lo cual con base en este estudio se ha determinado que actualmente se cuenta con una recarga total de 150.24 mm., de lamina de agua en toda el área de estudio, que equivale a **9,402,700.09 m³/año** (ver Cuadro 22).

La cantidad de agua que se aprovecha para consumo humano en el 2008 es de **4,138,836.09 m³/año** y para el 2010 (según proyecciones del Cuadro 24) es de **6,030,503.0 m³/año**; mismos que sumados con el dato anterior, sobrepasan la capacidad de recuperación o regeneración natural del manto freático por consumo de agua en el área de estudio para el año 2010.

En vista que el margen de almacenamiento después del aprovechamiento para consumo humano es únicamente de **3,372,197.09 m³** al año, se concluye que este no es suficiente para suplir las necesidades de riego de las zonas de cultivo, dejando un déficit cada año a partir del 2010 de **1,410,675.74 m³/año** el cual va en aumento según el crecimiento poblacional y los requerimientos de agua para consumo humano.

Con base en lo anterior y haciendo una proyección para el año 2028, que son 20 años después de la realización del estudio, se estima que se estarán demandando **10,266,527.0 m³/año** por concepto de agua para consumo humano, lo cual aun si permanecieran las condiciones de uso de la tierra y/o cobertura vegetal o forestal intactas existiría un déficit de **863,826.91 m³/año** aun teniendo que dejar el requerimiento o las necesidades de riego sin satisfacer.

Con base a lo anterior se proponen los siguientes lineamientos de manejo, encaminados a un uso más apropiado de estas áreas de recarga (ver Figura 13) para la conservación del recurso hídrico.

7.3.2. Propuesta de los lineamientos de manejo para las áreas críticas de recarga hídrica.

Una vez teniendo los resultados anteriores, el análisis de la demanda de agua para consumo humano y agrícola, comparado con la capacidad de Captación y Regulación con la que cuenta el área y considerando la creciente demanda de agua en el país y el constante deterioro de los recursos naturales, principalmente en las zonas aledañas a las urbanizaciones; aunado a la importancia biofísica con la que cuenta el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal por ser parte alta de la Subcuenca del lago de Amatitlán y de la cuenca del río María Linda, se realizó el siguiente análisis:

Dada la interrelación que existe entre los recursos agua, suelo y bosque; y la importancia que tienen sobre la recarga hídrica natural a los mantos freáticos, permitiendo su sostenibilidad, se considera necesario mencionar dos conceptos relacionados con el uso del agua, los cuales de acuerdo con SIECA et al. (1998), citado por Fuentes (2005), se definen de la siguiente manera:

- **Uso racional:** define la utilización apropiada, la eficiencia que evita el desperdicio y la equidad como función social que ampara el derecho igualatorio al uso y libre acceso de todos a un recurso común.
- **Uso sostenido:** implica la efectividad o máximo provecho, la protección para mantener su calidad en armonía con la preservación del medio ambiente, y la conservación que garantice el uso indefinido en beneficio de las presentes y futuras generaciones.

Con base en lo anterior, las propuesta de los lineamientos de manejo que se hacen en este documento para el área de estudio, obedecen a brindar un uso y manejo sostenible y sustentable del recurso hídrico con el que cuenta, así mismo del recurso bosque y suelo, los cuales están íntimamente relacionados. Para el de brindar lineamientos de manejo acorde a las necesidades de las zonas de recarga hídrica “críticas” y no “críticas”, se toma en cuenta lo siguiente:

7.3.2.1. Análisis del contexto hídrico local

Como fruto de la realización de esta investigación y la caracterización previa presentada en el Capítulo I; se observaron diversos problemas potenciales y con la finalidad de delimitarlos en función del recurso hídrico presente en el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, se realizó un análisis por medio de Árboles de Problema, para las condiciones existentes alrededor del uso, aprovechamiento y manejo del recurso hídrico.

Los elementos que se analizaron, son guía para identificar con más precisión los lineamientos de manejo que deben implementarse en el área de estudio, con la finalidad de lograr un uso racional y sostenible de este recurso. Se presenta a continuación el resultado del análisis para los problemas:

7.3.2.1.1. Problemática de la microcuenca de los ríos San Lucas y El Arenal

a. Problemas identificados en torno del recurso hídrico

La raíz de la problemática en la que gira esta investigación, se fundamenta en la necesidad sentida por parte de la comunidad manifestada a la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez y esta a su vez a la Comisión de Manejo y Conservación de Recursos Naturales del Consejo Departamental de Desarrollo de Sacatepéquez, vía que se usó para solicitar al Instituto Nacional de Bosques y el Proyecto de Investigación Forestal, realizar dicha investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal en el país, lo cual obedece al cumplimiento de lo que dicta el Artículo 35 del Reglamento de la Ley Forestal y el Artículo "1" inciso "a" del acuerdo 101-96 de la Ley Forestal de Guatemala.

La problemática se analiza de forma esquemática con sus causas y efectos por medio de la metodología de árboles de problema, por lo cual se plantea un análisis esquemático de la siguiente manera:

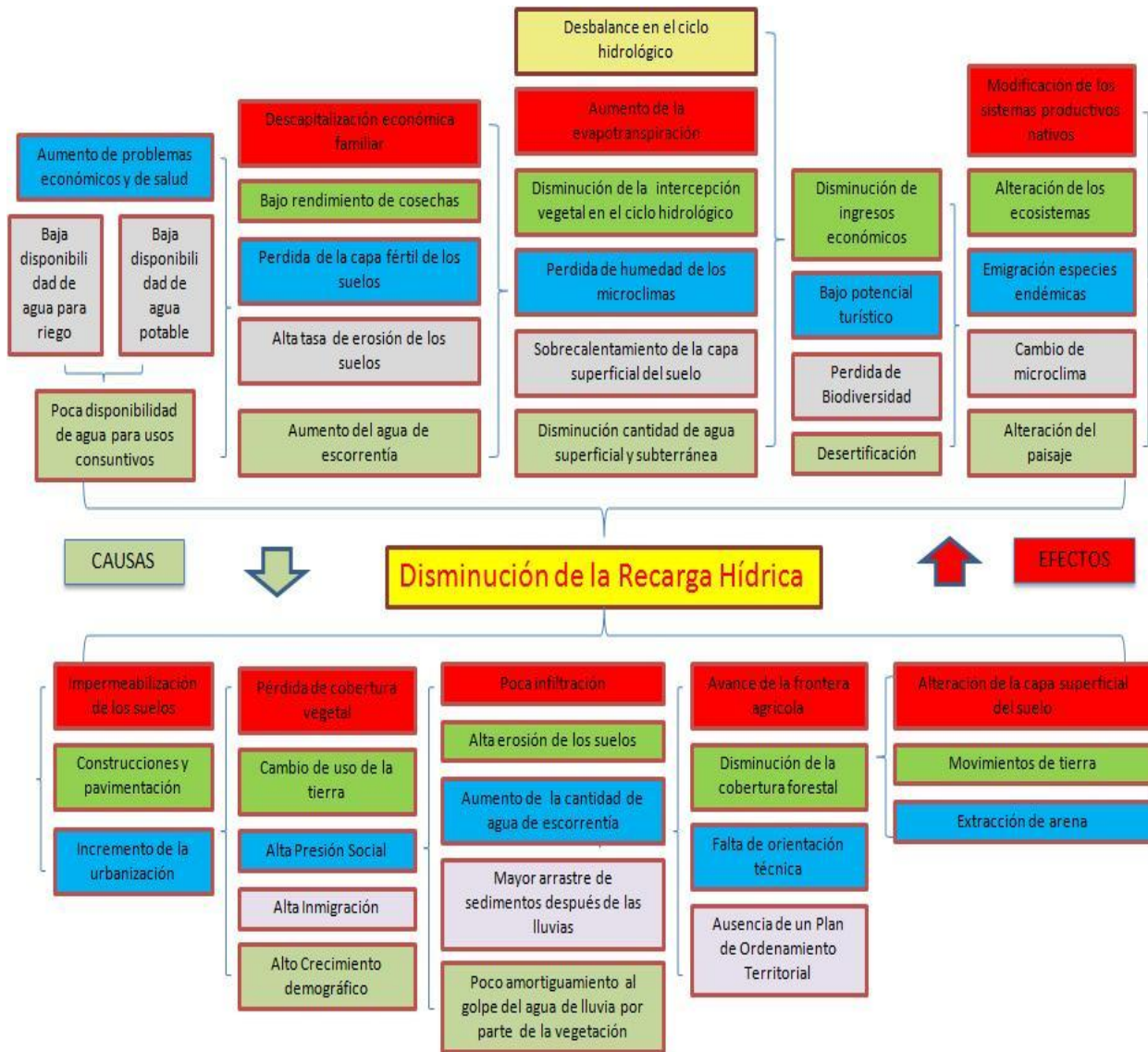


Figura 14. Árbol de problema “Disminución de la Recarga Hídrica” en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

De lo anterior, ayudado por la caracterización biofísica realizada en el área de estudio, se encontró como tema principal en materia forestal, la protección de las zonas de recarga hídrica de la parte alta del área, debido a la problemática identificada que consiste en la disminución de la recarga hídrica de esta zona que se constituye como parte alta de cuenca (cuenca del río María Linda y la subcuenca del Lago de Amatitlán); por lo anterior se analiza la problemática mediante un árbol de problema, esta es una metodología en la que se visualizan las causas y los efectos de un problema central de forma esquemática, la cual permite analizar de forma práctica cualquier situación problemática.

Después de realizar un análisis de la problemática principal del territorio entorno al recurso hídrico, se determinaron las causas y efectos que dan origen a la temática de esta

investigación y todas las causas tienen que ver con el recurso forestal y la cubierta vegetal de los suelos. Por lo que cada uno de ellos genera efectos múltiples que se deben corregir. De la figura anterior se hizo el análisis de las causas siendo estos los problemas principales, los cuales se delimitan en el cuadro siguiente:

Cuadro 26. Priorización de líneas de acción.

PROBLEMA GENERAL	CAUSAS PRINCIPALES	PRIORIDAD				Total
		S	E	A	T	
DISMINUCIÓN DE LA RECARGA HIDRICA	Incremento de la urbanización	9	5	10	6	30
	Alto crecimiento demográfico	10	5	8	4	27
	Bajo amortiguamiento de la vegetación	8	3	8	6	25
	Ausencia de un Plan de Ordenamiento Territorial	9	8	10	5	32
	Extracción de arena	5	7	9	5	26

S=Social, E=Económico, T=Técnico, A=Ambiental

Para la priorización de las causas que originan el problema, se empleó la matriz anterior, siendo esto con cuatro criterios de priorización y/o viabilidad, tomando en cuenta los aspectos Sociales, Económicos, Ambientales y Técnicos brindándoles una ponderación de 1 a 10; seleccionando como prioritarios aquellos que sobrepasen el 75 % del valor total, siendo para este caso los que tengan más de 30 puntos, representando la importancia que tiene el ser corregida la causa que origina el problema.

Es de importancia conocer en un orden de prioridad, las causas de la problemática que se quiere corregir en el área de estudio; así como sus causas y efectos, esto con el fin de dar lineamientos de manejo que puedan implementarse para mejorar y lograr tanto el desarrollo de la región como la conservación de sus Recursos Naturales; por lo tanto esta investigación servirá como criterio para realizar ese ordenamiento que permitirá potencializar la capacidad de Captación y Regulación Hidrológica de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

La problemática está muy vinculada con el mal manejo del suelo y la cobertura vegetal, así mismo el avance de la frontera urbana y agrícola sin una planificación u ordenamiento; esto en el área de estudio, es generado por la coyuntura social que provoca a su vez el aumento de la erosión del suelo y que la infiltración y retención de humedad disminuya; esto genera un desbalance hídrico que afecta a toda la población y ecosistemas, siendo este uno de los muchos efectos que la problemática genera especialmente cuando se trata de zonas de recarga hídrica.

7.3.2.1.2. Propuesta de lineamientos de manejo

El análisis de las causas de la problemática realizada en el paso anterior, tienen importancia para los casos que ponderaron arriba de los 30 puntos, ya que estas son de especial cuidado y de mayor interés de mitigación para las comunidades del área en estudio, pudiéndose determinar en base a ello, que todas sobrepasan el 61 % de su punteo, lo que significa que todas son importantes, para proponer los lineamientos de manejo se debe hacer de una forma integral, para lo cual se plantean las siguientes áreas o ejes que contienen los lineamientos para toda la problemática del lugar, con base en lo anterior se propone lo siguiente:

Eje 1: Recurso hídrico y recarga hídrica natural

Actualmente existe alta presión socioeconómica (consumo humano y contaminación) sobre el caudal de los manantiales, no existiendo un manejo sostenible en las áreas de recarga hídrica natural, aunado a que no existe una “Ley de Agua” que norme el consumo, tratamiento y usos del agua en nuestro país, por lo que se propone lo siguiente:

- Mantener la cobertura vegetal principalmente en las unidades de Alta y Muy Alta recarga hídrica, (ver Figura 13) que se encuentran cubiertas de bosque Latifoliado, estas están ubicadas en la parte alta cerca del área protegida del cerro Alux en el caserío Chicamán en San Lucas Sacatepéquez, (unidades 1, 12 y 3 y 10, ver Figura 10), así también las áreas con los números 24 y 26 que se ubican en el Sector Martínez de la parte norte de Villa Nueva y la finca El Calvario de la misma localidad; que son áreas de recarga hídrica natural, por lo que se recomienda mantener la cobertura boscosa intacta, para no alterar las propiedades que estas poseen, de regenerar de forma natural el manto freático.
- El caso de la unidad 32 ubicada en el área con alteraciones de la capa superficial y sub-superficial, debido al aprovechamiento de materiales para construcción que se da en el lugar denominado arenera “El Carmen”, misma que por estar sometida a alteraciones antropogénicas, las condiciones de recarga no son naturales, no obstante, también es zona de Muy Alta Recarga ya que se encuentra sobre suelos de origen volcánico, y se necesita proteger la capa

superficial con cobertura vegetal, de preferencia con árboles, debido a que esta zona presenta muchos problemas de erosión a causa de la escorrentía, por lo que se propone mejorar la cobertura mediante la rehabilitación natural y/o artificial del bosque.

- Establecimiento de bosques de producción, principalmente siembra de especies forestales para leña.
- Establecimiento de bosques de galería en las márgenes de los cauces naturales.
- Implementar prácticas de conservación de suelos, como curvas a nivel, pozos de absorción, barreras (vivas y/o muertas) en la unidad 30 que cuenta con una cobertura vegetal pobre con el propósito de disminuir la escorrentía superficial, principalmente en las partes más altas que tienen mucha pendiente.
- En las áreas agrícolas tales como las unidades ubicadas en la finca la Suiza Contenta, en las plantaciones de maíz de la parte media y alta del área (corresponde a las unidades de mapeo 2, 4, 6, 8, 14, 16, 26, 20, 24, 25, 27, 29, 30 y 31, ver su ubicación en Figura 10) determinar los niveles de uso de agroquímicos, así como considerar la aplicación de productos orgánicos.
- Para mejorar estabilizar los rendimientos de los cultivos y obtener mejores beneficios económicos, la implementación de productos con índices menores de toxicología y residuos contaminantes, desarrollando proyectos de productos bajo condiciones orgánicas implementando aboneras, etc.

Además para integrar el recurso hídrico en la interrelación que existe con el bosque, se proponen los siguientes lineamientos:

a. Aprovechamiento de agua.

Como se mencionó, los principales usos del agua en la microcuenca son consumo humano y riego e industrial, donde el total del caudal que se destina para esos usos proviene de los manantiales, además hay que considerar que la demanda de agua para

consumo humano aumentará según el crecimiento demográfico registrado en el área¹⁵. Y dado los problemas que se determinaron en estos sectores, se propone lo siguiente:

a.1. Consumo humano

- Reducir las pérdidas y posibilitar el control del consumo que realizan los diversos usuarios mediante la reparación de redes, eliminación de fugas e instalación de contadores individuales.
- En los municipios de Mixco, Villa Nueva y San Bartolomé Milpas Altas, se debe realizar una evaluación de la eficiencia del sistema de distribución, ya que existen pozos ubicados en zonas de baja recarga y alto tiempo de recuperación después de extraer agua, provocando esto un uso excesivo y no sostenible de los depósitos subterráneos del lugar (este es el caso de los pozos # 4, Villas de Buena Ventura, La Laguna y el ubicado en la 10 c. zona 2 en San José Villa Nueva).
- Reducir el consumo de agua, mediante programas de concienciación ciudadana que fomenten el buen uso de dicho recurso.

a.2. Riego

- Realizar estudios detallados sobre los requerimientos hídricos de los cultivos del área, principalmente arveja china.
- Considerar la instalación de estaciones meteorológicas al menos de tipo "C" o un tanque evaporímetro clase "A" tanto en la parte alta como en la parte media y baja del área de estudio, para contar con registros de evaporación y mas información climática y biofísica del lugar.
- Identificar, monitorear y evaluar los sistemas de riego en operación con el objetivo de mejorar su eficiencia.
- Darle un énfasis especial a los requerimientos de riego con el que se cuenta en el área, ya que el manto acuífero no es suficiente para suplir de esta necesidad a los campos de cultivo del área, para ello se deben implementar medidas provisionales de abastecimiento de agua para estos fines, tales como la

¹⁵ El cual crece a un 1.03 % anual según la oficina de planificación municipal de San Lucas Sacatepéquez y el INE 2002 -2003

utilización de “Aljibes” para captar el agua de lluvia u otras alternativas acordes a la situación social del lugar.

Eje 2: Contaminación

Para la implementación de medidas de manejo en torno a este eje, se propone los siguientes temas:

a. Calidad del agua.

- La calidad del agua se ve amenazada principalmente por contaminación bacteriológica, debido a que el área de protección de los manantiales es mínima o nula y en algunos casos la caja de captación de los proyectos de abastecimiento de agua para consumo humano se encuentra desprotegida, por lo que se propone lo siguiente:
 - Establecer un radio de protección a corrientes y fuentes de agua (50 m., mínimo) en donde no se permita ningún tipo de actividad antropogénica según INAB, 2003, (ver Cuadro 27).
 - Monitorear constantemente la calidad del agua de los manantiales captados, principalmente bacteriológica, 2 veces al año, en época seca y lluviosa.
 - Realizar análisis de plaguicidas a los manantiales captados.
 - Implementar sistemas de mantenimiento constante a las obras (caja de captación y tanque de distribución) de los sistemas de abastecimiento de agua.
 - Construir cajas de captación y estructuras de aforo en los manantiales encontrados en el área, para permitir el monitoreo y toma de información en futuras ocasiones, específicamente para los manantiales ubicados en el riachuelo San José en San Lucas Sacatepéquez.
 - Considerar la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la que puedan trabajar en conjunto los municipios y lugares poblados que mayor contaminación aportan a los cauces, siendo estos los siguientes: San Cristóbal, San Lucas Sacatepéquez, Peronia, Mixco y Ciudad Satélite.

b. Conservación de suelo y Agua.

Definir y homogenizar criterios de protección de suelo y agua con criterios mínimos de sostenibilidad en el manejo forestal; en este sentido el Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2003) define las zonas de protección forestal alrededor de cuerpos de agua, donde se menciona que la pendiente y profundidad del suelo son los factores principales en la incidencia de la erosión de los suelos por influencia del agua.

Cabe destacar que los suelos de los lugares con cobertura forestal se encuentran con profundidades efectivas menores a los 20 cm., tal es el caso de las unidades 9 y 13 (ver Figura 10 y 13) que poseen bosque y se ubican en Choacorrall y residenciales La Primavera respectivamente; así también las unidades 14, 16, 21 y 22 (ver Figura 10 y 13) donde se cultivan granos básicos, las unidades 18, 19, 23 y 24 (ver Figura 8) que se encuentran con escasa vegetación (ver Figura 9, 10 y 13) y las unidades 25 y 26 (ver Figura 10 y 13) que cuentan con cultivo de hortalizas de clima cálido.

Las anteriores unidades deben recibir consideraciones restrictivas debido a la poca profundidad efectiva, así también las zonas que presentan Muy alta recarga hídrica tal es el caso de las unidades 1, 3, 5, 10 y 13 que se encuentran en la parte alta de San Lucas Sacatepéquez, en Chicamán, Cerro Alux y Mixco, las unidades 24, 26 que se encuentran en la parte media ubicadas en la finca el Calvario en Villa Nueva y la unidad 32 (ver Figura 10 y 13) que se localiza en la arenera “El Carmen” que requiere de un tratamiento regenerativo de la cobertura vegetal ya que es altamente susceptible a la erosión hídrica, ocasionando conflictos en la época lluviosa a causa del arrastre de grandes cantidades de arena.

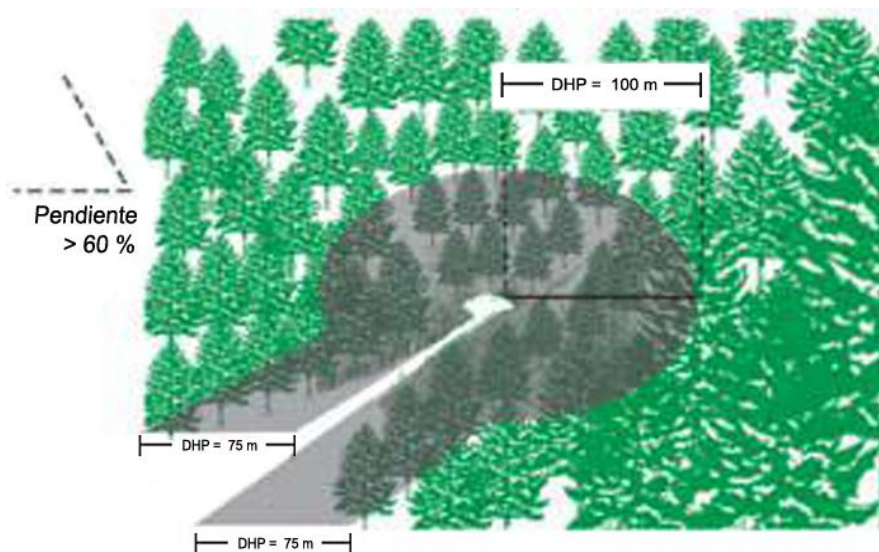
Para la protección de las unidades antes mencionadas, el INAB (2003) en sus “Consideraciones Técnicas y Propuestas de Manejo Forestal para conservación de Suelo y Agua”; propone los siguientes parámetros basados en una distancia horizontal mínima que se debe definir como zona de protección forestal en cada cuerpo de agua (ver Cuadro 27).

Cuadro 27. Distancia horizontal mínima para definir zonas de protección forestal en los cuerpos de agua (DHP)

Variable	Distancia horizontal mínima permisible (DHP)	
	Nacimientos	Ríos
Pendiente (%)		
≤ 32	50 m.	50 m.
32 – 60	75 m.	50 m.
≥ 60	100 m.	75 m.

Fuente: INAB, 2003 (Consideraciones técnicas y propuestas de manejo forestal para conservación de suelo y agua)

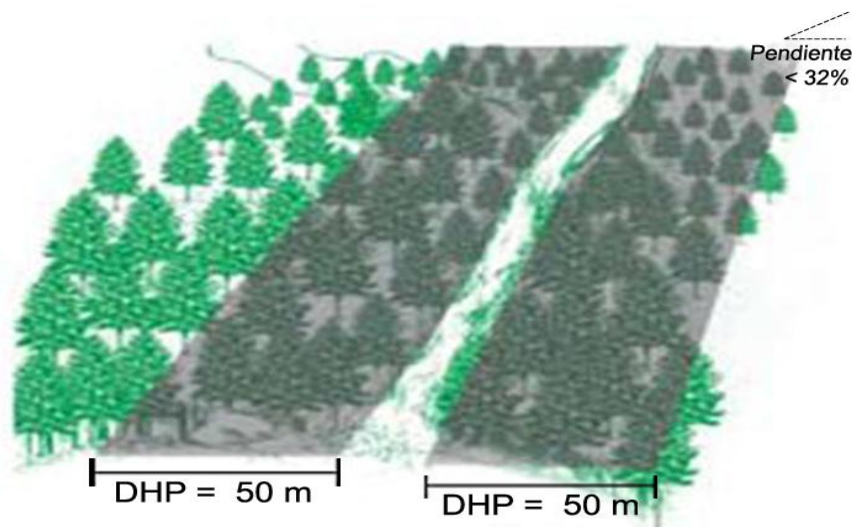
Del cuadro anterior se tiene que según la pendiente, el INAB plantea una distancia horizontal mínima como zona de protección a las fuentes de agua (DHP), lo cual se basa específicamente en los artículos 1 y 47 de la Ley Forestal y 35 de su Reglamento. A continuación se presenta de forma esquemática lo planteado en el cuadro anterior:



Fuente: INAB, 2003 (Consideraciones técnicas y propuestas de manejo forestal para conservación de suelo y agua)

Figura 15. Distancia horizontal mínima permisible -DHP- (Zona de protección forestal en nacimientos)

Se observa que se debe dejar un radio de 50 a 100 m., de zona de protección para los manantiales o nacimientos, esto según la pendiente. Así también se plantea una zona de protección para ríos, la cual se muestra en la siguiente figura:



Fuente: INAB, 2003 (Consideraciones técnicas y propuestas de manejo forestal para conservación de suelo y agua)

Figura 16. Distancia horizontal mínima permisible -DHP-(Zona de protección forestal en ríos).

Para la protección de los ríos y sus causas se estipula una distancia horizontal de 50 a 75 m. a lo largo de su cauce, esto variará según la pendiente (ver Cuadro 27).

Para un manejo sostenible y sustentable del suelo, planta y agua se propone poner en práctica estas medidas, como una herramienta que servirá para potencializar los beneficios de estos recursos naturales.

Eje 3. Infraestructura

- Implementar sistemas de tratamientos de residuos sólidos, como fosas sépticas o letrinas aboneras principalmente en las comunidades de Ciudad Satélite, Peronia, San Cristóbal, colonias privadas, San Lucas Sacatepéquez para disminuir la cantidad de desechos sólidos que arrastran los cauces de los ríos San Lucas y El Arenal.
- Implementar un sistema de recolección de basura accesible para toda la población de las áreas pobladas de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, para evitar la proliferación de basureros clandestinos y que la población vierta sus desechos a las fuentes de agua.

- Implementar sistemas de producción de biogás, para aprovechar los desechos y brindarle un pre-tratamiento a los mismos antes de inutilizarlos por completo, y así obtener una fuente alternativa y económica de energía, tal y como lo hacen países desarrollados como Brasil.

Eje 4. Capacitación

Es importante que la población tenga conciencia sobre el manejo de los recursos naturales y su interrelación, principalmente con el agua, así como del conocimiento de técnicas que sean sostenibles y adaptables a la región, por lo tanto, se propone a través de capacitaciones, talleres, charlas técnicas, etc., dirigidas a la población estudiantil de todas las edades, líderes comunitarios, grupos de mujeres, padres y madres de familia, enfatizando en los siguientes aspectos:

- Importancia del uso, manejo y conservación de los recursos agua, suelo y bosque, así como su interrelación en la recarga hídrica.
- Implementar programas escolares de educación ambiental.
- Importancia del uso eficiente del agua y sus repercusiones en el futuro.
- Técnicas agrícolas y forestales, como prácticas de conservación de suelos, agricultura orgánica, manejo integrado de plagas, extracción de productos forestales, entre otras.
- El ciclo hidrológico.
- La importancia de los bosques y su inter-relación Suelo-Agua-Planta.

Eje 5. Investigación

- Con el propósito de fortalecer el conocimiento de la situación actual de los recursos naturales en la microcuenca, es recomendable realizar investigaciones y otras actividades como las siguientes:
 - Continuar monitoreando el clima, considerar además la instalación de estaciones meteorológicas ubicadas principalmente en las partes media y baja de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.
 - Considerar la instalación de una estación hidrométrica en los cauces principales.

- Realizar estudios sobre flujos subterráneos de agua.
- Determinar la cantidad de sedimentos sólidos que se transportan en el agua de las corrientes de las dos microcuencas.

Eje 6. Organización Ambiental

Los lineamientos anteriores solo pueden ser posibles de implementar en la medida en que existe una organización local sólida, que promueva que se involucren todos los actores de la sociedad, tales como las autoridades municipales, educativas, así como los estudiantes, grupos organizados de personas, etc., y así estar en capacidad de promover la participación comunitaria y con capacidad de gestión para aprovechar las oportunidades del entorno social y natural de las microcuencas. Eso amerita algunas acciones específicas que deben encausarse hacia los líderes locales organizados en comités de agua, comités de desarrollo y alcaldías auxiliares.

Los aspectos a trabajar a este nivel deben incluir acciones en las esferas de la formación, la capacitación, la comunicación y la información bajo los siguientes lineamientos:

- Informar a la población y líderes locales de los resultados de este estudio, haciendo énfasis en el porqué del estudio, la necesidad del mismo y su utilidad como herramienta de planificación y gestión del recurso hídrico y de su aplicabilidad en el Plan de Ordenamiento Territorial promovido para los municipios que se encuentran dentro del área de estudio.
- Formación y concienciación a los líderes locales respecto a las implicaciones y tendencias del manejo actual del agua en las microcuencas. Esta acción debe buscar que la población por sí misma analice su futuro respecto a los recursos hídricos, reflexione sobre los “pros” o beneficios de mantener y mejorar las condiciones actuales de uso y manejo de la tierra y establezca propuestas diferentes de manejo más acordes con un uso y desarrollo sostenido de los recursos hídricos y forestales.
- Informar a líderes locales sobre las distintas leyes involucradas en el manejo de los recursos naturales en general y los recursos hídricos en particular. Una

acción de este tipo debe enfatizar en la comprensión local acerca del por qué se crean estas leyes y cuál es la situación de aplicación de las mismas en el país.

- Involucrar a grupos de jóvenes y niños en las actividades que promuevan el buen uso y conservación de los recursos, para que se conviertan en actores y promotores del desarrollo económico ambiental de sus comunidades.
- Capacitación a líderes en cuanto a tecnologías de manejo del agua: técnicas de conservación de agua, técnicas de cosecha de agua, usos productivos del agua.
- Promover el intercambio y las visitas hacia otras experiencias rurales de manejo del agua en diversos campos: manejo de aguas residuales, protección de fuentes de agua, conservación y cosecha de agua, reciclaje de aguas jabonosas, manejo del agua en sistemas de producción intensiva, aprovechamiento de caídas de agua para la generación de electricidad, la implementación de “Aljibes” para la cosecha de agua, entre otras.
- Impartir a los líderes comunitarios suficiente formación, información y capacitación que les permita tomar decisiones respecto a un plan local de manejo sostenible de los recursos hídricos y prolongar el potencial de recarga con el que cuenta el área en estudio.

El otro aspecto que no se debe descuidar, tiene que ver con dotar a los líderes de herramientas adecuadas de comunicación de la información, pues se debe garantizar que una vez informados, formados y capacitados, comuniquen el conocimiento hacia todas las comunidades de manera que las decisiones sean también el producto de la participación de todas las personas habitantes de las microcuencas.

8. CONCLUSIONES

1. Se estima que en el área de estudio se recarga de forma natural **150.24 mm**. de lámina de agua; esta cantidad corresponde a un almacenamiento de **9,402,700.09 m³** siendo el **13.39 %** del total de entradas por concepto de precipitación; esto indica que sí se logran cubrir las necesidades de evapotranspiración que se presentan en el área, dando como resultado un excedente tal que se recarga al manto freático; aunque por otro, lado el incremento del uso consuntivo del agua y la disminución constante de la recarga, limitan su disponibilidad para la población a corto, mediano y largo plazo.
2. Se ubican principalmente como áreas “críticas”¹⁶ y de Muy alta recarga, las que se encuentran principalmente en la parte alta y media del área en estudio, tal y como se afirma en la hipótesis planteada, estas se definen a continuación: Las unidades 1, 3, 5, 10 y 12 (ver Figura 10 y 13) ubicadas en el Cerro “Alux”, el caserío Chicamán y Choacorrall, del municipio de San Lucas Sacatepéquez. Estas cuentan con cobertura forestal; así también las unidades 24, 26 (ver Figura 10 y 13) que se ubican en áreas cercanas a la Finca “El Calvario” y el “Sector Martínez” en Villa Nueva, y de la misma manera la unidad 32, localizada en la arenera “El Carmen” donde actualmente se realiza extracción de materiales para construcción, (principalmente arena pómez).
3. La propuesta de lineamientos de manejo, busca brindar un aprovechamiento racional del recurso hídrico y la protección de las áreas de recarga hídrica delimitadas en este trabajo; así como mejorar las condiciones de cobertura forestal, enfatizar en el contexto político, social y cultural de las localidades que conforman el área de estudio, fortalecer la organización y la concienciación ambiental de la población y proteger el agua superficial y subterránea con la construcción o habilitación de infraestructura para el tratamiento y conducción de las aguas residuales, realizar investigación con el fin de inventariar la cantidad, disponibilidad y calidad de los recursos naturales del área en estudio; para la protección, manejo integral, sustentable y sostenible de los mismos, entre otras.

¹⁶ Según INAB (2003), son las áreas que al ser sometidas a algún factor modificador de su entorno, afectaría grandemente su capacidad de recarga hídrica natural.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Las áreas cubiertas con bosque y las delimitadas como de recarga hídrica significativa en este documento, deben ser manejadas conscientemente, para conservar las características que permitan mantener e incrementar la recarga hídrica a los acuíferos.
- ✓ Realizar en la zona, estudios detallados sobre geología y taxonomía de suelos, para disponer de información más puntual y actualizada en investigaciones futuras.
- ✓ Establecer áreas de protección para ríos y manantiales, principalmente los utilizados para consumo humano, basándose en lo propuesto en el Cuadro 27 de este capítulo.
- ✓ Implementar un programa de información y concienciación a los diversos sectores de la sociedad, enfocado principalmente al manejo del agua; así como capacitaciones sobre prácticas agrícolas, forestales y ambientales en general, enfocadas al manejo racional de los recursos y la preservación del medio ambiente.
- ✓ Utilizar de forma eficiente el agua para riego, ya que los requerimientos para la zona son altos y la cantidad de recarga actual (y futura), no es suficiente para suplir esta necesidad conjunta a los requerimientos sociales; ocasionando que la implementación de riego disminuya grandemente la disponibilidad de agua para consumo humano en la zona.
- ✓ Implementar monitoreos y regularizaciones para la extracción o aprovechamiento de agua; ya que según las cifras mencionadas en el inciso 7.3.1, la cantidad de recarga actual; no será suficiente para abastecer a las poblaciones del área en un corto, mediano y largo plazo. Así también existen pozos en los que la regeneración del nivel del agua es tardía, tal como el pozo # 4 de Villas de Buena Ventura, La Laguna y el ubicado en la 10 c. zona 2 en San José Villa Nueva.
- ✓ Mantener la cobertura forestal de las áreas con pendientes iguales o mayores a 45 %, para que por un lado se minimicen los efectos de la escorrentía y por el otro, se coadyuve a la cantidad de infiltración y/o recarga hídrica y puedan constituirse como bosques de protección.
- ✓ Implementar prácticas de conservación de suelos en el área para minimizar los efectos del agua de escorrentía y coadyuvar a que parte de esta pueda infiltrarse en el medio.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán, GT). 2000. Programa de saneamiento y manejo sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán (en línea). Guatemala. Consultado 15 de marzo de 2008. Disponible en: <http://www.iadb.org/EXR/doc98/pro/ugu0066.pdf>.
2. Apesa-Geoinformática, GT. 1992. Mapa de uso actual de la tierra, hoja G no. 2059 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
3. Asturias Hernández RM. 2006. Impacto del cambio del uso del suelo en el comportamiento del ciclo hidrológico de las microcuencas de los ríos San Lucas y Arenal, Guatemala, Guatemala. Tesis Licenciatura. Guatemala, USAC. 102 p.
4. Basterrechea Díaz, M. 1999. Dinámica física y planificación en cuencas. In: Taller Regional. Sobre Gestión Ambiental y Disminución de Vulnerabilidad a Desastres Naturales (1999, EV). San Salvador, El Salvador, SIECA / BID. 30 p
5. Cabrera, CA. 1997. Determinación de políticas de explotación de las aguas subterráneas para las aldeas de San José Pacul y Pachalí del municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 52 p.
6. CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central, GT). Boletín informativo: recopilación de información un servicio del CEPREDENAC. 30/06/2003 (en línea). Guatemala. Consultado 25 de marzo de 2008. Disponible en: <http://www.cepredenac.org>.
7. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1, tomo 1, 1157 p.
8. Fuentes Montepéque, JC. 2005. Determinación de principales áreas de recarga hídrica natural y de la calidad del agua en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz. Tesis Maestría. Guatemala, USAC. 199 p.
9. García Benítez S. 2006. Identificación de las áreas de recarga hídrica natural en la microcuenca del ríos Tzulbá, Joyabaj, el Quiché. Tesis Licenciatura. Guatemala, USAC. 163 p.
10. Herrera Ibáñez, IR. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
11. _____. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, UNA. 104 p.
12. _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 192 p.

13. _____. 2004. Estudio hidrogeológico de la parte norte de la caldera del lago de Atitlán, Guatemala. *In* Encuentro de estudiantes de maestría de la Red CARA (1, 2004, Escuintla, GT). Guatemala, Red CARA. 1 disco compacto 8 mm.
14. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. GUATEMALA. 2003. Consideraciones Técnicas y Propuesta de Normas de Manejo Forestal para la Conservación de Suelo y Agua. Instituto Nacional de Bosques. Editado en Guatemala, 34 p.
15. _____. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural. Instituto Nacional de Bosques. Editado en Guatemala, 106 p.
16. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1978. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. 4h. Color.
17. _____. 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Guatemala, No. 2012 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
18. Infancia con Futuro, US. 2003. Situación actual del lago de Amatitlán después del paso del huracán Mitch (en línea). Madrid, España. Consultado 25 abril de 2008. Disponible en: <http://www.infanciaconfuturo.org>.
19. Lerner, DN; Issar, AS; Simmers, I. 1990. Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge. Germany, Verlag Heinz Heise. v. 8, 345 p.
20. Lesser, JM. 2001. Décimo tercer curso internacional en contaminación de acuíferos: restauración de suelos y acuíferos con contaminantes orgánicos. México, UNAM. s.p. Custodio,
21. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw-Hill. 386 p.
22. López Bautista, D. 2005. Hidrogeología de la subcuenca del río Platanitos, Guatemala, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, UCR. 104 p.
23. MAGA-BID (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala a escala 1:250,000 . 48 p.
24. Maldonado Ramos, BR. 2004. Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos naturales, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 96 p.
25. Monzón, CM. 2004. Dinámica de cobertura forestal y urbana 1990-2001 en la región metropolitana del departamento de Guatemala. Guatemala, Revista Universidad del Valle de Guatemala no. 13:6-11.

26. Muñoz Palacios, C. 1998. La conceptualización e identificación de zonas de recarga hídrica prioritarias a nivel nacional. Guatemala. 45 p. (Proyecto FAO-GCP/GUA/007/NET)
27. Nittler, J; Barahona, R. 1993. El manejo de cuencas en el proyecto de desarrollo agrícola de Guatemala. Guatemala, MAGA. 92 p. (Proyecto de Desarrollo Agrícola G de G/AID520-0274 USAID).
28. Noriega Arriaga, JP. 2005. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibacá, Chiniqué, Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 72 p.
29. Padilla Cámara, 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 Mag. Sc. Costa Rica, UCR. 104 p.
30. Ridder, N de. 1994. Primer curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado: hidrogeología de los diferentes tipos de zonas llanas. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 33 p.
31. _____. 1995. Tercer curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado: análisis de balances hídricos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 44 p.
32. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
33. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central no. 23: 44-54.
_____. 2006. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos.- Revista Geológica de América Central, 34-35: 13-30.
34. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. P Tirado. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.
35. URL (Universidad Rafael Landívar, GT). 2004. Perfil ambiental de Guatemala: informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala, URL, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente. 461 p.
36. Vargas, A. 2002. Manantiales de una parte del Valle Central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central no. 27: 39-52.

11. APÉNDICES

Apéndice 1. Esquema de cilindro invertido.

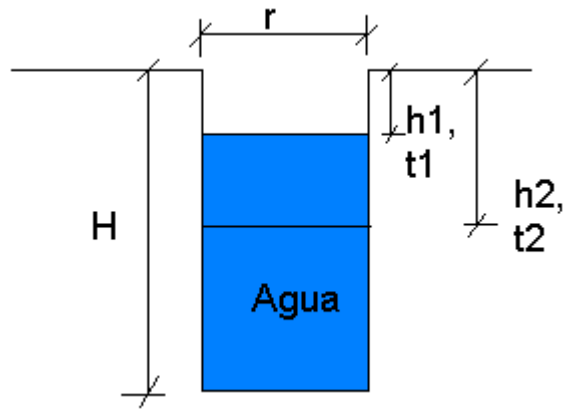


Figura 17A: Toma de datos para prueba de infiltración por el método del cilindro invertido (Porchet).

Apéndice 2. Punto de aforo



Figura 18A: Punto de aforo del cauce principal y toma de datos, río San Lucas.

Apéndice 3. Ubicación y caudales de pozos y manantiales

Cuadro 28A. Ubicación y caudal de manantiales aforados en las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

No.	Nombre de la Fuente de Agua	Categoría	Producción (m ³ /d)		Diferencial	Ubicación	Coordenadas UTM (WGS 1984)	
			Época Lluviosa	Época Estiaje			X	Y
1	Pozo # 1 (1 Av. "A")	Pozo	170	170	0	San Lucas Sacatepéquez	752295	1616783
2	Pozo # 2 (3ª. Calle)	Pozo	170	170	0	San Lucas Sacatepéquez	752292	1616961
3	Pozo # 3 La Suiza	Pozo	170	170	0	Finca La Suiza Contenta	752262	1617145
4	Pozo # 4 Instituto	Pozo	77	77	0	Instituto de San Lucas	752477	1616261
5	Pozo # 5	Pozo	148	148	0	Caserío Chicamán	753672	1616797
6	El Perol	Manantial	550	533	17	Quebrada el Perol	751930	1615024
7	La Ciénaga	Manantial	28	25.33	3	Cerro Alux	754430	1617307
8	Los Murciélagos	Manantial	45	43	2	Perímetro del área urbana	753734	1616989
9	Los Chocoyos,	Manantial	249	187	62	Choacorrall	753547	1614913
10	Del Cerro1,	Manantial	36	30	6	Choacorrall	754695	1616746
11	Del Cerro2,	Manantial	24	18.66	5	Choacorrall	754721	1616730
12	El Tacón	Manantial	60	59	1	Choacorrall	754836	1614317
13	Pozo de Choacorrall	Pozo	213	213	0	Choacorrall	753887	1615380
14	Pozo de Zorzoyá	Pozo	80	80	0	Zorzoya	754756	1613966
15	San José	Manantial	55	55	0	Quebrada el Perol	751849	1614809
16	Chic aman	Pozo	524	524	0	Caserío Chicamán	754430	1617307
17	Pozo "Otoniel Lara 1"	Pozo	No lo usan			La Embaulada	755059	1612435
18	Pozo "Otoniel Lara 2"	Pozo	No lo usan			La Embaulada	755059	1612475
19	Granja "Los Girasoles"	Pozo	No lo usan			La Embaulada	754907	1612177
20	Lot. "Entre Encinos"	Pozo	45.42	45.4	0	La Embaulada	754877	1612211
21	Casa "Shalon"	Pozo	No funciona			La Embaulada	754739	1611986
22	"Don Mario Fernández"	Pozo	No funciona			Carretera a Bárcena	754598	1612375
23	Finca "La Futura"	Pozo	No funciona			Carretera a Bárcena	754455	1612033
24	Chichorin 1	Manantial	622	581	41	Chichorin	751357	1615153
25	Chichorin 2	Manantial	209	173	36	Chichorin	751287	1615907
26	Vista Azul	Pozo	103.51	103.51	0	Residenciales "Vista Azul"	752214	1614112
27	San Lucas	Pozo	No fue posible tomar lectura			A la par de Chichorin	751327	1615581
28	Nacimiento 1	Manantial	83.88	83.88	0	Sector Martínez, Villanueva	758645	1613542
29	Nacimiento 2	Manantial	67.17	67.17	0	Sector Martínez, Villanueva	758043	1612850
30	Pozo No. 1	Pozo	794.86	794.86	0	San José Villa Nueva	759408	1609062
31	Pozo No. 2	Pozo	923.35	923.35	0	San José Villa Nueva	759410	1609061
32	Pozo No. 1	Pozo	Privado, no se tomó lectura			Finca Labor de Castilla.	754986	1616130
33	Pozo INDE	Pozo	140.92	140.92	0	San José Villa Nueva.	759947	1609382
34	Pozo Promisión II	Pozo	817.64	817.64	0	San José Villa Nueva	759416	1609062
35	Pozo # 1	Pozo	1,090.19	1,090.19	0	Bárcena, Villa Nueva	756948	1608943
36	Pozo # 2	Pozo	817.65	817.65	0	Bárcena, Villa Nueva	755972	1609796
37	Pozo # 3	Pozo	1,035.69	1,035.69	0	Bárcena, Villa Nueva	757126	1609266
38	Pozo # 4	Pozo	Privado, no se tomó lectura			Cerca de la Fragua	758363	1608259
39	Villas de Buenaventura	Pozo	Privado, no se tomó lectura			San José Villa Nueva	758643	1609854
40	10 calle Zona 2	Pozo	Privado, no se tomó lectura			San José Villa Nueva	759849	1610043
41	"La Laguna"	Pozo	182.6	182.6	0	San José Villa Nueva	759100	1610208
42	Mirador San Cristóbal	Pozo	953.92	953.92	0	Ciudad San Cristóbal	758882	1614196
43	Finca "La Esmeralda"	Pozo	1,008.43	1,008.4	0	La Embaulada	757038	1613678
Total producción diaria =			11,495.7	11,323.5				

Apéndice 5. Balances Hidrológicos de Suelos.

Cuadro 30A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 1
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 1

Uso actual de la tierra: Granos Basicos Maiz y Frijol

Estación climática: La Suiza Contenta

Textura del suelo: Franco arcillo arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	79.48			
Kp (0.01%)	0.06			
Kv (0.01%)	0.10			
Kfc (0.01%)	0.43		Por peso	
I (0.01%)	0.59		(%)	(mm)
DS (g/cm ³)	0.90	CC	39.91	179.60
PR (mm)	500	PM	35.70	160.65
HSi (mm)	179.60	CC-PM	4.21	18.95
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10			
Lluvia retenida	0.12			

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	5.30	2.90	13.62	35.34	133.82	217.37	178.65	230.20	220.71	213.97	49.91	5.52	1307.31
Ret (mm)	5.00	2.90	5.00	5.00	16.06	26.08	21.44	27.62	26.49	25.68	5.99	5.00	172.26
Pi (mm)	0.18	0.00	5.11	17.99	69.83	113.44	93.23	120.13	115.18	111.66	26.05	0.31	673.11
ESC (mm)	0.12	0.00	3.51	12.35	47.93	77.85	63.98	82.44	79.05	76.63	17.87	0.21	461.94
ETP (mm)	42.65	40.25	49.35	58.25	59.55	57.75	59.35	58.55	52.35	44.45	35.45	36.75	594.66
HSi (mm)	161.21	160.65	160.65	160.65	160.65	179.60	179.60	179.60	179.60	179.60	179.60	178.99	
C ₁	0.04	0.00	0.27	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.00	
HD (mm)	0.74	0.00	5.11	17.99	69.83	132.38	112.17	139.08	134.12	130.61	44.99	18.65	
ETR (mm)	0.74	0.00	5.11	17.99	45.94	57.75	59.35	58.55	52.35	44.45	26.65	18.08	386.96
HSf (mm)	160.65	160.65	160.65	160.65	179.60	179.60	179.60	179.60	179.60	179.60	178.99	161.21	
DCC (mm)	18.95	18.95	18.95	18.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	18.38	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	4.95	55.69	33.88	61.59	62.83	67.22	0.00	0.00	286.15
NR (mm)	60.85	59.19	63.18	59.20	13.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	37.04	302.47

Cuadro 31A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 2

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 2

Uso actual de la tierra: Hortalizas de clima templado

Estación climática: La Suiza Contenta

Textura del suelo: Franco arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	55.29		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.34		
I (0.01%)	0.50		
DS (g/cm ³)	0.90		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	100.4		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	37.20 100.4
		PM	33.70 91.0
		CC-PM	3.50 9.45

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	3.01	1.92	8.65	31.95	96.21	202.45	165.42	198.83	214.80	187.29	33.23	3.50	1147.26
Ret (mm)	3.01	1.92	5.00	5.00	11.55	24.29	19.85	23.86	25.78	22.47	5.00	3.50	151.23
Pi (mm)	0.00	0.00	1.82	13.47	42.32	89.05	72.76	87.46	94.48	82.38	14.11	0.00	497.86
ESC (mm)	0.00	0.00	1.83	13.48	42.35	89.11	72.81	87.51	94.54	82.43	14.12	0.00	498.17
ETP (mm)	44.58	42.18	51.28	60.18	61.48	59.68	61.28	60.48	54.28	46.38	37.38	38.68	617.84
HSi (mm)	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	100.4	100.4	100.4	100.4	100.4	100.4	95.9	
C ₁	0.00	0.00	0.19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	1.82	13.47	42.32	98.50	82.21	96.91	103.93	91.83	23.56	4.87	
ETR (mm)	0.00	0.00	1.82	13.47	30.74	59.68	61.28	60.48	54.28	46.38	18.69	4.87	351.69
HSf (mm)	91.0	91.0	91.0	91.0	100.4	100.4	100.4	100.4	100.4	100.4	95.9	91.0	
DCC (mm)	9.45	9.45	9.45	9.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.58	9.45	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	29.37	11.48	26.98	40.20	36.00	0.00	0.00	146.18
NR (mm)	54.03	51.63	58.90	56.16	30.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.27	43.26	317.98

Cuadro 32A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 3
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 3

Uso actual de la tierra: Bosque mixto

Estación climática: La Suiza Contenta

Textura del suelo: Franco

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	172.80		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.63		
I (0.01%)	0.79		
DS (g/cm ³)	0.88		
PR (mm)	1000		
HSi (mm)	292.60		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.20		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	33.25 292.60
		PM	23.55 207.24
		CC-PM	9.70 85.36

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.94	2.75	12.84	34.81	127.91	215.02	176.57	225.27	219.78	209.78	47.29	5.20	1282.16
Ret (mm)	4.94	2.75	5.00	6.96	25.58	43.00	35.31	45.05	43.96	41.96	9.46	5.00	268.98
Pi (mm)	0.00	0.00	6.16	21.89	80.43	135.21	111.03	141.65	138.20	131.91	29.74	0.16	796.37
ESC (mm)	0.00	0.00	1.68	5.96	21.90	36.81	30.23	38.56	37.62	35.91	8.10	0.04	216.81
ETP (mm)	42.67	40.27	49.37	58.27	59.57	57.77	59.37	58.57	52.37	44.47	35.47	36.77	594.99
HSi (mm)	260.84	240.74	228.67	223.49	228.23	264.27	292.60	292.60	292.60	292.60	292.60	288.05	
C ₁	0.63	0.39	0.32	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	
C ₂	0.31	0.21	0.14	0.14	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	0.54	
HD (mm)	53.60	33.50	27.59	38.13	101.42	192.24	196.39	227.01	223.56	217.27	115.10	80.97	
ETR (mm)	20.10	12.08	11.34	17.15	44.39	57.77	59.37	58.57	52.37	44.47	34.28	27.37	439.28
HSf (mm)	240.74	228.67	223.49	228.23	264.27	292.60	292.60	292.60	292.60	292.60	288.05	260.84	
DCC (mm)	51.86	63.93	69.11	64.37	28.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.55	31.76	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.10	51.65	83.08	85.83	87.44	0.00	0.00	357.10
NR (mm)	74.43	92.13	107.15	105.50	43.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.74	41.16	469.62

Cuadro 33A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 4
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 4
 Uso actual de la tierra: Hortalizas de clima templado
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco arcillo-arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente
 Kv: Factor por vegetación
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	53.91		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.33		
I (0.01%)	0.49		
DS (g/cm ³)	1.00		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	111.87		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	37.29 111.87
		PM	17.71 53.13
		CC-PM	19.58 58.74

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.64	2.62	12.19	34.36	123.01	213.08	174.85	221.19	219.01	206.31	45.12	4.94	1261.32
Ret (mm)	4.64	2.62	5.00	5.00	14.76	25.57	20.98	26.54	26.28	24.76	5.41	4.94	166.51
Pi (mm)	0.00	0.00	3.55	14.48	53.40	92.50	75.90	96.02	95.08	89.56	19.59	0.00	540.08
ESC (mm)	0.00	0.00	3.64	14.88	54.85	95.01	77.96	98.63	97.65	91.99	20.12	0.00	554.73
ETP (mm)	42.70	40.30	49.40	58.30	59.60	57.80	59.40	58.60	52.40	44.50	35.50	36.80	595.26
HSi (mm)	80.27	67.71	61.14	59.06	63.33	84.90	111.87	111.87	111.87	111.87	111.87	100.77	
C ₁	0.46	0.25	0.20	0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	
C ₂	0.13	0.08	0.03	0.00	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73	0.30	
HD (mm)	27.14	14.58	11.56	20.41	63.61	124.27	134.64	154.76	153.82	148.30	78.33	47.64	
ETR (mm)	12.56	6.57	5.63	10.20	31.83	57.80	59.40	58.60	52.40	44.50	30.69	20.49	390.67
HSf (mm)	67.71	61.14	59.06	63.33	84.90	111.87	111.87	111.87	111.87	111.87	100.77	80.27	
DCC (mm)	44.16	50.73	52.81	48.54	26.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.10	31.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.74	16.51	37.42	42.68	45.07	0.00	0.00	149.41
NR (mm)	74.29	84.45	96.58	96.63	54.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.91	47.90	470.49

Cuadro 34A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 5
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 5
 Uso actual de la tierra: Bosque mixto
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	43.20		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.28		
I (0.01%)	0.54		
DS (g/cm ³)	0.93		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	83.84		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	30.05 83.84
		PM	17.13 47.79
		CC-PM	12.92 36.05

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.42	2.52	11.71	34.03	119.34	211.63	173.56	218.13	218.44	203.70	43.49	4.74	1245.71
Ret (mm)	4.42	2.52	5.00	5.00	14.32	25.40	20.83	26.18	26.21	24.44	5.22	4.74	164.27
Pi (mm)	0.00	0.00	3.60	15.56	56.27	99.79	81.84	102.85	103.00	96.05	20.51	0.00	579.46
ESC (mm)	0.00	0.00	3.11	13.47	48.75	86.45	70.89	89.10	89.23	83.21	17.76	0.00	501.97
ETP (mm)	42.71	40.31	49.41	58.31	59.61	57.81	59.41	58.61	52.41	44.51	35.51	36.81	595.47
HSi (mm)	61.71	53.46	50.29	49.71	51.13	77.60	83.84	83.84	83.84	83.84	83.84	76.23	
C ₁	0.39	0.16	0.17	0.48	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	0.00	
HD (mm)	13.91	5.67	6.09	17.47	59.61	129.59	117.89	138.90	139.05	132.10	56.55	28.43	
ETR (mm)	8.24	3.17	4.18	14.13	29.81	57.81	59.41	58.61	52.41	44.51	28.12	14.52	374.94
HSf (mm)	53.46	50.29	49.71	51.13	77.60	83.84	83.84	83.84	83.84	83.84	76.23	61.71	
DCC (mm)	30.38	33.55	34.13	32.71	6.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.61	22.13	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.73	22.42	44.24	50.59	51.54	0.00	0.00	204.52
NR (mm)	64.85	70.69	79.37	76.89	36.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.01	44.43	387.28

Cuadro 35A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 6
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 6
 Uso actual de la tierra: Cultivos de clima templado
Estación climática: La suiza contenta
Textura del suelo: Franco

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente
 Kv: Factor por vegetación
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	47.69		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.09		
Kfc (0.01%)	0.30	Por peso	
I (0.01%)	0.45	(%) (mm)	
DS (g/cm ³)	0.95	CC	39.30 186.68
PR (mm)	500	PM	25.25 119.94
HSi (mm)	186.68	CC-PM	14.05 66.74
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.16		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.82	2.69	12.57	34.62	125.87	214.22	175.85	223.57	219.46	208.33	46.38	5.09	1273.47
Ret (mm)	4.82	2.69	5.00	5.54	20.14	34.28	28.14	35.77	35.11	33.33	7.42	5.00	217.24
Pi (mm)	0.00	0.00	3.42	13.13	47.74	81.25	66.70	84.80	83.24	79.02	17.59	0.04	476.93
ESC (mm)	0.00	0.00	4.15	15.95	57.99	98.69	81.02	103.00	101.11	95.98	21.37	0.05	579.30
ETP (mm)	42.68	40.28	49.38	58.28	59.58	57.78	59.38	58.58	52.38	44.48	35.48	36.78	595.10
HSi (mm)	152.16	138.14	130.47	127.38	130.39	149.37	178.83	186.38	186.68	186.68	186.68	173.54	
C ₁	0.48	0.27	0.21	0.31	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	
C ₂	0.17	0.11	0.05	0.04	0.09	0.79	0.99	1.00	1.00	1.00	0.73	0.36	
HD (mm)	32.22	18.21	13.95	20.58	58.20	110.68	125.59	151.24	149.98	145.76	84.33	53.64	
ETR (mm)	14.02	7.67	6.50	10.12	28.76	51.79	59.15	58.58	52.38	44.48	30.73	21.42	385.62
HSf (mm)	138.14	130.47	127.38	130.39	149.37	178.83	186.38	186.68	186.68	186.68	173.54	152.16	
DCC (mm)	48.53	56.20	59.29	56.28	37.31	7.85	0.30	0.00	0.00	0.00	13.14	34.51	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.92	30.86	34.53	0.00	0.00	91.31
NR (mm)	77.20	88.82	102.17	104.44	68.13	13.84	0.53	0.00	0.00	0.00	17.89	49.88	522.89

Cuadro 36A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 7
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 7
 Uso actual de la tierra: Bosque mixto disperso
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 K_p: Factor por pendiente
 K_v: Factor por vegetación
 K_{fc}: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	38.01		
K _p (0.01%)	0.06		
K _v (0.01%)	0.20		
K _{fc} (0.01%)	0.24		Por peso
I (0.01%)	0.50		(%) (mm)
DS (g/cm ³)	0.93		CC 35.35 164.38
PR (mm)	500		PM 28.86 134.20
HSi (mm)	164.38		CC-PM 6.49 30.18
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.16		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	3.82	2.27	10.41	33.15	109.56	207.74	170.12	209.97	216.90	196.76	39.15	4.21	1204.06
Ret (mm)	3.82	2.27	5.00	5.30	17.53	33.24	27.22	33.60	34.70	31.48	6.26	4.21	204.64
Pi (mm)	0.00	0.00	2.72	13.99	46.24	87.68	71.80	88.62	91.54	83.04	16.52	0.00	502.16
ESC (mm)	0.00	0.00	2.69	13.85	45.79	86.82	71.10	87.75	90.65	82.23	16.36	0.00	497.26
ETP (mm)	44.64	42.24	51.34	60.24	61.54	59.74	61.34	60.54	54.34	46.44	37.44	38.74	618.59
HSi (mm)	142.16	136.27	134.82	134.70	134.23	149.70	164.38	164.38	164.38	164.38	164.38	156.44	
C ₁	0.26	0.07	0.11	0.48	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.00	
HD (mm)	7.96	2.07	3.34	14.49	46.27	103.18	101.98	118.80	121.72	113.22	46.70	22.24	
ETR (mm)	5.89	1.45	2.84	14.46	30.77	59.74	61.34	60.54	54.34	46.44	24.47	14.27	376.56
HSf (mm)	136.27	134.82	134.70	134.23	149.70	164.38	164.38	164.38	164.38	164.38	156.44	142.16	
DCC (mm)	28.10	29.56	29.68	30.15	14.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.94	22.21	
R _p (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.26	10.46	28.08	37.20	36.60	0.00	0.00	125.61
NR (mm)	66.86	70.35	78.18	75.93	45.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.92	46.68	404.36

Cuadro 37A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 8
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 8
 Uso actual de la tierra: Granos Basicos Maiz y Frijol

Estación climática: La Suiza Contenta

Textura del suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	38.01		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.24		Por peso
I (0.01%)	0.40		(%) (mm)
DS (g/cm ³)	0.88		CC 24.86 65.63
PR (mm)	300		PM 14.46 38.17
HSi (mm)	65.63		CC-PM 10.40 27.46
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.06	2.37	10.93	33.50	113.43	209.28	171.48	213.20	217.51	199.51	40.87	4.42	1220.56
Ret (mm)	4.06	2.37	5.00	5.00	13.61	25.11	20.58	25.58	26.10	23.94	5.00	4.42	160.78
Pi (mm)	0.00	0.00	2.39	11.47	40.17	74.12	60.73	75.51	77.03	70.66	14.44	0.00	426.51
ESC (mm)	0.00	0.00	3.54	17.03	59.65	110.05	90.17	112.11	114.38	104.91	21.43	0.00	633.27
ETP (mm)	42.74	40.34	49.44	58.34	59.64	57.84	59.44	58.64	52.44	44.54	35.54	36.84	595.80
HSi (mm)	44.76	39.63	38.56	38.45	38.17	48.53	65.63	65.63	65.63	65.63	65.63	58.19	
C ₁	0.24	0.05	0.10	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	0.23	0.00	
HD (mm)	6.59	1.46	2.77	11.75	40.17	84.47	88.19	102.96	104.49	98.11	41.89	20.01	
ETR (mm)	5.13	1.07	2.50	11.75	29.82	56.97	59.44	58.64	52.44	44.54	21.88	13.43	357.60
HSf (mm)	39.63	38.56	38.45	38.17	48.53	65.63	65.63	65.63	65.63	65.63	58.19	44.76	
DCC (mm)	26.00	27.07	27.18	27.46	17.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.45	20.87	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.29	16.87	24.59	26.12	0.00	0.00	68.91
NR (mm)	63.61	66.34	74.12	74.05	46.93	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	21.11	44.29	391.31

Cuadro 38A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 9
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 9
 Uso actual de la tierra: Bosque Mixto
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco arcillo arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	26.26		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.15		
I (0.01%)	0.41		
DS (g/cm ³)	0.95		
PR (mm)	1000		
HSi (mm)	319.30		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.20		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	33.61 319.30
		PM	29.61 281.30
		CC-PM	4.00 38.00

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.36	2.50	11.59	33.95	118.43	211.26	173.24	217.36	218.29	203.05	43.08	4.69	1241.80
Ret (mm)	4.36	2.50	5.00	6.79	23.69	42.25	34.65	43.47	43.66	40.61	8.62	4.69	260.28
Pi (mm)	0.00	0.00	2.67	11.01	38.42	68.54	56.20	70.52	70.82	65.87	13.98	0.00	398.03
ESC (mm)	0.00	0.00	3.92	16.15	56.32	100.47	82.39	103.37	103.81	96.57	20.49	0.00	583.49
ETP (mm)	44.68	42.28	51.38	60.28	61.58	59.78	61.38	60.58	54.38	46.48	37.48	38.78	619.08
HSi (mm)	294.07	286.56	283.63	282.92	283.91	291.54	315.24	317.52	319.30	319.30	319.30	307.38	
C ₁	0.34	0.14	0.13	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.76	1.00	1.00	1.00	0.38	0.00	
HD (mm)	12.77	5.26	5.01	12.64	41.03	78.78	90.15	106.74	108.82	103.87	51.98	26.09	
ETR (mm)	7.51	2.93	3.39	10.02	30.79	44.84	53.92	60.58	54.38	46.48	25.89	13.31	354.04
HSf (mm)	286.56	283.63	282.92	283.91	291.54	315.24	317.52	319.30	319.30	319.30	307.38	294.07	
DCC (mm)	32.74	35.66	36.38	35.39	27.76	4.05	1.78	0.00	0.00	0.00	11.91	25.23	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.16	16.44	19.39	0.00	0.00	43.98
NR (mm)	69.91	75.02	84.37	85.65	58.55	19.00	9.23	0.00	0.00	0.00	23.51	50.70	475.93

Cuadro 39A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 10
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 10
 Uso actual de la tierra: Bosque Mixto
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	138.24		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.57		Por peso
I (0.01%)	0.83		(%) (mm)
DS (g/cm ³)	0.90	CC	33.68 303.12
PR (mm)	1000	PM	22.86 205.74
HSi (mm)	303.12	CC-PM	10.82 97.38
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.20		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.57	2.59	12.03	34.25	121.79	212.60	174.42	220.17	218.82	205.44	44.57	4.87	1256.12
Ret (mm)	4.57	2.59	5.00	6.85	24.36	42.52	34.88	44.03	43.76	41.09	8.91	4.87	263.44
Pi (mm)	0.00	0.00	5.85	22.79	81.04	141.46	116.06	146.50	145.60	136.70	29.66	0.00	825.66
ESC (mm)	0.00	0.00	1.18	4.61	16.39	28.62	23.48	29.63	29.45	27.65	6.00	0.00	167.02
ETP (mm)	42.70	40.30	49.40	58.30	59.60	57.80	59.40	58.60	52.40	44.50	35.50	36.80	595.33
HSi (mm)	269.96	247.97	234.11	227.00	231.31	268.16	303.12	303.12	303.12	303.12	303.12	298.34	
C ₁	0.66	0.43	0.35	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	
C ₂	0.37	0.25	0.17	0.18	0.48	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.59	
HD (mm)	64.22	42.23	34.22	44.05	106.61	203.89	213.44	243.88	242.98	234.08	127.04	92.60	
ETR (mm)	21.99	13.86	12.96	18.48	44.19	57.80	59.40	58.60	52.40	44.50	34.44	28.38	447.00
HSf (mm)	247.97	234.11	227.00	231.31	268.16	303.12	303.12	303.12	303.12	303.12	298.34	269.96	
DCC (mm)	55.15	69.01	76.12	71.81	34.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.78	33.16	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.71	56.66	87.90	93.20	92.20	0.00	0.00	378.66
NR (mm)	75.87	95.45	112.57	111.63	50.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.85	41.58	493.31

Cuadro 40A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 11
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 11
 Uso actual de la tierra: Centros poblados rurales
Estación climática: La Suiza contenta
Textura del suelo: Arcillo arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente
 Kv: Factor por vegetación
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	55.29		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.34		
I (0.01%)	0.50		
DS (g/cm ³)	1.00		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	74.61		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		

Por peso			
	(%)	(mm)	
CC	24.87	74.61	
PM	19.08	57.24	
CC-PM	5.79	17.37	

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.02	2.35	10.85	33.45	112.82	209.04	171.27	212.69	217.41	199.08	40.60	4.39	1217.97
Ret (mm)	4.02	2.35	5.00	5.00	13.54	25.08	20.55	25.52	26.09	23.89	5.00	4.39	160.44
Pi (mm)	0.00	0.00	2.92	14.22	49.63	91.95	75.34	93.56	95.63	87.57	17.79	0.00	528.61
ESC (mm)	0.00	0.00	2.93	14.23	49.66	92.01	75.38	93.61	95.69	87.62	17.81	0.00	528.93
ETP (mm)	44.66	42.26	51.36	60.26	61.56	59.76	61.36	60.56	54.36	46.46	37.46	38.76	618.77
HSi (mm)	57.24	57.24	57.24	57.24	57.24	74.61	74.61	74.61	74.61	74.61	74.61	73.68	
C ₁	0.00	0.00	0.17	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	2.92	14.22	49.63	109.32	92.71	110.93	113.00	104.94	35.16	16.44	
ETR (mm)	0.00	0.00	2.92	14.22	30.78	59.76	61.36	60.56	54.36	46.46	18.73	16.44	365.57
HSf (mm)	57.24	57.24	57.24	57.24	74.61	74.61	74.61	74.61	74.61	74.61	73.68	57.24	
DCC (mm)	17.37	17.37	17.37	17.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	17.37	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	32.19	13.98	33.00	41.28	41.11	0.00	0.00	163.04
NR (mm)	62.03	59.63	65.80	63.41	30.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.66	39.69	340.99

En este caso la recarga es 81.519 debido a que es un área con un uso de la tierra o cobertura que no se contempla en tabla por lo tanto se toma como el 50% del total de recarga

Cuadro 41A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 12
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 12
 Uso actual de la tierra: Cultivos de clima templado
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco arcillo arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	60.00		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.36		
I (0.01%)	0.62		
DS (g/cm ³)	1.14		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	157.66		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	27.66 157.66
		PM	22.74 129.62
		CC-PM	4.92 28.04

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	3.42	2.09	9.54	32.55	102.93	205.12	167.79	204.44	215.86	192.06	36.21	3.86	1175.87
Ret (mm)	3.42	2.09	5.00	5.00	12.35	24.61	20.13	24.53	25.90	23.05	5.00	3.86	154.95
Pi (mm)	0.00	0.00	2.82	17.11	56.24	112.08	91.69	111.71	117.95	104.95	19.38	0.00	633.94
ESC (mm)	0.00	0.00	1.72	10.44	34.33	68.42	55.97	68.19	72.00	64.06	11.83	0.00	386.98
ETP (mm)	44.61	42.21	51.31	60.21	61.51	59.71	61.31	60.51	54.31	46.41	37.41	38.71	618.22
HSi (mm)	136.45	131.02	129.96	129.89	129.62	155.11	157.66	157.66	157.66	157.66	157.66	151.66	
C ₁	0.24	0.05	0.11	0.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.36	0.00	
HD (mm)	6.83	1.40	3.16	17.38	56.24	137.57	119.73	139.76	146.00	132.99	47.42	22.04	
ETR (mm)	5.43	1.05	2.90	17.38	30.75	59.71	61.31	60.51	54.31	46.41	25.38	15.21	380.35
HSF (mm)	131.02	129.96	129.89	129.62	155.11	157.66	157.66	157.66	157.66	157.66	151.66	136.45	
DCC (mm)	26.65	27.70	27.77	28.04	2.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	21.22	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.82	30.38	51.20	63.64	58.54	0.00	0.00	253.58
NR (mm)	65.82	68.86	76.19	70.88	33.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.03	44.71	377.80

Cuadro 42A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 13
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 13
 Uso actual de la tierra: Bosque mixto denso
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arcillo arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	69.12		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.40		
I (0.01%)	0.66		
DS (g/cm ³)	0.93		
PR (mm)	1000		
HSi (mm)	212.69		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.20		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	22.87 212.69
		PM	17.01 158.19
		CC-PM	5.86 54.50

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	2.20	1.57	6.91	30.76	83.06	197.23	160.80	187.86	212.74	177.97	27.40	2.79	1091.29
Ret (mm)	2.20	1.57	5.00	6.15	16.61	39.45	32.16	37.57	42.55	35.59	5.48	2.79	227.12
Pi (mm)	0.00	0.00	1.26	16.18	43.68	103.72	84.56	98.79	111.87	93.59	14.41	0.00	568.04
ESC (mm)	0.00	0.00	0.65	8.43	22.77	54.07	44.08	51.50	58.32	48.79	7.51	0.00	296.13
ETP (mm)	45.62	46.35	55.90	62.40	69.00	65.30	74.00	67.00	60.90	55.80	46.60	44.10	692.94
HSi (mm)	176.89	167.79	163.10	161.19	166.39	177.23	212.69	212.69	212.69	212.69	212.69	194.26	
C ₁	0.34	0.18	0.11	0.35	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	
C ₂	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.41	0.13	
HD (mm)	18.69	9.59	6.16	19.18	51.88	122.75	139.06	153.29	166.37	148.09	68.91	36.07	
ETR (mm)	9.10	4.69	3.16	10.98	32.84	65.30	74.00	67.00	60.90	55.80	32.84	17.38	433.96
HSf (mm)	167.79	163.10	161.19	166.39	177.23	212.69	212.69	212.69	212.69	212.69	194.26	176.89	
DCC (mm)	44.90	49.59	51.50	46.30	35.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.43	35.81	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.96	10.56	31.79	50.97	37.79	0.00	0.00	134.07
NR (mm)	81.42	91.25	104.24	97.72	71.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.19	62.52	540.96

Cuadro 43A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 14
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 14
 Uso actual de la tierra: Granos Básicos/Maiz, Frijol
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente
 Kv: Factor por vegetación
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	28.68		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.17		
I (0.01%)	0.33		
DS (g/cm ³)	1.05		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	139.97		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		

		Por peso	
		(%)	(mm)
CC	26.66	139.97	
PM	20.39	107.05	
CC-PM	6.27	32.92	

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.82	1.41	6.07	30.19	76.74	194.72	158.57	182.59	211.75	173.48	24.60	2.45	1064.39
Ret (mm)	1.82	1.41	5.00	5.00	9.21	23.37	19.03	21.91	25.41	20.82	5.00	2.45	140.42
Pi (mm)	0.00	0.00	0.35	8.28	22.20	56.32	45.87	52.81	61.25	50.18	6.44	0.00	303.70
ESC (mm)	0.00	0.00	0.72	16.91	45.33	115.03	93.68	107.87	125.09	102.48	13.16	0.00	620.27
ETP (mm)	45.66	46.39	55.94	62.44	69.04	65.34	74.04	67.04	60.94	55.84	46.64	44.14	693.46
HSi (mm)	112.05	108.58	107.50	107.17	107.48	107.05	130.70	139.54	139.97	139.97	139.11	122.23	
C ₁	0.15	0.05	0.02	0.26	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.46	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	1.00	0.83	0.00	0.00	
HD (mm)	5.00	1.53	0.80	8.40	22.63	56.32	69.52	85.31	94.17	83.10	38.50	15.18	
ETR (mm)	3.47	1.08	0.68	7.97	22.63	32.67	37.02	52.12	60.94	51.04	23.32	10.18	303.12
HSf (mm)	108.58	107.50	107.17	107.48	107.05	130.70	139.54	139.97	139.97	139.11	122.23	112.05	
DCC (mm)	31.38	32.46	32.80	32.48	32.92	9.27	0.42	0.00	0.00	0.86	17.74	27.92	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.31	0.00	0.00	0.00	0.58
NR (mm)	73.58	77.77	88.05	86.96	79.33	41.94	37.44	14.92	0.00	5.66	41.06	61.88	608.58

Cuadro 44A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 15
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 15
 Uso actual de la tierra: Superficie de escasa vegetación

Estación climática: La ENCA

Textura del suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	17.28		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.04		
I (0.01%)	0.20		
DS (g/cm ³)	1.17		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	38.68		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	4		
Lluvia retenida	0.10		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	19.46 68.30
		PM	11.02 38.68
		CC-PM	8.44 29.62

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.67	1.34	5.75	29.97	74.29	193.75	157.71	180.55	211.36	171.75	23.52	2.32	1053.98
Ret (mm)	1.67	1.34	5.00	5.00	7.43	19.38	15.77	18.06	21.14	17.18	5.00	2.32	119.27
Pi (mm)	0.00	0.00	0.15	4.87	13.05	34.03	27.70	31.71	37.13	30.17	3.61	0.00	182.43
ESC (mm)	0.00	0.00	0.60	20.10	53.81	140.34	114.24	130.78	153.10	124.41	14.91	0.00	752.28
ETP (mm)	45.68	46.41	55.96	62.46	69.06	65.36	74.06	67.06	60.96	55.86	46.66	44.16	693.66
HSi (mm)	39.36	38.84	38.71	38.68	38.68	38.68	40.03	38.68	38.68	45.33	47.57	41.34	
C ₁	0.02	0.01	0.01	0.16	0.44	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	0.42	0.09	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.68	0.15	0.18	4.87	13.05	34.03	29.06	31.71	37.13	36.82	12.50	2.66	
ETR (mm)	0.52	0.12	0.17	4.87	13.05	32.68	29.06	31.71	30.48	27.93	9.84	1.98	182.42
HSf (mm)	38.84	38.71	38.69	38.68	38.68	40.03	38.68	38.68	45.33	47.57	41.34	39.36	
DCC (mm)	29.47	29.59	29.61	29.62	29.62	28.27	29.62	29.62	22.98	20.74	26.97	28.95	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	74.63	75.88	85.40	87.21	85.63	60.95	74.63	64.97	53.46	48.67	63.78	71.13	846.32

Cuadro 45A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 16
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 16
 Uso actual de la tierra: Granos Básicos/Maiz y Frijol
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	34.56		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.20		
I (0.01%)	0.36		
DS (g/cm ³)	1.00		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	129.95		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	25.99 129.95
		PM	20.91 104.55
		CC-PM	5.08 25.40

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.94	1.46	6.33	30.37	78.68	195.49	159.26	184.20	212.05	174.86	25.46	2.55	1072.65
Ret (mm)	1.94	1.46	5.00	5.00	9.44	23.46	19.11	22.10	25.45	20.98	5.00	2.55	141.49
Pi (mm)	0.00	0.00	0.48	9.13	24.93	61.93	50.45	58.35	67.18	55.40	7.37	0.00	335.22
ESC (mm)	0.00	0.00	0.85	16.24	44.31	110.10	89.70	103.74	119.43	98.48	13.09	0.00	595.94
ETP (mm)	45.65	46.38	55.93	62.43	69.03	65.33	74.03	67.03	60.93	55.83	46.63	44.13	693.30
HSi (mm)	105.79	104.68	104.56	104.55	104.55	104.55	129.95	129.95	129.95	129.95	129.95	114.00	
C ₁	0.05	0.00	0.02	0.36	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.37	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.66	1.00	0.98	0.00	0.00	
HD (mm)	1.24	0.13	0.49	9.13	24.93	61.93	75.85	83.75	92.58	80.80	32.77	9.45	
ETR (mm)	1.12	0.11	0.49	9.13	24.93	32.66	39.67	55.58	60.93	55.35	23.31	8.21	311.51
HSf (mm)	104.68	104.56	104.55	104.55	104.55	129.95	129.95	129.95	129.95	129.95	114.00	105.79	
DCC (mm)	25.27	25.39	25.40	25.40	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.95	24.16	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.87	10.78	2.77	6.25	0.04	0.00	0.00	23.71
NR (mm)	69.81	71.65	80.84	78.69	69.50	32.66	34.35	11.44	0.00	0.47	39.26	60.08	548.76

Cuadro 46A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 17
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 17
 Uso actual de la tierra: Area bajo invernadero
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	34.56		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.22		
I (0.01%)	0.38		
DS (g/cm ³)	1.00		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	133.80		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		

		Por peso	
		(%)	(mm)
CC	26.76	133.80	
PM	18.89	94.45	
CC-PM	7.87	39.35	

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	2.05	1.51	6.57	30.53	80.51	196.22	159.90	185.73	212.34	176.16	26.27	2.65	1080.44
Ret (mm)	2.05	1.51	5.00	5.00	9.66	23.55	19.19	22.29	25.48	21.14	5.00	2.65	142.51
Pi (mm)	0.00	0.00	0.59	9.64	26.75	65.20	53.13	61.71	70.55	58.53	8.03	0.00	354.14
ESC (mm)	0.00	0.00	0.98	15.89	44.10	107.48	87.58	101.73	116.31	96.49	13.24	0.00	583.79
ETP (mm)	45.64	46.36	55.91	62.41	69.01	65.31	74.01	67.01	60.91	55.81	46.61	44.11	693.15
HSi (mm)	104.83	98.81	96.24	95.14	96.59	98.01	127.69	132.19	132.77	133.80	133.80	118.07	
C ₁	0.26	0.11	0.06	0.26	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.31	0.82	1.00	1.00	0.02	0.00	
HD (mm)	10.38	4.36	2.38	10.33	28.89	68.75	86.37	99.46	108.88	97.88	47.38	23.62	
ETR (mm)	6.02	2.57	1.69	8.19	25.33	35.51	48.63	61.13	60.91	55.81	23.76	13.24	342.81
HSf (mm)	98.81	96.24	95.14	96.59	98.01	127.69	132.19	132.77	133.80	133.80	118.07	104.83	
DCC (mm)	34.99	37.56	38.66	37.21	35.79	6.11	1.61	1.03	0.00	0.00	15.73	28.97	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.61	2.72	0.00	0.00	11.33
NR (mm)	74.61	81.35	92.88	91.43	79.48	35.91	26.99	6.91	0.00	0.00	38.58	59.84	587.99

En este caso la recarga es 5.6655 debido a que es un área con un uso de la tierra o cobertura que no se contempla en tabla por lo tanto se toma como el 50% del total de recarga.

Cuadro 47A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 18
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 18

Uso actual de la tierra: Superficie de escasa vegetación

Estación climática: La ENCA

Textura del suelo: Franco arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	124.42		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.55		Por peso
I (0.01%)	0.71		(%) (mm)
DS (g/cm ³)	1.02	CC	22.23 68.02
PR (mm)	300	PM	16.36 50.06
HSi (mm)	68.02	CC-PM	5.87 17.96
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.10		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.93	1.46	6.32	30.36	78.57	195.45	159.22	184.12	212.04	174.78	25.42	2.55	1072.22
Ret (mm)	1.93	1.46	5.00	5.00	7.86	19.55	15.92	18.41	21.20	17.48	5.00	2.55	121.36
Pi (mm)	0.00	0.00	0.93	17.90	49.91	124.14	101.13	116.95	134.68	111.02	14.41	0.00	671.07
ESC (mm)	0.00	0.00	0.39	7.46	20.81	51.76	42.17	48.76	56.15	46.29	6.01	0.00	279.79
ETP (mm)	45.65	46.38	55.93	62.43	69.03	65.33	74.03	67.03	60.93	55.83	46.63	44.13	693.31
HSi (mm)	50.06	50.06	50.06	50.06	50.06	65.45	68.02	68.02	68.02	68.02	68.02	59.12	
C ₁	0.00	0.00	0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.93	17.90	49.91	139.54	119.09	134.91	152.64	128.98	32.37	9.06	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.93	17.90	34.51	65.33	74.03	67.03	60.93	55.83	23.31	9.06	408.86
HSf (mm)	50.06	50.06	50.06	50.06	65.45	68.02	68.02	68.02	68.02	68.02	59.12	50.06	
DCC (mm)	17.96	17.96	17.96	17.96	2.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90	17.96	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.25	27.10	49.92	73.75	55.19	0.00	0.00	262.21
NR (mm)	63.61	64.34	72.96	62.49	37.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.22	53.03	385.73

En este caso la recarga es 131.1 debido a que es un área con un uso de la tierra o cobertura que no se contempla en tabla por lo tanto se toma como el 50% del total de recarga.

Cuadro 48A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 19
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 19

Uso actual de la tierra: Superficie de escasa vegetación degradada

Estación climática: La ENCA

Textura del suelo: Franco arcillo arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	76.03		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.42		
I (0.01%)	0.58		
DS (g/cm ³)	0.90		
PR (mm)	300.00		
HSi (mm)	68.69		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.10		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	25.44 68.69
		PM	16.49 44.52
		CC-PM	8.95 24.17

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.57	1.30	5.53	29.83	72.66	193.10	157.14	179.19	211.11	170.59	22.79	2.23	1047.04
Ret (mm)	1.57	1.30	5.00	5.00	7.27	19.31	15.71	17.92	21.11	17.06	5.00	2.23	118.48
Pi (mm)	0.00	0.00	0.31	14.44	38.04	101.09	82.27	93.81	110.52	89.31	10.35	0.00	540.15
ESC (mm)	0.00	0.00	0.22	10.39	27.35	72.70	59.16	67.46	79.48	64.22	7.44	0.00	388.41
ETP (mm)	45.69	46.42	55.97	62.47	69.07	65.37	74.07	67.07	60.97	55.87	46.67	44.17	693.79
HSi (mm)	45.49	44.58	44.53	44.52	44.52	48.03	68.69	68.69	68.69	68.69	68.69	55.70	
C ₁	0.04	0.00	0.01	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.46	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.96	0.05	0.31	14.44	38.04	104.60	106.43	117.98	134.69	113.47	34.51	11.18	
ETR (mm)	0.91	0.05	0.31	14.44	34.53	65.37	74.07	67.07	60.97	55.87	23.33	10.22	407.14
HSf (mm)	44.58	44.53	44.52	44.52	48.03	68.69	68.69	68.69	68.69	68.69	55.70	45.49	
DCC (mm)	24.11	24.16	24.17	24.17	20.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.99	23.20	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.07	8.20	26.74	49.55	33.44	0.00	0.00	133.00
NR (mm)	68.89	70.53	79.82	72.19	55.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.32	57.15	440.10

En este caso la recarga es 66.502 debido a que es un área con un uso de la tierra o cobertura que no se contempla en tabla por lo tanto se toma como el 50% del total de recarga.

Cuadro 49A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 20
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 20
 Uso actual de la tierra: Granos Básicos/Maiz, Frijol
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	9.33		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.01		
I (0.01%)	0.17		
DS (g/cm ³)	0.93		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	93.4		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		

		Por peso	
		(%)	(mm)
CC	25.88	120.3	
PM	20.08	93.37	
CC-PM	5.80	26.97	

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.97	1.47	6.40	30.41	79.19	195.69	159.43	184.63	212.13	175.22	25.69	2.58	1074.81
Ret (mm)	1.97	1.47	5.00	5.00	9.50	23.48	19.13	22.16	25.46	21.03	5.00	2.58	141.77
Pi (mm)	0.00	0.00	0.24	4.28	11.75	29.04	23.66	27.40	31.48	26.00	3.49	0.00	157.34
ESC (mm)	0.00	0.00	1.16	21.13	57.94	143.17	116.64	135.08	155.20	128.19	17.20	0.00	775.70
ETP (mm)	47.99	49.87	59.60	65.21	73.78	69.37	80.73	71.41	65.35	61.29	52.02	48.10	744.72
HSi (mm)	93.4	93.4	93.4	93.37	93.37	93.37	93.37	93.37	93.37	93.4	93.4	93.5	
C ₁	0.00	0.00	0.01	0.16	0.44	1.00	0.88	1.00	1.00	0.96	0.13	0.00	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.01	0.00	0.24	4.28	11.75	29.04	23.66	27.40	31.48	26.00	3.49	0.12	
ETR (mm)	0.01	0.00	0.24	4.28	11.75	29.04	23.66	27.40	31.48	26.00	3.36	0.11	157.34
HSf (mm)	93.4	93.4	93.37	93.37	93.37	93.37	93.37	93.37	93.4	93.4	93.5	93.4	
DCC (mm)	26.97	26.97	26.97	26.97	26.97	26.97	26.97	26.97	26.97	26.97	26.85	26.96	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	74.95	76.84	86.33	87.90	89.00	67.30	84.04	70.98	60.84	62.26	75.50	74.95	910.88

Cuadro 50A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 21
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 21

Uso actual de la tierra: Superficie de escasa vegetación/degradada

Estación climática: La ENCA

Textura del suelo: Franco arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	21.42		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.09		
I (0.01%)	0.25		
DS (g/cm ³)	0.93		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	95.36		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.10		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	34.18 95.36
		PM	26.66 74.38
		CC-PM	7.52 20.98

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.99	1.48	6.44	30.44	79.49	195.81	159.54	184.88	212.18	175.44	25.82	2.60	1076.11
Ret (mm)	1.99	1.48	5.00	5.00	7.95	19.58	15.95	18.49	21.22	17.54	5.00	2.60	121.80
Pi (mm)	0.00	0.00	0.36	6.41	18.02	44.39	36.17	41.91	48.10	39.77	5.24	0.00	240.37
ESC (mm)	0.00	0.00	1.08	19.03	53.52	131.84	107.42	124.48	142.86	118.13	15.58	0.00	713.94
ETP (mm)	45.64	46.37	55.92	62.42	69.02	65.32	74.02	67.02	60.92	55.82	46.62	44.12	693.23
HSi (mm)	74.38	74.38	74.38	74.38	74.38	74.38	86.11	85.26	93.66	95.36	95.36	77.30	
C ₁	0.00	0.00	0.02	0.31	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.23	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.36	6.41	18.02	44.39	47.89	52.79	67.38	60.75	26.22	2.91	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.36	6.41	18.02	32.66	37.01	33.51	39.84	34.47	23.31	2.91	228.50
HSf (mm)	74.38	74.38	74.38	74.38	74.38	86.11	85.26	93.66	95.36	95.36	77.30	74.38	
DCC (mm)	20.98	20.98	20.98	20.98	20.98	9.25	10.10	1.70	0.00	0.00	18.07	20.98	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.56	5.30	0.00	0.00	11.86
NR (mm)	66.62	67.35	76.54	76.99	71.98	41.91	47.11	35.21	21.08	21.35	41.38	62.19	629.73

En este caso la recarga es **5.93** debido a que es un área con un uso de la tierra o cobertura que no se contempla en tabla por lo tanto se toma como el 50 % del total de recarga.

Cuadro 51A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 22
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 22
 Uso actual de la tierra: Superficie de escasa vegetación
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arcillosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	34.56		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.22		
I (0.01%)	0.38		
DS (g/cm ³)	0.95		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	103.77		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.10		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	36.41 103.77
		PM	30.08 85.73
		CC-PM	6.33 18.04

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	0.80	0.97	3.88	28.70	60.13	188.13	152.73	168.73	209.14	161.70	17.24	1.56	993.71
Ret (mm)	0.80	0.97	3.88	5.00	6.01	18.81	15.27	16.87	20.91	16.17	5.00	1.56	111.27
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	8.95	20.43	63.93	51.90	57.34	71.07	54.95	4.62	0.00	333.19
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	14.75	33.68	105.39	85.56	94.52	117.16	90.58	7.62	0.00	549.25
ETP (mm)	45.78	46.50	56.05	62.55	69.15	65.45	74.15	67.15	61.05	55.95	46.75	44.25	694.82
HSi (mm)	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	103.77	103.77	103.77	103.77	103.77	85.73	
C ₁	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	1.00	0.94	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	8.95	20.43	63.93	69.94	75.38	89.11	72.99	22.66	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	8.95	20.43	32.73	37.08	48.88	61.05	54.39	22.66	0.00	286.18
HSf (mm)	85.73	85.73	85.73	85.73	85.73	103.77	103.77	103.77	103.77	103.77	85.73	85.73	
DCC (mm)	18.04	18.04	18.04	18.04	18.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.04	18.04	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.16	14.82	8.45	10.02	0.55	0.00	0.00	47.01
NR (mm)	63.82	64.54	74.10	71.65	66.76	32.73	37.08	18.27	0.00	1.56	42.13	62.30	534.93

Cuadro 52A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 23
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 23

Uso actual de la tierra: Superficie de escasa vegetación

Estación climática: La ENCA

Textura del suelo: Arcillosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de campo

PM: Punto de marchites

PR: Profundidad de raíces

(CC-PM): Rango de agua disponible

DS: Densidad de suelo

C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

K_p: Factor por pendiente

K_v: Factor por vegetación

K_{fc}: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual

Pi: Precipitación que infiltra

ESC: Escorrentía superficial

ETP: Evapotranspiración potencial

ETR: Evapotranspiración real

HSi: Humedad de suelo inicial

HD: Humedad disponible

HSf: Humedad de suelo final

DCC: Déficit de capacidad de campo

R_p: Recarga potencial

NR: Necesidad de riego

Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d) 48.38

K_p (0.01%) 0.06

K_v (0.01%) 0.10

K_{fc} (0.01%) 0.31

I (0.01%) 0.47

DS (g/cm³) 1.00

PR (mm) 300

HSi (mm) 83.43

No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 10

Lluvia retenida 0.10

Por peso

(%) (mm)

CC 27.81 83.43

PM 22.22 66.66

CC-PM 5.59 16.77

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	0.62	0.90	3.49	28.43	57.17	186.96	151.69	166.26	208.68	159.60	15.93	1.40	981.13
Ret (mm)	0.62	0.90	3.49	5.00	5.72	18.70	15.17	16.63	20.87	15.96	5.00	1.40	109.45
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	10.90	23.94	78.29	63.52	69.62	87.38	66.83	5.09	0.00	405.56
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	12.53	27.51	89.98	73.00	80.01	100.43	76.81	5.84	0.00	466.12
ETP (mm)	45.80	46.52	56.07	62.57	69.17	65.47	74.17	67.17	61.07	55.97	46.77	44.27	695.07
HSi (mm)	66.66	66.66	66.66	66.66	66.66	66.66	83.43	83.43	83.43	83.43	83.43	66.66	
C ₁	0.00	0.00	0.00	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.36	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	10.90	23.94	78.29	80.29	86.39	104.15	83.60	21.86	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	10.90	23.94	57.75	50.61	67.17	61.07	55.97	21.86	0.00	349.28
HSf (mm)	66.66	66.66	66.66	66.66	66.66	83.43	83.43	83.43	83.43	83.43	66.66	66.66	
DCC (mm)	16.77	16.77	16.77	16.77	16.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.77	16.77	
R _p (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.77	12.91	2.44	26.31	10.86	0.00	0.00	56.29
NR (mm)	62.57	63.29	72.84	68.44	62.01	7.73	23.57	0.00	0.00	0.00	41.69	61.04	463.18

En este caso la recarga es 28.143 debido a que es un área con un uso de la tierra o cobertura que no se contempla en tabla por lo tanto se toma como el 50% del total de recarga.

Cuadro 53A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 24
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 24
 Uso actual de la tierra: Cultivos de clima templado
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	152.06		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.60		
I (0.01%)	0.86		
DS (g/cm ³)	1.05		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	147.21		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.10		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	28.04 147.21
		PM	21.60 113.40
		CC-PM	6.44 33.81

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	0.17	0.70	2.50	27.76	49.73	184.00	149.07	160.05	207.51	154.33	12.63	1.00	949.45
Ret (mm)	0.17	0.70	2.50	5.00	5.00	18.40	14.91	16.01	20.75	15.43	5.00	1.00	104.87
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	19.46	38.25	141.60	114.72	123.17	159.69	118.77	6.52	0.00	722.17
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	3.30	6.48	24.00	19.45	20.88	27.07	20.13	1.11	0.00	122.41
ETP (mm)	47.80	48.52	58.07	64.57	71.17	67.47	76.17	69.17	63.07	57.97	48.77	46.27	719.06
HSi (mm)	118.43	114.88	113.82	113.46	114.28	116.94	147.21	147.21	147.21	147.21	147.21	129.35	
C ₁	0.15	0.04	0.01	0.58	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	5.03	1.48	0.42	19.52	39.13	145.14	148.53	156.98	193.50	152.58	40.33	15.95	
ETR (mm)	3.56	1.06	0.36	18.64	35.59	67.47	76.17	69.17	63.07	57.97	24.39	10.91	428.37
HSf (mm)	114.88	113.82	113.46	114.28	116.94	147.21	147.21	147.21	147.21	147.21	129.35	118.43	
DCC (mm)	32.33	33.39	33.75	32.93	30.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.86	28.78	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.85	38.54	53.99	96.62	60.79	0.00	0.00	293.80
NR (mm)	76.57	80.86	91.47	78.86	65.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.25	64.14	500.00

Cuadro 54A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 25
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 25
 Uso actual de la tierra: Cultivos de clima templado
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente
 Kv: Factor por vegetación
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	31.79		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.20		
I (0.01%)	0.46		
DS (g/cm ³)	1.02		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	108.99		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	21.37 108.99
		PM	18.48 94.25
		CC-PM	2.89 14.74

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	0.66	0.91	3.55	28.48	57.68	187.16	151.87	166.69	208.76	159.96	16.15	1.42	983.29
Ret (mm)	0.66	0.91	3.55	5.00	6.92	22.46	18.22	20.00	25.05	19.20	5.00	1.42	128.39
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	10.70	23.13	75.05	60.90	66.85	83.72	64.15	5.08	0.00	389.57
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	12.78	27.63	89.65	72.74	79.84	99.99	76.62	6.07	0.00	465.32
ETP (mm)	45.79	46.52	56.07	62.57	69.17	65.47	74.17	67.17	61.07	55.97	46.77	44.27	695.03
HSi (mm)	94.25	94.25	94.25	94.25	94.25	94.25	108.99	108.99	108.99	108.99	108.99	94.25	
C ₁	0.00	0.00	0.00	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.10	0.98	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	10.70	23.13	75.05	75.64	81.58	98.45	78.89	19.82	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	10.70	23.13	54.02	40.78	66.43	61.07	55.97	19.82	0.00	331.92
HSf (mm)	94.25	94.25	94.25	94.25	94.25	108.99	108.99	108.99	108.99	108.99	94.25	94.25	
DCC (mm)	14.74	14.74	14.74	14.74	14.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.74	14.74	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	20.12	0.42	22.64	8.17	0.00	0.00	57.65
NR (mm)	60.53	61.26	70.81	66.61	60.78	11.45	33.39	0.74	0.00	0.00	41.69	59.01	466.28

Cuadro 55A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 26
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 26
Uso actual de la tierra: Cultivos anuales

Estación climática: La ENCA

Textura del suelo: Arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	103.68		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.50		
I (0.01%)	0.76		
DS (g/cm ³)	1.25		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	94.05		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	25.08 94.05
		PM	17.94 67.28
		CC-PM	7.14 26.78

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.06	1.08	4.43	29.07	64.30	189.79	154.20	172.21	209.80	164.66	19.09	1.78	1011.47
Ret (mm)	1.06	1.08	4.43	5.00	7.72	22.77	18.50	20.67	25.18	19.76	5.00	1.78	132.95
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	18.30	43.02	126.98	103.16	115.21	140.36	110.16	10.71	0.00	667.91
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	5.77	13.57	40.04	32.53	36.33	44.26	34.74	3.38	0.00	210.62
ETP (mm)	45.75	46.48	56.03	62.53	69.13	65.43	74.13	67.13	61.03	55.93	46.73	44.23	694.48
HSi (mm)	69.73	67.63	67.32	67.28	67.28	75.73	94.05	94.05	94.05	94.05	94.05	81.40	
C ₁	0.09	0.01	0.00	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.53	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	2.46	0.36	0.05	18.30	43.02	135.43	129.94	141.99	167.14	136.94	37.49	14.12	
ETR (mm)	2.10	0.31	0.05	18.30	34.56	65.43	74.13	67.13	61.03	55.93	23.36	11.66	413.98
HSf (mm)	67.63	67.32	67.28	67.28	75.73	94.05	94.05	94.05	94.05	94.05	81.40	69.73	
DCC (mm)	26.42	26.73	26.78	26.78	18.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.65	24.32	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.23	29.04	48.09	79.34	54.24	0.00	0.00	253.93
NR (mm)	70.06	72.89	82.75	71.00	52.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.01	56.88	442.48

Cuadro 56A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 27
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 27
 Uso actual de la tierra: Cultivos de clima templado
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente
 Kv: Factor por vegetación
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	26.61		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.15		Por peso
I (0.01%)	0.41		(%) (mm)
DS (g/cm ³)	1.05	CC	16.09 84.5
PR (mm)	500	PM	11.37 59.7
HSi (mm)	84.5	CC-PM	4.72 24.78
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.10	2.38	11.01	33.56	114.04	209.52	171.70	213.71	217.60	199.94	41.14	4.46	1223.16
Ret (mm)	4.10	2.38	5.00	5.00	13.68	25.14	20.60	25.65	26.11	23.99	5.00	4.46	161.12
Pi (mm)	0.00	0.00	2.46	11.68	41.05	75.41	61.80	76.92	78.32	71.96	14.78	0.00	434.38
ESC (mm)	0.00	0.00	3.55	16.88	59.31	108.97	89.30	111.15	113.17	103.98	21.36	0.00	627.66
ETP (mm)	44.66	42.26	51.36	60.26	61.56	59.76	61.36	60.56	54.36	46.46	37.46	38.76	618.84
HSi (mm)	63.9	60.1	59.8	59.7	59.7	70.0	84.5	84.5	84.5	84.5	84.5	78.9	
C ₁	0.17	0.02	0.10	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.08	0.00	
HD (mm)	4.19	0.41	2.52	11.68	41.05	85.68	86.58	101.70	103.10	96.74	39.56	19.24	
ETR (mm)	3.78	0.35	2.52	11.68	30.78	59.76	61.36	60.56	54.36	46.46	20.32	15.05	366.99
HSf (mm)	60.1	59.8	59.7	59.7	70.0	84.5	84.5	84.5	84.5	84.5	78.9	63.9	
DCC (mm)	24.37	24.72	24.78	24.78	14.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.54	20.59	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14	0.44	16.36	23.96	25.50	0.00	0.00	67.39
NR (mm)	65.25	66.63	73.62	73.36	45.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.68	44.30	391.13

Cuadro 57A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 28
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 28
 Uso actual de la tierra: Bosque mixto
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	62.20		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.37		
I (0.01%)	0.53		
DS (g/cm ³)	1.00		
PR (mm)	1000		
HSi (mm)	245.2		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.20		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	24.52 245.2
		PM	17.75 177.50
		CC-PM	6.77 67.70

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.97	1.47	6.41	30.42	79.29	195.73	159.47	184.71	212.15	175.29	25.73	2.59	1075.23
Ret (mm)	1.97	1.47	5.00	6.08	15.86	39.15	31.89	36.94	42.43	35.06	5.15	2.59	223.59
Pi (mm)	0.00	0.00	0.75	12.90	33.63	83.02	67.64	78.35	89.99	74.35	10.91	0.00	451.56
ESC (mm)	0.00	0.00	0.66	11.43	29.80	73.56	59.93	69.42	79.73	65.88	9.67	0.00	400.08
ETP (mm)	45.64	46.37	55.92	62.42	69.02	65.32	74.02	67.02	60.92	55.82	46.62	44.12	693.25
HSi (mm)	202.3	191.2	185.0	181.77	186.14	198.22	230.05	235.44	245.20	245.2	245.2	221.8	
C ₁	0.37	0.20	0.12	0.25	0.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.65	
C ₂	0.12	0.06	0.02	0.02	0.00	0.57	0.68	1.00	1.00	1.00	0.47	0.23	
HD (mm)	24.83	13.73	8.30	17.18	42.27	103.75	120.19	136.29	157.69	142.05	78.61	44.29	
ETR (mm)	11.10	6.18	4.02	8.54	21.55	51.20	62.25	67.02	60.92	55.82	34.33	19.46	402.40
HSf (mm)	191.2	185.0	181.77	186.14	198.22	230.05	235.44	245.20	245.2	245.2	221.8	202.3	
DCC (mm)	53.97	60.15	63.43	59.06	46.98	15.15	9.76	0.00	0.00	0.00	23.41	42.87	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57	29.07	18.53	0.00	0.00	49.17
NR (mm)	88.52	100.34	115.33	112.95	94.45	29.27	21.53	0.00	0.00	0.00	35.71	67.54	665.63

Cuadro 58A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 29
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 29
 Uso actual de la tierra: Cultivos de clima templado
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Franco arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 Kp: Factor por pendiente
 Kv: Factor por vegetación
 Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	11.40		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.01		Por peso
I (0.01%)	0.27		(%) (mm)
DS (g/cm ³)	0.83	CC	15.73 65.28
PR (mm)	500	PM	9.81 40.71
HSi (mm)	65.28	CC-PM	5.92 24.57
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	0.18	0.71	2.53	27.78	49.93	184.08	149.15	160.22	207.54	154.47	12.72	1.01	950.32
Ret (mm)	0.18	0.71	2.53	5.00	5.99	22.09	17.90	19.23	24.90	18.54	5.00	1.01	123.08
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	6.16	11.89	43.83	35.51	38.15	49.41	36.78	2.09	0.00	223.81
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	16.62	32.05	118.16	95.74	102.85	133.22	99.16	5.63	0.00	603.44
ETP (mm)	47.80	48.52	58.08	64.58	71.18	67.48	76.18	69.18	63.08	57.98	48.78	46.28	719.08
HSi (mm)	40.84	40.72	40.71	40.71	40.71	40.71	50.80	48.22	51.78	65.28	65.28	42.98	
C ₁	0.01	0.00	0.00	0.25	0.48	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.09	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	
HD (mm)	0.13	0.00	0.00	6.16	11.89	43.83	45.60	45.65	60.48	61.34	26.66	2.27	
ETR (mm)	0.13	0.00	0.00	6.16	11.89	33.74	38.09	34.59	31.54	32.96	24.39	2.14	215.62
HSf (mm)	40.72	40.71	40.71	40.71	40.71	50.80	48.22	51.78	65.28	65.28	42.98	40.84	
DCC (mm)	24.56	24.57	24.57	24.57	24.57	14.48	17.06	13.50	0.00	0.00	22.30	24.44	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.37	3.81	0.00	0.00	8.19
NR (mm)	72.23	73.09	82.64	82.98	83.86	48.22	55.15	48.09	31.54	25.01	46.69	68.57	718.07

Cuadro 59A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 30
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 30
 Uso actual de la tierra: Cultivos de clima templado
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arcillosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	28.68		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.20		
Kfc (0.01%)	0.17		
I (0.01%)	0.43		
DS (g/cm ³)	0.95		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	97.66		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	20.56 97.66
		PM	14.40 68.40
		CC-PM	6.16 29.26

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	0.03	0.62	2.07	27.47	46.47	182.71	147.93	157.33	207.00	152.01	11.18	0.82	935.64
Ret (mm)	0.03	0.62	2.07	5.00	5.58	21.93	17.75	18.88	24.84	18.24	5.00	0.82	120.75
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	9.63	17.53	68.93	55.81	59.35	78.09	57.35	2.65	0.00	349.33
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	12.84	23.36	91.86	74.37	79.10	104.07	76.42	3.53	0.00	465.55
ETP (mm)	47.77	48.50	58.05	64.55	71.15	67.45	76.15	69.15	63.05	57.95	48.75	46.25	718.79
HSi (mm)	69.98	68.69	68.45	68.40	68.40	68.40	97.66	97.66	97.66	97.66	97.65	75.93	
C ₁	0.05	0.01	0.00	0.33	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.26	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.30	0.67	1.00	0.98	0.00	0.00	
HD (mm)	1.58	0.29	0.05	9.63	17.53	68.93	85.07	88.61	107.35	86.61	31.90	7.53	
ETR (mm)	1.29	0.24	0.05	9.63	17.53	35.43	49.68	57.57	63.05	57.35	24.38	5.95	322.14
HSf (mm)	68.69	68.45	68.40	68.40	68.40	97.66	97.66	97.66	97.66	97.65	75.93	69.98	
DCC (mm)	28.97	29.21	29.26	29.26	29.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	21.73	27.68	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.24	6.13	1.78	15.04	0.00	0.00	0.00	27.19
NR (mm)	75.45	77.47	87.26	84.18	82.88	32.03	26.48	11.58	0.00	0.61	46.11	67.98	592.03

Cuadro 60A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 31
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 31
 Uso actual de la tierra: Cultivos anuales
Estación climática: La ENCA
Textura del suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	62.20		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.37		
I (0.01%)	0.53		
DS (g/cm ³)	1.11		
PR (mm)	500		
HSi (mm)	71.82		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.12		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	12.94 71.82
		PM	10.08 55.94
		CC-PM	2.86 15.87

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	0.45	0.82	3.11	28.17	54.32	185.82	150.69	163.88	208.23	157.58	14.66	1.24	968.97
Ret (mm)	0.45	0.82	3.11	5.00	6.52	22.30	18.08	19.67	24.99	18.91	5.00	1.24	126.08
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	12.29	25.35	86.70	70.31	76.47	97.16	73.53	5.12	0.00	446.92
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	10.88	22.46	76.82	62.30	67.75	86.08	65.14	4.54	0.00	395.97
ETP (mm)	45.82	46.54	56.09	62.59	69.19	65.49	74.19	67.19	61.09	55.99	46.79	44.29	695.30
HSi (mm)	55.94	55.94	55.94	55.94	55.94	55.94	71.82	71.82	71.82	71.82	71.82	55.94	
C ₁	0.00	0.00	0.00	0.77	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.76	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	12.29	25.35	86.70	86.18	92.34	113.03	89.40	20.99	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	12.29	25.35	65.49	65.12	67.19	61.09	55.99	20.99	0.00	373.52
HSf (mm)	55.94	55.94	55.94	55.94	55.94	71.82	71.82	71.82	71.82	71.82	55.94	55.94	
DCC (mm)	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.87	15.87	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.34	5.19	9.27	36.07	17.53	0.00	0.00	73.40
NR (mm)	61.69	62.42	71.97	66.18	59.72	0.00	9.07	0.00	0.00	0.00	41.67	60.17	432.89

Cuadro 61A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 32
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 32

Uso actual de la tierra: superficie de escasa vegetación /degradada

Estación climática: La ENCA

Textura del suelo: Franco arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentía superficial
PM: Punto de marchites	ETP: Evapotranspiración potencial
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real
(CC-PM): Rango de agua disponible	HSi: Humedad de suelo inicial
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible
C ₁ : Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de suelo final
C ₂ : Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	286.84		
Kp (0.01%)	0.06		
Kv (0.01%)	0.10		
Kfc (0.01%)	0.74		
I (0.01%)	0.90		
DS (g/cm ³)	1.02		
PR (mm)	300		
HSi (mm)	101.59		
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida	0.10		
		Por peso	
		(%)	(mm)
		CC	33.20 101.59
		PM	27.50 84.15
		CC-PM	5.70 17.44

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.71	1.36	5.83	30.03	74.90	193.99	157.93	181.06	211.46	172.18	23.79	2.35	1056.59
Ret (mm)	1.71	1.36	5.00	5.00	7.49	19.40	15.79	18.11	21.15	17.22	5.00	2.35	119.57
Pi (mm)	0.00	0.00	0.75	22.62	60.92	157.79	128.46	147.27	172.00	140.05	16.98	0.00	846.84
ESC (mm)	0.00	0.00	0.08	2.41	6.49	16.80	13.68	15.68	18.32	14.91	1.81	0.00	90.18
ETP (mm)	45.67	46.40	55.95	62.45	69.05	65.35	74.05	67.05	60.95	55.85	46.65	44.15	693.61
HSi (mm)	84.15	84.15	84.15	84.15	84.15	101.59	101.59	101.59	101.59	101.59	101.59	95.25	
C ₁	0.00	0.00	0.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.75	22.62	60.92	175.23	145.90	164.71	189.44	157.49	34.42	11.10	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.75	22.62	34.53	65.35	74.05	67.05	60.95	55.85	23.33	11.10	415.59
HSf (mm)	84.15	84.15	84.15	84.15	101.59	101.59	101.59	101.59	101.59	101.59	95.25	84.15	
DCC (mm)	17.44	17.44	17.44	17.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.34	17.44	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	8.95	92.44	54.40	80.22	111.04	84.20	0.00	0.00	431.25
NR (mm)	63.12	63.84	72.65	57.27	34.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.67	50.50	371.58

En este caso la recarga es 215.6 debido a que es un área con un uso de la tierra o cobertura que no se contempla en tabla por lo tanto se toma como el 50% del total de recarga

Cuadro 62A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 33
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 33
 Uso actual de la tierra: Superficie de escasa vegetación

Estación climática: La Suiza Contenta

Textura del suelo: Franco arcillo arenosa

Simbología

fc: Capacidad de infiltración
 I: Infiltración
 CC: Capacidad de campo
 PM: Punto de marchites
 PR: Profundidad de raíces
 (CC-PM): Rango de agua disponible
 DS: Densidad de suelo
 C₁: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
 C₂: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
 K_p: Factor por pendiente
 K_v: Factor por vegetación
 K_{fc}: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual
 Pi: Precipitación que infiltra
 ESC: Escorrentía superficial
 ETP: Evapotranspiración potencial
 ETR: Evapotranspiración real
 HSi: Humedad de suelo inicial
 HD: Humedad disponible
 HSf: Humedad de suelo final
 DCC: Déficit de capacidad de campo
 Rp: Recarga potencial
 NR: Necesidad de riego
 Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	11.40		
K _p (0.01%)	0.06		
K _v (0.01%)	0.10		
K _{fc} (0.01%)	0.01		Por peso
I (0.01%)	0.17		(%) (mm)
DS (g/cm ³)	0.93	CC	9.35 26.09
PR (mm)	300	PM	4.96 13.84
HSi (mm)	13.84	CC-PM	4.39 12.25
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1		
Lluvia retenida	0.10		

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	1.09	1.10	4.50	29.12	64.81	189.99	154.38	172.64	209.88	165.02	19.32	1.81	1013.66
Ret (mm)	1.09	1.10	4.50	5.00	6.48	19.00	15.44	17.26	20.99	16.50	5.00	1.81	114.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	4.11	9.95	29.16	23.70	26.50	32.21	25.33	2.44	0.00	153.40
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	20.01	48.38	141.83	115.25	128.88	156.68	123.19	11.88	0.00	746.08
ETP (mm)	45.74	46.47	56.02	62.52	69.12	65.42	74.12	67.12	61.02	55.92	46.72	44.22	694.44
HSi (mm)	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	15.54	13.84	13.84	
C ₁	0.00	0.00	0.00	0.34	0.81	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.00	
C ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	4.11	9.95	29.16	23.70	26.50	32.21	27.03	2.44	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	4.11	9.95	29.16	23.70	26.50	30.51	27.03	2.44	0.00	153.40
HSf (mm)	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	15.54	13.84	13.84	13.84	
DCC (mm)	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	10.54	12.25	12.25	12.25	
R _p (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	57.99	58.72	68.27	70.66	71.42	48.51	62.67	52.87	41.06	41.14	56.53	56.47	686.31

Cuadro 63A. Balance hídrico de suelos de la Unidad de Mapeo 34
BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo 34
Uso actual de la tierra: Bosque Mixto
Estación climática: La Suiza Contenta
Textura del suelo: Arcillo arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de campo

PM: Punto de marchites

PR: Profundidad de raíces

(CC-PM): Rango de agua disponible

DS: Densidad de suelo

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación media mensual

Pi: Precipitación que infiltra

ESC: Escorrentía superficial

ETP: Evapotranspiración potencial

ETR: Evapotranspiración real

HSi: Humedad de suelo inicial

HD: Humedad disponible

HSf: Humedad de suelo final

DCC: Déficit de capacidad de campo

Rp: Recarga potencial

NR: Necesidad de riego

Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d) 44.92

Kp (0.01%) 0.06

Kv (0.01%) 0.20

Kfc (0.01%) 0.29

I (0.01%) 0.55

DS (g/cm³) 0.93

PR (mm) 2500

HSi (mm) 505.22

No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 10

Lluvia retenida 0.20

Por peso

(%) (mm)

CC 21.73 505.22

PM 16.11 374.56

CC-PM 5.62 130.67

Concepto	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
P (mm)	4.06	2.37	10.93	33.50	113.43	209.28	171.48	213.20	217.51	199.51	40.87	4.42	1220.56
Ret (mm)	4.06	2.37	5.00	6.70	22.69	41.86	34.30	42.64	43.50	39.90	8.17	4.42	255.61
Pi (mm)	0.00	0.00	3.24	14.63	49.54	91.41	74.90	93.12	95.01	87.14	17.85	0.00	526.85
ESC (mm)	0.00	0.00	2.69	12.17	41.20	76.01	62.28	77.44	79.00	72.46	14.84	0.00	438.10
ETP (mm)	42.74	40.34	49.44	58.34	59.64	57.84	59.44	58.64	52.44	44.54	35.54	36.84	595.80
HSi (mm)	461.99	438.07	421.49	409.33	406.83	427.55	470.88	490.64	505.22	505.22	505.22	489.94	
C ₁	0.67	0.49	0.38	0.38	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	
C ₂	0.45	0.34	0.24	0.21	0.34	0.66	0.86	1.00	1.00	1.00	0.86	0.63	
HD (mm)	87.44	63.51	50.17	49.41	81.82	144.41	171.23	209.20	225.67	217.81	148.52	115.38	
ETR (mm)	23.92	16.58	15.39	17.14	28.82	48.08	55.15	58.64	52.44	44.54	33.14	27.95	421.79
HSf (mm)	438.07	421.49	409.33	406.83	427.55	470.88	490.64	505.22	505.22	505.22	489.94	461.99	
DCC (mm)	67.15	83.73	95.89	98.39	77.67	34.34	14.59	0.00	0.00	0.00	15.28	43.23	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.90	42.56	42.60	0.00	0.00	105.06
NR (mm)	85.97	107.49	129.94	139.60	108.49	44.10	18.88	0.00	0.00	0.00	17.69	52.13	704.28

Apéndice 6. Mapas Auxiliares.

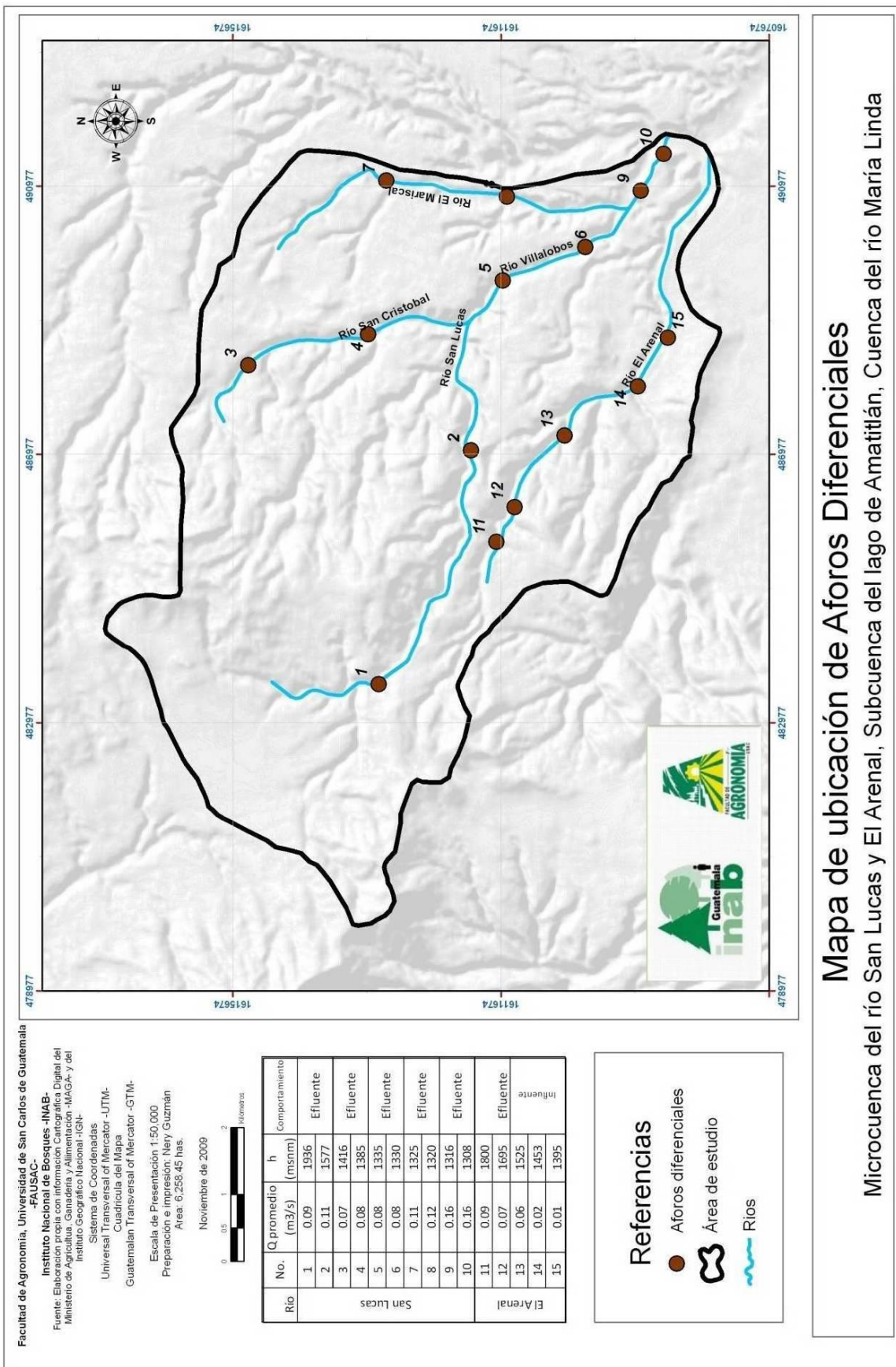


Figura 19A. Mapa de ubicación de los aforos diferenciales de los cauces de los ríos San Lucas y El Arenal

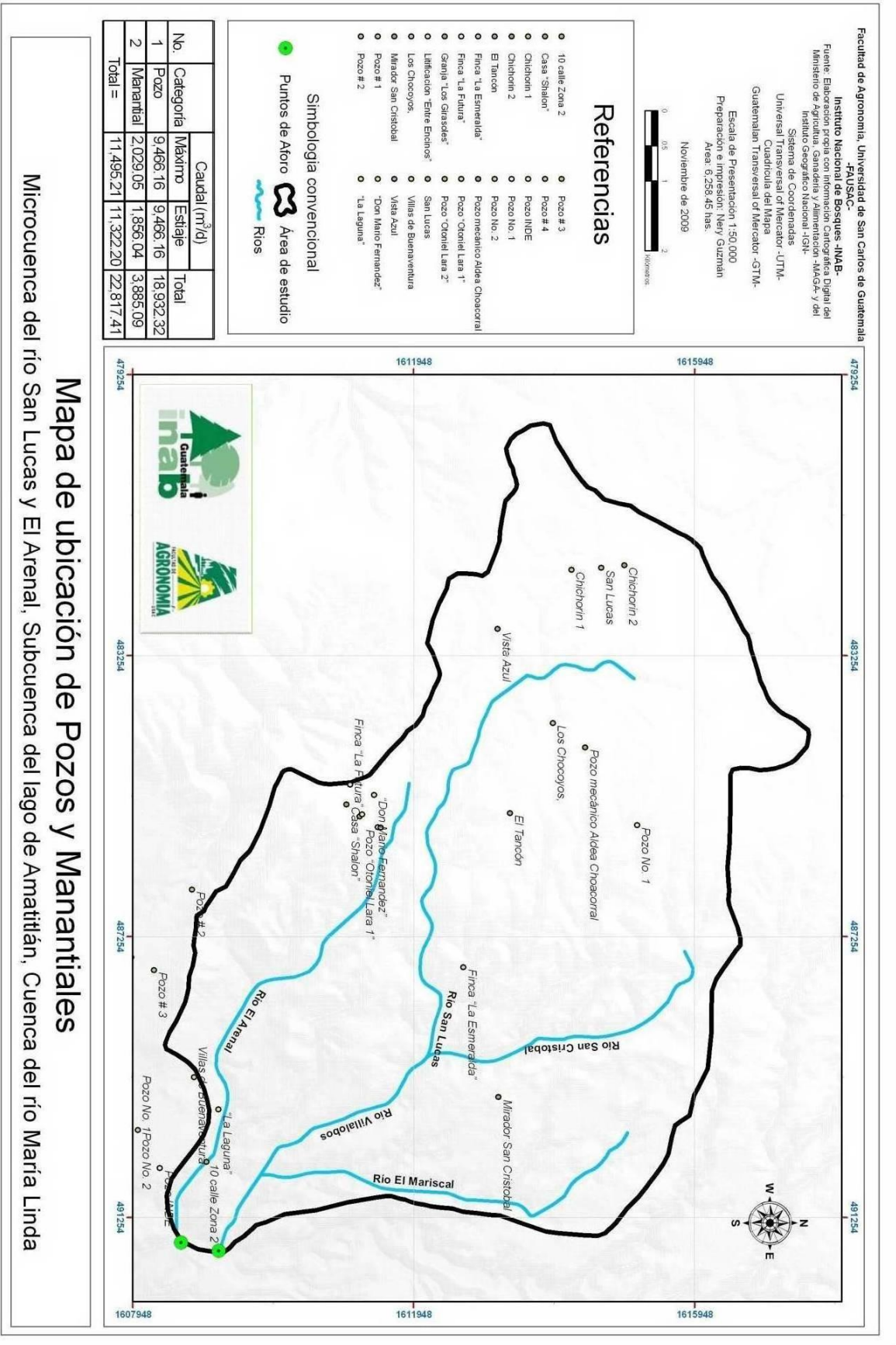
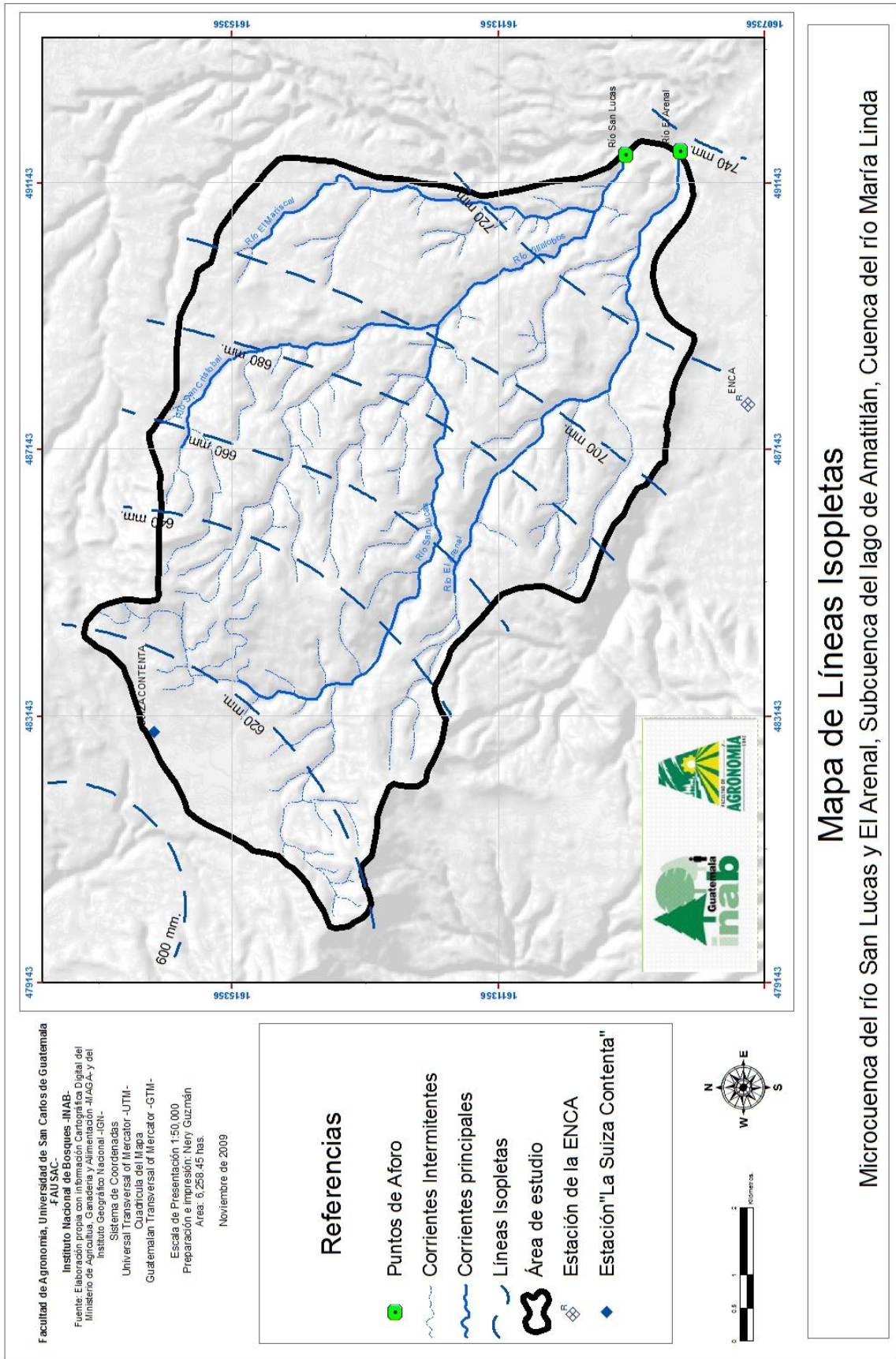


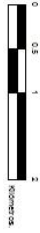
Figura 20A. Mapa de ubicación de pozos y manantiales dentro de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal



Mapa de Líneas Isopletas
Microcuenca del río San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda

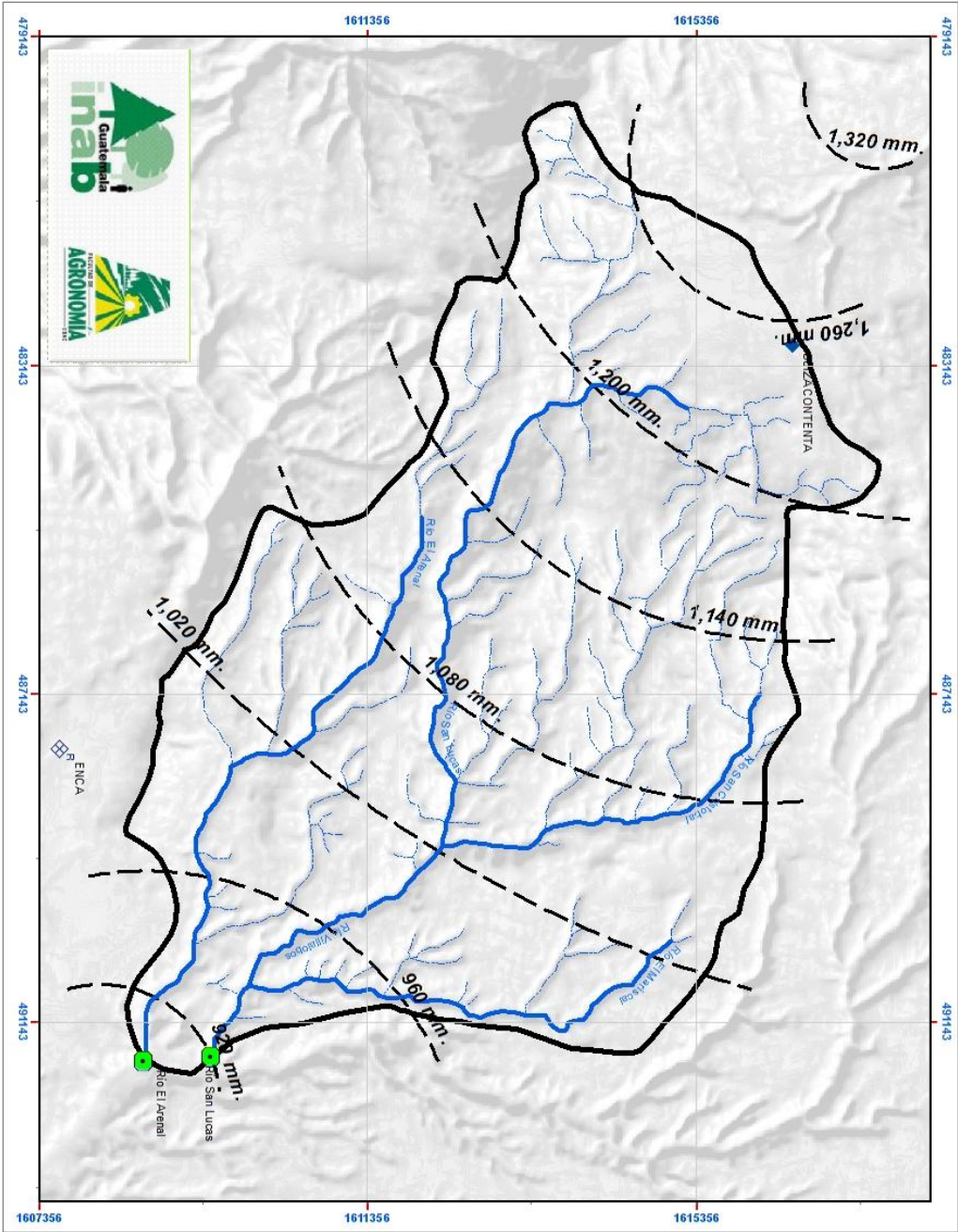
Figura 21A. Mapa de líneas Isopletas de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
 7 AU SJC-
 Instituto Nacional de Bosques -INAB-
 Fuente: Elaboración propia con información cartográfica Digital del
 Ministerio de Agricultura, Ginebra -INAG- y del
 Instituto Geográfico Nacional -IGN-
 Sistema de Coordenadas
 Universal Transversal of Mercator -UTM-
 Quedada del M. 1898
 Guatemalan Transversal of Mercator -GTM-
 Escala de Presentación: 1:50,000
 Preparación e Impresión: Nery Guzmán
 Área: 0,256,45 Ha.
 Noviembre de 2009



Referencias

- Puntos de Aforo
- ~ Corrientes principales
- ~ Corrientes Intermitentes
- Área de estudio
- Estación de la ENCA
- ◆ Estación SUIZA CONTENTA



Mapa de Líneas Isoyetas

Microcuenca del río San Lucas y El Arenal, Subcuenca del lago de Amatitlán, Cuenca del río María Linda

Figura 22A. Mapa de líneas Isoyetas de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal

CAPÍTULO III

SERVICIOS

Servicios institucionales realizados para la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques -INAB- Sacatepéquez y la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez



I. PRESENTACIÓN

Para lograr un desarrollo integral de las actividades de la Subregión V-1 del INAB en Sacatepéquez, fue percibida la necesidad de llevar a cabo jornadas de capacitaciones y divulgación acerca de los beneficios del bosque y los demás recursos naturales que le rodean; así como su cuidado y manejo sostenible.

Surgió la necesidad de compilar información acerca de los recursos naturales con los que se cuentan en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas en Sacatepéquez; esto debido a la constante amenaza bajo la que se encuentran los recursos naturales en la zona, a causa del avance de la frontera urbana y agrícola, aunado a ello; el hecho de que no se cuenta con este tipo de información en el área.

Las actividades programadas como servicios institucionales, de conformidad a las necesidades de la parte contractual el “Instituto Nacional de Bosques –INAB-“; de forma concreta son: La impartición de (1) **Charlas de concienciación y conservación de los recursos naturales en San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez** como tal; otra actividad programada es la (2) **Compilación de información y generación de mapas acerca de los recursos naturales existentes en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez** que en concreto esta ultima comprende actividades de investigación en la base de datos del MAGA, MARN, FAUSAC e INAB., que contengan esta información, y la elaboración de los mapas respectivos.

De la misma manera se elaboró un (3) **Plan de trabajo para la realización de un “Diagnostico de la industria forestal en el departamento de Sacatepéquez”** y se brindó (4) **Apoyo técnico al personal de la subregión** en la revisión y supervisión de planes de manejo, compromisos de reforestación, licencias forestales, proyectos de incentivos forestales, entre otros, estos en la jurisdicción del departamento de Sacatepéquez.

II. OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE SERVICIOS

- General

Llevar a cabo un programa de servicios institucionales encaminados a la resolución de problemas de desarrollo forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- con sede en Antigua Guatemala, en el departamento de Sacatepéquez para el año 2008.

- Específicos

- a) Realizar una jornada de divulgación y capacitación acerca de la importancia de los recursos naturales y el bosque; así como de la estrecha relación que existe entre ellos, en el municipio de San Lucas Sacatepéquez.
- b) Compilar información acerca de la existencia de los recursos naturales existentes en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas en el departamento de Sacatepéquez, y con esa base elaborar los mapas temáticos que plasmen esa información; esto para cada uno de los recursos naturales presentes en el área.
- c) Desarrollar un plan de trabajo para la elaboración de un diagnóstico de la industria forestal en la subregión V-1 del INAB en Sacatepéquez.
- d) Apoyar de forma técnica las labores de la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques, en Sacatepéquez.

“Servicio 1”



Jornada de charlas ambientales a grupos de hombres y mujeres dirigentes comunitarios (as) y estudiantes de nivel primario y básico en la Aldea Choacorrall, San Lucas Sacatepéquez.

ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL SERVICIO 1

Contenido	Página
1. Antecedentes.....	254
2. Justificación.....	256
3. Ubicación del área.....	257
4. Objetivos específicos.....	258
5. Metodología.....	258
5.1 Procedimiento.....	258
5.2 Material y equipo.....	260
6. Resultados.....	262
7. Conclusiones.....	263
8. Recomendaciones.....	264
9. Bibliografía.....	265
10. Apéndices.....	266

ÍNDICE DE CUADROS DEL SERVICIO 1

Nombre	Página
Cuadro 1. Materiales y equipo.....	260
Cuadro 2. Cronograma de actividades.....	261

ÍNDICE DE FIGURAS DEL SERVICIO 1

Nombre	Página
Figura 1A. Impartición de charla a grupo de estudiantes en choacorrall, san lucas sacatepéquez.	266
Figura 2A. Impartición de charla a grupo de líderes comunitarios (cocode) en choacorrall, san lucas sacatepéquez.	266

1. ANTECEDENTES

El problema de la desinformación en materia forestal y ambiental, es un factor poco atendido en múltiples instancias, y ligado al alto crecimiento demográfico imperante en el medio, existe una mayor cantidad de personas que junto a la desinformación sobre estos aspectos, se convierten en un factor degradante a todos niveles.

A raíz de múltiples fenómenos en la sociedad, existe una mayor presión sobre los recursos naturales en el departamento de Sacatepéquez, de los cuales el municipio de San Lucas Sacatepéquez es uno de los más afectados, debido a su cercanía con la ciudad capital de Guatemala, es por ello que se debe tener un especial cuidado con estos, ya que se agotan a un ritmo más acelerado día con día, por lo que se hace sumamente necesario maximizar el nivel de control sobre los mismos.

En la mayoría de los casos, los daños ocasionados al ambiente y sus ecosistemas son a causa de la desinformación que existe, a cerca de los efectos ambientales que conlleva el realizar determinada actividad o alteración al medio, por ejemplo muy poco se conoce sobre el daño que se ocasiona al suelo, al agua y al ecosistema en general, con la tala de un bosque, o un árbol, cuando removemos tierra para construcciones, especialmente en terrenos con mucha pendiente y cercanos a ríos o zonas hidrológicas muy importantes.

Por parte del INAB se han realizado algunas charlas de concienciación y divulgación de los beneficios que brinda el medio ambiente; así también sobre incendios forestales, su prevención y manejo; no obstante en el área por ser de suma importancia debido al atractivo turístico, la cercanía a la capital y la topografía, este tipo de actividades se hace necesario realizar en forma mucho más intensa, y garantizar cubrir un alto porcentaje de la población para lograr minimizar los daños a los bosques y al ambiente, a raíz de su mal manejo y aprovechamiento. De esta manera contribuir a la mejora del potencial turístico del área.

El área es de vocación forestal y agrícola en algunos casos (según el mapa de capacidad de uso del INAB) es por ello que se debe tener un especial cuidado con el manejo del territorio, para que así se logre explotar de forma sostenible y sustentable el suelo del lugar, siendo con base en sus capacidades, condiciones edáficas y de relieve.

2. JUSTIFICACIÓN

Para el Instituto Nacional de Bosques –INAB- que es la instancia estatal rectora y responsable de la conservación y aprovechamiento del recurso forestal en Guatemala (en conjunto con CONAP cuando se trate de áreas protegidas); es de suma importancia dar a conocer los beneficios que representa el cuidar y preservar los bosques, ya que de esta forma se logra minimizar los daños ocasionados a los mismos y el aprovechamiento desmedido o sin consciencia de los bosques y del mal trato del medio ambiente.

Por los motivos anteriores, se ha llevado a cabo esta jornada de charlas de concienciación y capacitación sobre los beneficios de los bosques y de la importancia del cuidado de los recursos naturales para la existencia de los seres humanos; así como capacitaciones sobre incendios forestales y algunas generalidades para su prevención y manejo, por parte del INAB; impartándose principalmente a grupos de niños, jóvenes y líderes comunitarios en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, en el departamento de Sacatepéquez, debido que se encuentra formando parte del área protegida del cerro Alux, el cual además posee una gran importancia hidrogeológica.

Por medio de las capacitaciones realizadas a niños, líderes comunitarios y jóvenes; se pretende generar consciencia y capacitar a los mismos; sobre los efectos que conlleva el mal uso y aprovechamiento de los recursos naturales, así también dándoles a conocer los múltiples beneficios que de ello se obtienen y que muchas veces por desinformación no se conocen; es en base a ello que se infiere en la necesidad de capacitar a los pobladores del lugar, para colaborar en la conservación de las áreas naturales, los bosques y ecosistemas vegetativos.

Es necesario reconocer la importancia del recurso bosque y la estrecha relación que existe con el recurso agua en la localidad y dar a conocer algunas medidas que mitiguen la pérdida de la cobertura vegetal en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, del departamento de Sacatepéquez; puesto que parte de su territorio se constituye como el “área protegida del cerro Alux” (Aproximadamente un 5 % según la OMP de San Lucas Sacatepéquez y el mapa de cobertura vegetal del MAGA, 2003).

3. UBICACIÓN DEL ÁREA

La Aldea Choacorrall se encuentra a 2.5 km., de la carretera interamericana C-A 1 con rumbo sureste. Colinda con al norte con el cerro Alux, al occidente con la cabecera municipal de San Lucas Sacatepéquez, al sur con Zorzoya y La Embaulada y al este con El Aguacate en Mixco.

El municipio de San Lucas Sacatepéquez se encuentra dentro del área que forma parte de la subcuenca del río Villalobos; la que a su vez forma parte de la cuenca del Lago de Amatitlán, que constituye la parte alta de la cuenca del río María Linda, la cual se encuentra en la vertiente del Océano Pacífico. Geográficamente se ubica en la hoja topográfica escala 1:50,000 Ciudad de Guatemala, (2959-I), en las coordenadas GTM de 4780000 m a 4950000 m Este y de 1609000 m a 1617000 m Norte; y en coordenadas geográficas de 14⁰33'19" a 14⁰37'23" de latitud Norte y 90⁰34'21" a 90⁰40'00" de longitud Oeste (Asturias, 2006).

San Lucas Sacatepéquez, es municipio del departamento de Sacatepéquez; tiene una extensión territorial de 24.5 km², colinda al norte con San Bartolomé Milpas Altas, al este Mixco, al sur con Santa Lucía Milpas Altas, al oeste con San Bartolomé Milpas Altas y Antigua Guatemala.

San Lucas Sacatepéquez se encuentra a 2,062.85 msnm, con una latitud norte de 14⁰36'29" y longitud oeste de 90⁰39'32". Su distribución territorial consta de cuatro aldeas: Choacorrall, Zorzoya, El Manzanillo y La Embaulada, tres caseríos: San José, Chichorin, Chiquel, una comunidad agraria llamada Pachalí, diecisiete fincas entre las que destacan: La Suiza, La Cruz Grande, San Juan, Santa Marta, La Esmeralda, San Ramón, California, Los Ángeles, Xelajú, Lourdes, y cincuenta y una granjas, las cuales pertenecen a familias capitalinas.

El Municipio de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez, se encuentra dentro de la microcuenca del río San Lucas la cual tiene un área aproximada de 44.75 km², (el municipio ocupa el 55 % del área de la microcuenca), mientras que la microcuenca del río Arenal tiene un área aproximada de 16.87 km², lo cual en total hacen un área 61.62 km², aproximadamente para el área de estudio.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS PARA EL SERVICIO 1

- Elaborar material audiovisual para la capacitación de personas en materia forestal y ambiental.
- Realizar una jornada de charlas de capacitación y concienciación en materia forestal y ambiental, en la aldea Choacorrall del municipio de San Lucas Sacatepéquez.
- Realizar una gira de campo con los participantes de los talleres, para conocer el área de influencia ecológica a la que pertenece el municipio de San Lucas Sacatepéquez.

5. METODOLOGÍA

5.1. Procedimiento para el cumplimiento de objetivos.

Para la realización del Objetivo 1

5.1.1. Elaboración de material audiovisual

Se contó con el apoyo de un computador y el programa de “Power Point” para la elaboración y edición del materia audiovisual; tomando en cuenta el grupo de personas a quien se dirigiría, el nivel de escolaridad, las edades y el punto prioritario de interés del grupo; para dar a conocer los aspectos ambientales que facilitarían la transmisión del mensaje; se elaboraron tres tipos de presentación sobre tres temas diferentes de interés propuestos por el INAB para esta ocasión, fueron los temas de “El Agua, su importancia y sus beneficios” “Los Bosques, su importancia y sus beneficios” y “Los incendios Forestales ¿Qué son? ¿Cómo se previenen?”.

Para el enriquecimiento de los talleres, se investigo en la biblioteca del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, sobre la existencia y el contenido de los materiales de este tipo, relacionado con el área en estudio.

Para la realización del Objetivo 2

5.1.2. Realización jornada de capacitación

5.1.2.1. Convocatoria y divulgación

Para esta actividad se contó con el apoyo de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, se llegó a un común acuerdo en cada una de las ocasiones y en coordinación con los profesores de los centros educativos y el coordinador del parque ecológico "Senderos de Alux" se realizaron las actividades según la programación planteada (ver cronograma de actividades)

5.1.2.2. Realización de talleres

Se llevaron a cabo tomando una metodología muy sencilla, con cada grupo de participantes, se elaboró un material audiovisual acorde a sus conocimientos, edades y el nivel de aceptación que pudiesen tener, en cada caso se formaron grupos de trabajo a los que durante la exposición de los temas, se les planteaban preguntas a los cuales debían responder y en algunos casos esquematizar lo planteado, se tomó la modalidad de participación activa de los participantes con preguntas, respuestas y auto evaluación.

Para la realización del Objetivo 3

5.1.3. Realización gira de campo

Se contó con el apoyo de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, se realizó la solicitud por escrito al alcalde municipal del mencionado lugar, notificando los motivos por los que se realizaría la actividad de campo y dándole a conocer algunos antecedentes de tal actividad, detallando también conjuntamente la programación de la mencionada actividad.

El recorrido se realizó partiendo de la aldea Choacorrall en San Lucas Sacatepéquez, viajando sobre la ruta que conduce a Antigua Guatemala, tomando el desvío hacia la aldea Bárcena en Villa Nueva, llegando hasta la carretera interamericana que comunica a la ciudad capital de Guatemala con Escuintla, retornando por esa vía hacia Ciudad San Cristóbal en Mixco, ascendiendo por el mencionado lugar hacia la ruta que conduce a San Lucas Sacatepéquez y Chimaltenango nuevamente, hasta llegar al parque ecológico “Senderos de Alux” donde se reforzaron las charlas impartidas en los talleres y se finalizó el recorrido.

5.2. Material y Equipo

A continuación se presenta un cuadro resumen, donde se detallan los distintos materiales, insumos y equipo necesarios para la realización de la jornada de charlas ambientales en el municipio de San Lucas Sacatepéquez.

Cuadro 1: Materiales y Equipo

No.	Actividad	Material/Equipo	Cantidad	Unidad	Costo
1	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elaboración del material audio-visual 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Software hardware. & ○ Papel de ○ Metodología de INAB 	50	Hojas de papel	(*) Q 5.00 (**)
2	<ul style="list-style-type: none"> ○ Realización de jornada de capacitación y concienciación ambiental ○ Gira de campo 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Proyector multimedia ○ Hardware ○ Transporte (vehículo) ○ 1 Bus 	160	Km.	(*) Q 150.0 (***)
			80	Km.	Q 200.0 (***)
Total =					Q 355.00

Nota: (*) Ya se posee

(**) El existente se utilizará para todos los pasos.

(***) Varía según el precio del combustible, se realizó según precios al 08-09-08

Los costos de realización de esta actividad, están sujetos a cambios según las variaciones de los precios de insumos tales como el combustible y el tipo de vehículo a utilizar.

Las actividades mencionadas anteriormente fueron ejecutadas según una programación cronológica que se presentan a continuación:

Cuadro 2. Cronograma de Actividades

No.	Actividad	Mes / Semana /	Septiembre				Octubre			
			1	2	3	4	1	2	3	4
1	Impartición de charla "El agua y su importancia"									
	• Instituto de telesecundaria (1ro., 2do., y 3ro. Básico) 2 secciones c/u		■							
	• Grupo de mujeres, estudiantes de repostería y grupos de líderes comunitarios		■							
2	Impartición de charla "La importancia de los bosques y su conservación"									
	• Instituto de telesecundaria (1ro., 2do., y 3ro. Básico) 2 secciones c/u		■							
	• Grupo de mujeres, estudiantes de repostería y grupos de líderes comunitarios		■							
3	Impartición de charla "Prevención de Incendios Forestales"									
	• Instituto de telesecundaria (1ro., 2do., y 3ro. Básico) 2 secciones c/u			■						
	• Grupo de mujeres, estudiantes de repostería y grupos de líderes comunitarios			■						
4	Gira de campo				■					
5	Actividad de evaluación					■				
6	Acto de Clausura						■			

Las anteriores actividades establecidas según coordinación con los docentes de los establecimientos educativos y las actividades de cada uno de los dirigentes comunitarios de la localidad.

Estas fueron propuestas por la sede subregional del INAB en Sacatepéquez, y los temas fueron acordados según lineamientos brindados por el INAB y las necesidades expresadas por los dirigentes comunitarios de la localidad, de esta manera se delimitaron los temas descritos en las actividades y se desarrollaron según el grupo focal al que se dirigió en cada ocasión.

6. RESULTADOS

Objetivo 1:

Se elaboraron presentaciones con equipo de audio y visual conteniendo imágenes, diapositivas, videos y conferencias para los temas siguientes: “El Agua, su importancia y sus beneficios” “Los Bosques, su importancia y sus beneficios” y “Los incendios Forestales ¿Qué son? ¿Cómo se previenen?”, para tres grupos de la sociedad, siendo estos un grupo de líderes comunitarios, jóvenes estudiantes del ciclo básico y niños estudiantes de primaria.

Objetivo 2:

- Se impartieron tres tipos de charlas a dos grupos de personas en San Lucas Sacatepéquez.
- Se pudo capacitar en materia forestal, ambiental y generalidades sobre incendios forestales a 72 jóvenes de secundaria de la aldea Choacorrall, en el municipio de San Lucas Sacatepéquez.
- Se impartió capacitación en materia forestal, ambiental y generalidades sobre incendios forestales a 12 líderes comunitarios de la aldea Choacorrall, en el municipio de San Lucas Sacatepéquez.
- Se impartió una charla enfocada a la conservación de los bosques y el medio ambiente y de sus beneficios al ser humano a un grupo de 17 niños provenientes de de San Lucas Sacatepéquez y municipios vecinos.

Objetivo 3:

- Se realizó una actividad de campo en el perímetro del área de influencia ecológica de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal, en la cual participaron estudiantes del ciclo básico del instituto de telesecundaria de Choacorrall en San Lucas Sacatepéquez.

7. CONCLUSIONES

Objetivo 1

- El material audiovisual elaborado para las “charlas ambientales” que fue posible durante el EPSA de la Facultad de Agronomía, el cual servirá para posteriores presentaciones o capacitaciones, puesto que es muy necesaria la intervención de las instancias estatales y no estatales en materia de conservación de los recursos naturales y ambiente, siendo este un tema del que la población en el área y en todo el país, tiene muy poco conocimiento.

Objetivo 2

- Los grupos de personas a los que se les impartió las charlas, son clave en un sentido social, ya que se conforman de líderes comunitarios con la participación de mujeres; así como grupos de estudiantes de los diferentes niveles educativos, tales como del ciclo básico y primaria. Lo que permitirá que en el caso de los estudiantes, se vea integrado el componente ambiental y de conservación de los recursos en su formación académica.

Objetivo 3

- En la realización de la gira de campo, estudió y comprendió de forma práctica y visual, el marco conceptual de la jornada de “charlas ambientales” en las que se trataron temas relacionados con el cuidado de los recursos naturales y el estado en el que se encuentran en la actualidad en nuestro entorno; la población que recibió estas charlas, pudieron constatar lo visto en la fase teórica y formar sus propias conclusiones, ayudado con las preguntas y repuestas de forma participativa que se suscitaron durante el desarrollo de la actividad.

8. RECOMENDACIONES

- Continuar con el desarrollo de actividades como: talleres de capacitación con relación a los recursos naturales y su conservación, a grupos de estudiantes, de mujeres y hombres organizados, a líderes comunitarios, en las que la población visualiza y comprende de mejor manera la situación actual de los mismos y las consecuencias de las actividades antropogénicas sobre los recursos naturales, siendo estas a grupos de personas de toda el área de las microcuencas de los ríos San Lucas y El Arenal.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán, GT). 2000. Programa de saneamiento y manejo sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán (en línea). Guatemala. Consultado 15 de marzo de 2008. Disponible en: <http://www.iadb.org/EXR/doc98/pro/ugu0066.pdf>.
2. Asturias Hernández RM. 2006. Impacto del cambio del uso del suelo en el comportamiento del ciclo hidrológico de las microcuencas de los ríos San Lucas y Arenal, Guatemala, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 102 p.
3. INGUAT (Instituto Guatemalteco de Turismo, GT) 2008. Departamento de Sacatepéquez, INGUAT, (en línea) Guatemala, consultado 15 de marzo de 2008. Disponible en www.inguat.gob.gt.

10. APÉNDICES



Foto: Nery Guzmán

Figura 1A. Impartición de charla a grupo de estudiantes en Choacorrall, San Lucas Sacatepéquez.



Foto: Nery Guzmán

Figura 2A. Impartición de charla a grupo de líderes comunitarios en Choacorrall, San Lucas Sacatepéquez.

“Servicio 2”



Compilación de información acerca de los recursos naturales existentes en el área del municipio de Santa Lucía Milpas Altas del departamento de Sacatepéquez

ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL SERVICIO 2

Contenido	Página
1. Antecedentes	270
2. Justificación.....	272
3. Ubicación del área.....	273
4. Objetivos	273
5. Metodología.....	274
5.1. Procedimientos.....	274
5.2. Material y equipo	275
6. Resultados	276
7. Conclusiones.....	284
8. Recomendaciones.....	285
9. Bibliografía	285

ÍNDICE DE CUADROS DEL SERVICIO 2

Nombre	Página
Cuadro 1. Materiales y equipo a utilizar en la actividad.....	275
Cuadro 2. Condición de algunos factores ambientales de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez.....	276

ÍNDICE DE FIGURAS DEL SERVICIO 2

Nombre	Página
Figura 1. Mapa de sitios arqueológicos del municipio de Santa Lucia Milpas Altas.....	278
Figura 2. Mapa de geología del municipio de Santa Lucia Milpas Altas.	279
Figura 3. Mapa de intensidad del uso de la tierra en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas	280
Figura 4. Mapa de uso de la tierra en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas	281

1. ANTECEDENTES

Se entiende como recurso natural a aquel elemento que se obtiene de la naturaleza. El plan maestro de desarrollo de los recursos naturales renovables (1975) lo define como “Todo lo que existe en la naturaleza y que el hombre puede utilizar en su beneficio”, dentro de ellos se mencionan al suelo, agua y bosque principalmente, en una asociación íntimamente estrecha, en donde el hombre se encuentra en el último nivel de la jerarquía, donde el suelo, agua y bosque interactúan cíclica y equilibradamente de manera que se establecen parámetros a los que el hombre se ha adaptado y de los cuales depende.

En cuanto al tema de la información sobre los recursos en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas, en el departamento de Sacatepéquez; en la actualidad se presenta una gran cantidad de presiones a los recursos naturales, debido al crecimiento poblacional; de estos recursos no se tiene información acerca de la existencia, ni de la medida con la que estos disminuyen, siendo esta la razón por la que al Instituto Nacional de Bosques –INAB- con sede en Sacatepéquez, le es de suma importancia este tipo de información, ya que el mismo se constituye como ente rector del recurso bosque.

En la población del municipio de Santa Lucia Milpas Altas, en Sacatepéquez, uno de los principales recursos explotados ha sido el suelo, con cultivos agrícolas tales como el maíz, ya que muchas personas se dedican a este cultivo, el recurso agua es otro que a lo largo de los años ha aumentado su demanda, al extremo que tanto la ubicación geográfica como el crecimiento poblacional no le favorece, siendo esta razón por la que este recurso se ha visto mermado en gran cantidad, no siendo suficiente para suplir las necesidades de la población.

En algunos casos se han visto en la necesidad de llegar a convenios con municipalidades vecinas, a negociar en materia de la disponibilidad, cantidad y calidad del recurso hídrico en el área. Siendo de esta misma manera como ocurre con el recurso bosque, ya que existe flujo de madera a nivel departamental como nacional. El bosque, suelo y agua, están íntimamente relacionados con los diferentes sistemas ecológicos existentes en nuestro entorno, de manera que: en la medida que alguno sufra modificación, todos los seres vivos que dependemos de ellos nos veríamos seriamente afectados.

2. JUSTIFICACIÓN

En la subregión V-I del Instituto Nacional de Bosques –INAB-, con sede en el departamento de Sacatepéquez, se cuenta con una gran gama de atribuciones dentro de las que se mencionan el controlar, administrar y preservar el recurso bosque, el cual a la vez está íntimamente relacionado con todos los recursos naturales existentes en una interacción suelo-planta-agua, la cual se traduce en efectos en el ecosistema del área de influencia; tales como los cambios climáticos, temperatura, humedad, vegetación, alteración del paisaje, entre otros.

Para el caso de Santa Lucia Milpas Altas, se carece en la actualidad, de una base de datos acerca de la existencia de los recursos naturales renovables y la distribución de los mismos; tampoco se cuenta con los mapas que ejemplifiquen dicha información.

Todo lo relacionado con la conservación del suelo, agua y planta en la localidad, es de suma importancia ya que el municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez, se constituye como cabecera de cuenca, y se encuentra en un área de influencia hidrológica muy importante actualmente y en la historia, ya que en dicha área se origina el cauce del río Pensativo, que es el protagonista de múltiples estragos a la ciudad de Antigua Guatemala, cabecera departamental de Sacatepéquez.

Con la realización de esta investigación se generó una base de datos que permite al Instituto Nacional de Bosques –INAB- ubicar y conocer la distribución de los recursos naturales existentes en el área del municipio de Santa Lucia Milpas Altas en el departamento de Sacatepéquez, y permite monitorear la velocidad con la que el ecosistema se ha modificado en el transcurso de los años.

3. UBICACIÓN DEL ÁREA

Santa Lucia Milpas Altas, Municipio del departamento de Sacatepéquez, se encuentra localizado a 34.5 km., de la ciudad capital de Guatemala y a 8 km., de la cabecera departamental Antigua Guatemala. Se encuentra organizado políticamente de la manera siguiente: Aldea Santo Tomas Milpas Altas, Colonia Santa Isabel, Colonia Seis de Enero, Aldea La Libertad, Parcelamiento Santa Rosa, Colonia El Paraíso, Colonia San José Las Cañas, Caserío El Triunfo, Asentamiento La Pinada.

Se encuentra a 1,970 metros sobre el Nivel del mar, tiene una Extensión Superficial de 19Km². (Solo la Cabecera) se encuentra limitada de la manera siguiente: Al Norte: Con San Lucas Sacatepéquez y San Bartolomé Milpas Altas, al Sur: Con Magdalena Milpas Altas, al Este: Con Villa Nueva y al Oeste: Con Antigua Guatemala y San Bartolomé Milpas Altas.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS PARA EL SERVICIO 2

- Compilar información sobre los recursos naturales existentes en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas en el departamento de Sacatepéquez.
- Generar mapas que permitan detallar la distribución y proporción en la que se encuentran los recursos naturales en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas en Sacatepéquez.
- Generar una base de datos digital, sobre la existencia de los principales recursos naturales existentes en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas, en Sacatepéquez.

5. METODOLOGÍA

5.1. Procedimientos

Para la realización de este servicio se ejecutaron tres fases, las cuales consisten en lo siguiente:

A) Fase inicial

1. Se realizó la revisión de las bases de datos existentes en el MAGA, MARN y mapas temáticos del IGN.
2. Se obtuvo todo el material y equipo necesario para el análisis de la información, tales como: fotografías aéreas, estereoscopio de espejos, hojas de papel calco y de acetato.
3. Se realizó la fotointerpretación de la información presente en las fotografías aéreas.
4. Se realizó la digitalización de los polígonos generados con la fotointerpretación.
5. Se analizó y tabuló la información actualizada presente en las fuentes del MAGA, MARN e IGN.

B) Fase de Campo

En esta fase se comprendieron actividades de campo y de laboratorio en el que se ejecutaron actividades importantes tales como:

1. Corroboración en campo de la información plasmada en la base de datos existente.
2. Corrección de la información y actualización de los mapas existentes.
3. Digitalización de los polígonos una vez corregidos con la inspección en campo.

C) Fase Final

Esta fase comprendió el análisis más importante y riguroso de la información ya generada; en la que se constituyeron actividades como:

1. Tabular la información colectada y elaborar gráficos.
2. Elaborar y presentar los mapas con la información generada.

5.2. Material y equipo

A continuación se presenta un cuadro con los materiales y el equipo que se hicieron necesario para la ejecución de este servicio:

Cuadro 1. Materiales y equipo a utilizar en la actividad

No.	Actividad	Material/Equipo	Cantidad	Unidad	Costo
1	Fase Inicial: ○ Revisión de base de datos ○ Fotointerpretación ○ Digitalización de polígonos ○ Análisis y tabulación de información preliminar.	○ Software & hardware. ○ Estereoscopio de espejos. ○ Papel	1	Estereoscopio	(*)
			50	Hojas de papel	(*) Q 5.00
2	Fase de Campo: ○ Corroboración de información en campo ○ Corrección y elaboración de mapas ○ Digitalización de polígonos	○ Vehículo (transporte) ○ Software & hardware ○ Papel ○ Tinta	100 km. (recorrido)	Dos visitas	Q 100.00
			100	Hojas	(*)
3	Fase Final: ○ Tabular información y elaborar gráficos ○ Presentación de mapas	○ Software & hardware ○ Papel ○ Tinta	2	Cartuchos	Q 10.00
					Q 150.00
				Total =	Q 265.00

Nota: (*) ya se posee

(**) El existente se utilizará para todas los pasos.

El costo total de realizar esta actividad fue de Q 265.00; el cual se deriva básicamente de la realización de actividades como visitas de campo y la compra de insumos tales como papel y tinta.

6. RESULTADOS

Cumplimiento del Objetivo 1

Santa Lucia Milpas Altas, se encuentra a 1,970 metros sobre el Nivel del mar, tiene una extensión superficial de 19 Km².

Se obtuvo información general en base a lo contenido en la base de datos del MAGA, INAB y FAUSAC sobre las proporciones, calidades y cantidades en las que se encuentran los recursos naturales presentes en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas, en Sacatepéquez en formato de imagen, la cual se ve plasmada en los mapas presentados en este documento en los apéndices.

Se obtuvo un mapa por cada recurso y su distribución, así como un mapa para cada situación encontrada.

En el caso de la información contenida en la base de datos consultada que no ameritaba elaborar un mapa, ya sea por el nivel de detalle en el que se encuentra la base de datos o por su irrelevancia, se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 2. Condición de algunos factores ambientales de Santa Lucia Milpas Altas,, Sacatepéquez.

No.	Factor Ambiental	Condición
1	Clima	Templado con invierno benigno, húmedo por su vegetación bosque, distribución de lluvia con invierno seco.
2	Drenaje	El drenaje predominante por el tipo de corrientes es Dendrítico
3	Zona de Vida	Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical (bh-Mb)
4	Vegetación natural típica	Quercus spp.
5	Especies de coníferas predominantes	P. pseudostrobus, P. montezumae
6	Relieve	Accidentado
7	Fisiografía (Gran paisaje)	Montañas Volcánicas del Centro del País
8	Cultivos Principales	Maiz (Zea maiz) , Frijol (Phaseolus vulgaris), Aguacate (Persea americana), Durazno(Prunus pérsica)
10	Temperatura	Según el archivo de INSIVUMEN, con estación en la finca, Florencia, nos da un promedio anual de temperatura máxima 22.44 grados centígrados y de temperatura mínima de 12.8 grados centígrados.
11	Viento	El promedio anual de velocidad del viento es de 17 Km/h., con

El Cuadro 2 continúa en la siguiente página

		una dirección predominante de Norte a Noreste, puede llegar a 20 y 22 Kilómetros por Hora.
12	Fitografía	<p>a) Árboles: Ciprés, Encino, Manzano, Huesito, Laurel, Clavillo, Cedro, Cajete, Eucalipto, Gravilea, Jocote, Café, Jacaranda, Limón, Cereza, Tinajita, Aguacate, Durazno, Ciruela, Níspero, Anona, Pinabete, Guinda, Mora, Membrillo.</p> <p>b) Plantas Ornamentales: Margaritas, Rosas, Azucenas, lirios, Cartucho, Clavel, Geranio, Bugambilia, Chinita, Mimosa, Siempreviva, Agapantos, Mala Madre, Azalea, Huele de Noche, Campana, Fucsia, Hortensia, Gladiola, Gloria de Mañana, Dalias Ninfas, Pelargonio, Crisantemos, Flor de Pascua, Jazmín, Uña de Gato y otras que por extensa variedad no se pueden clasificar.</p> <p>c) Plantas Medicinales: Hierbabuena, Ruda, Ajenjo, Apazote, Hoja de Naranja, Eucalipto, Pericón, Chichicaste, Perejil, Romero.</p>

En el municipio de Santa Lucia Milpas Altas, se observó una situación similar a la de muchos lugares en el país, refiriéndose principalmente al entorno ecológico natural, ya que por la influencia de los centros poblados y su crecimiento, la cantidad y calidad de los recursos naturales con los que cuenta, se ve seriamente afectada con forme el pasar de los años.

Para comprender en cierta manera el estado de los recursos naturales principales en el área municipal de Santa Lucia Milpas Altas, se elaboró el presente servicio profesional para el Instituto Nacional de Bosques –INAB- donde utilizando la base de datos cartográfica digital del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-; se elaboraron los mapas que muestran la condición en la que se encuentran determinados componentes del ambiente o el entorno natural del municipio y la tendencia que estos presentan a futuro.

Cumplimiento del Objetivo 2

Las imágenes que a continuación se presentan, son el resultado del análisis y trabajo de la información cartográfica digital del MAGA que concreta el objetivo 2 planteado en esta investigación.

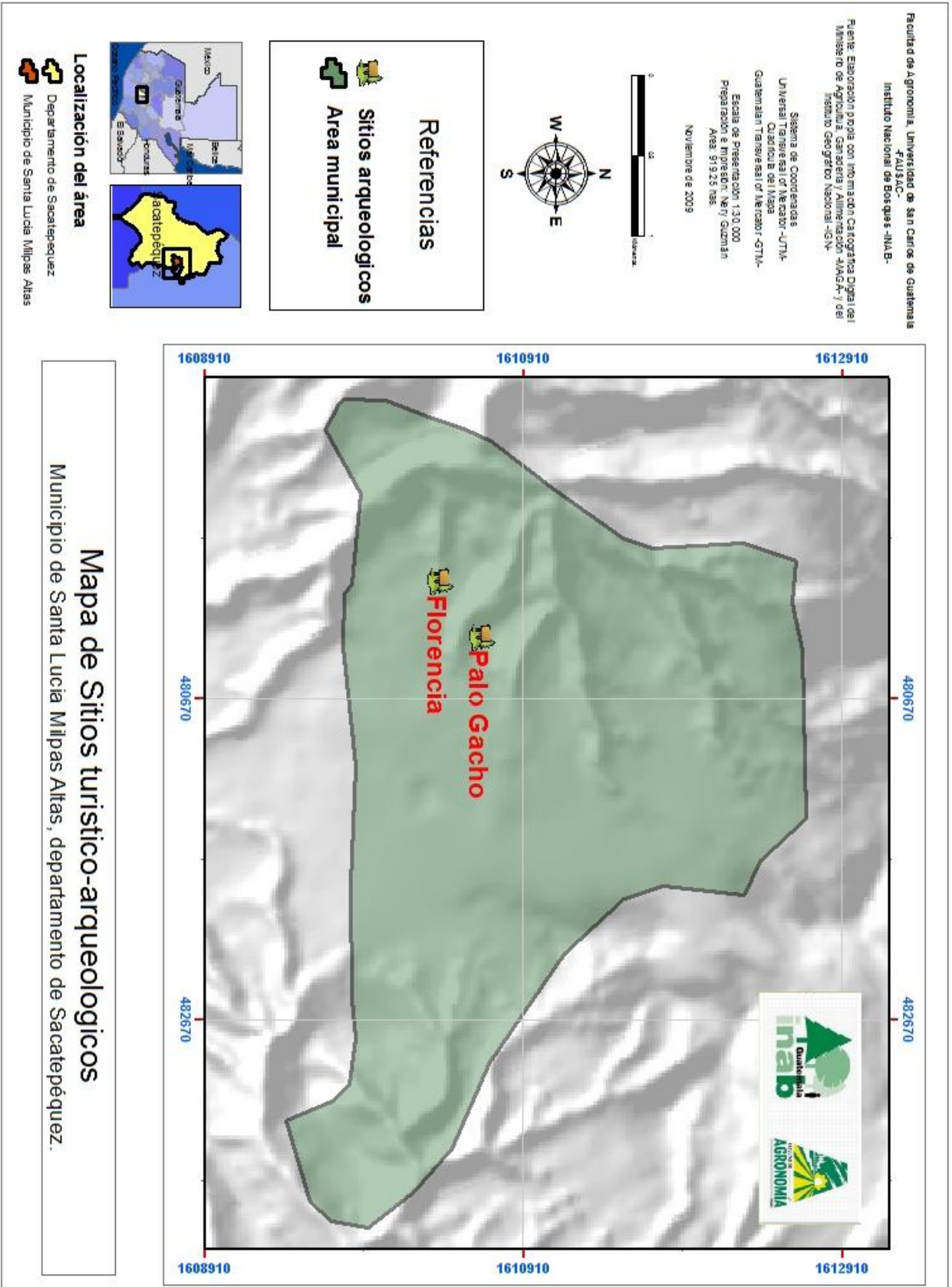


Figura 1. Mapa de sitios arqueológicos del municipio de Santa Lucia Milpas Altas

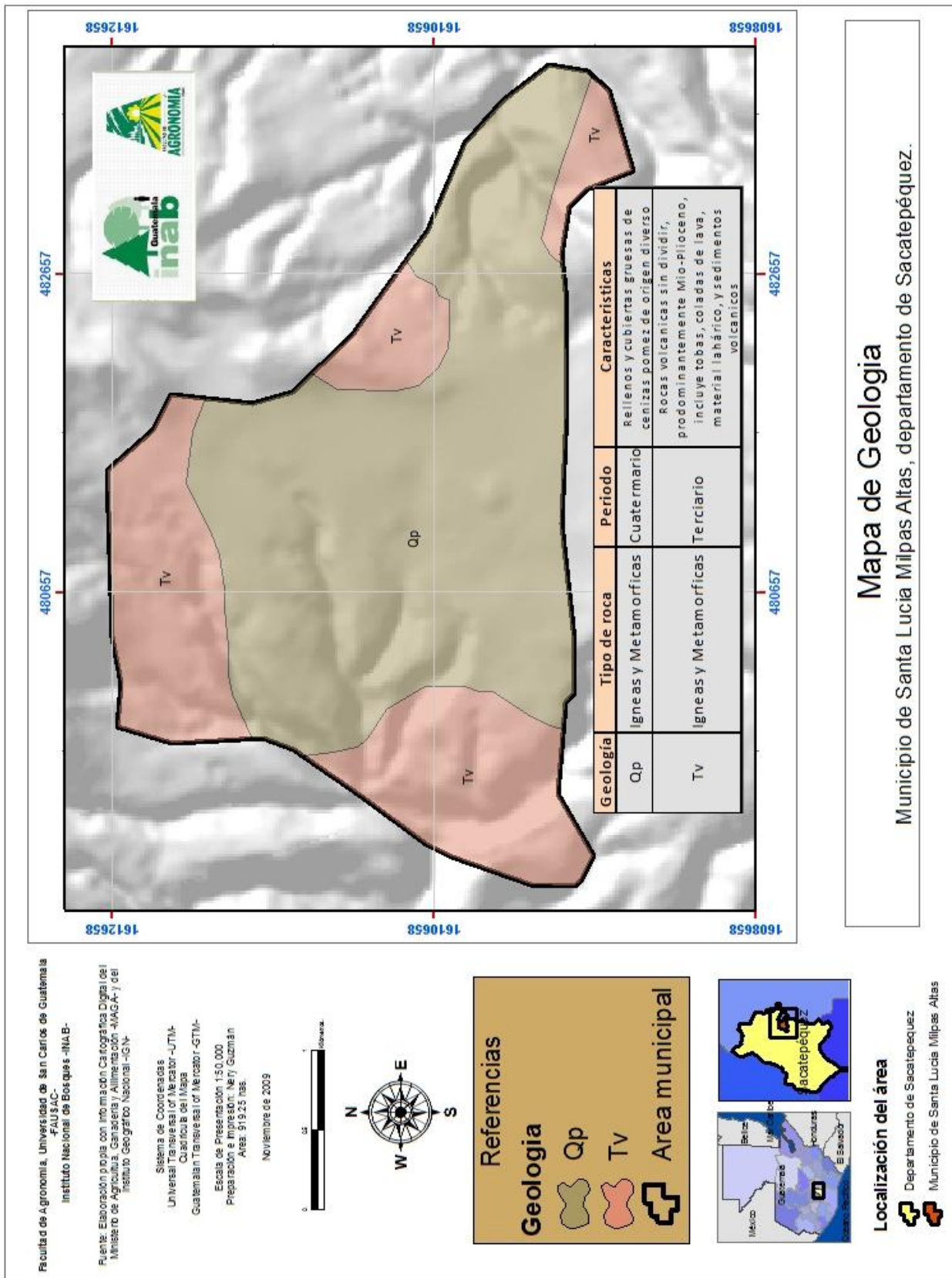


Figura 2. Mapa de Geología del municipio de Santa Lucia Milpas Altas.

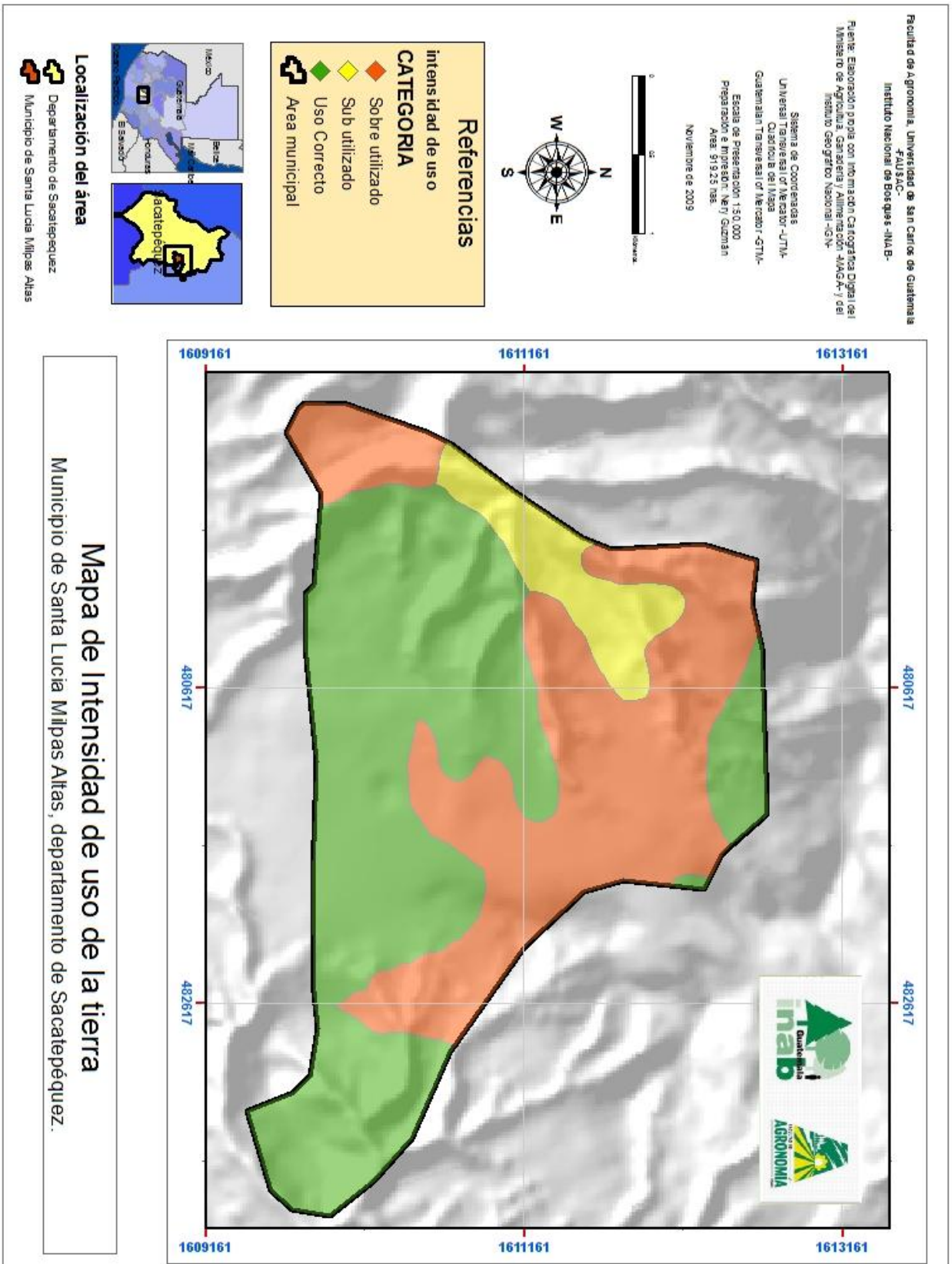


Figura 3. Mapa de intensidad del uso de la tierra en el municipio de Santa Lucía Milpas Altas

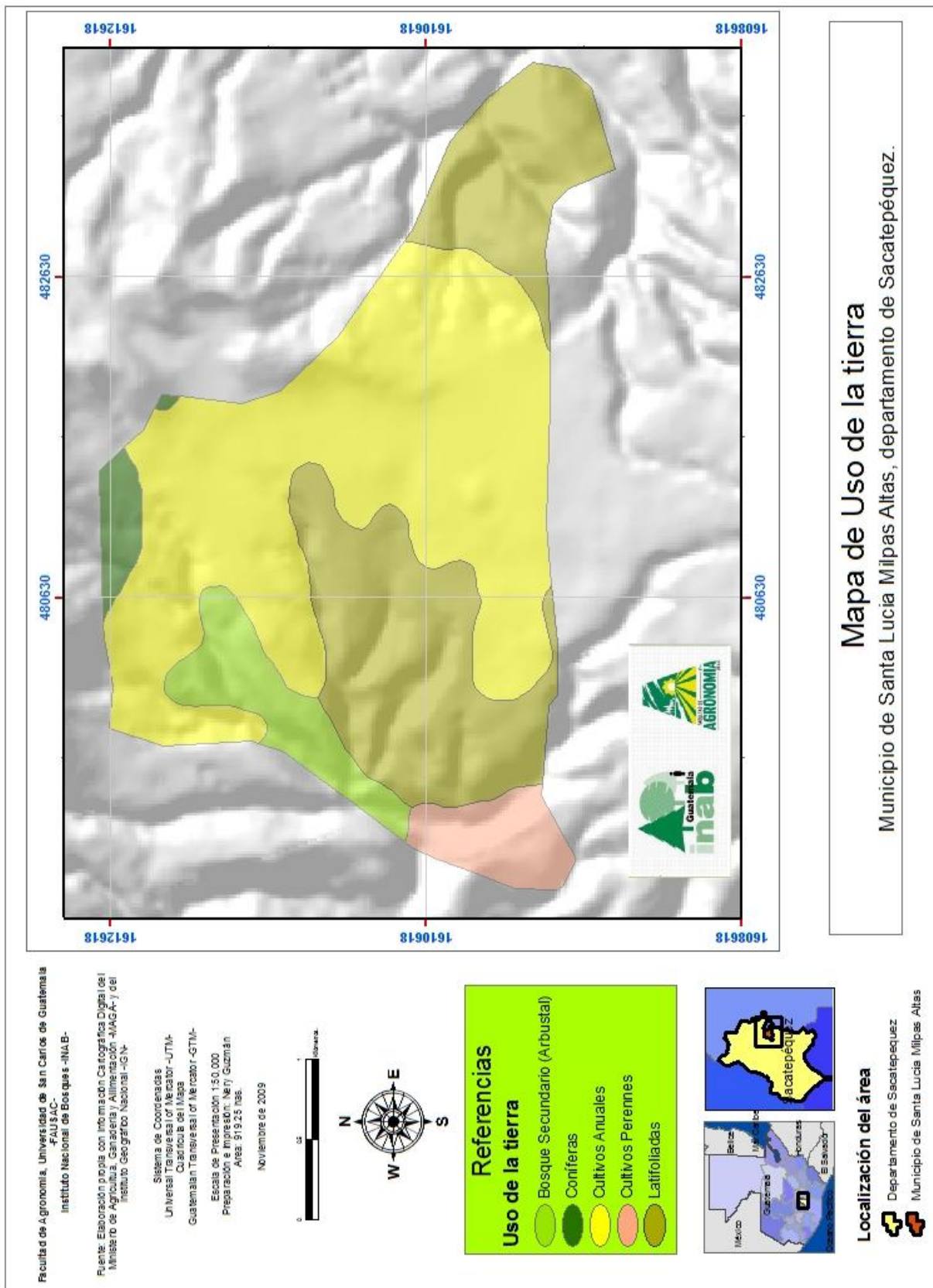


Figura 4. Mapa de uso de la tierra en el municipio de Santa Lucia Milpas Altas

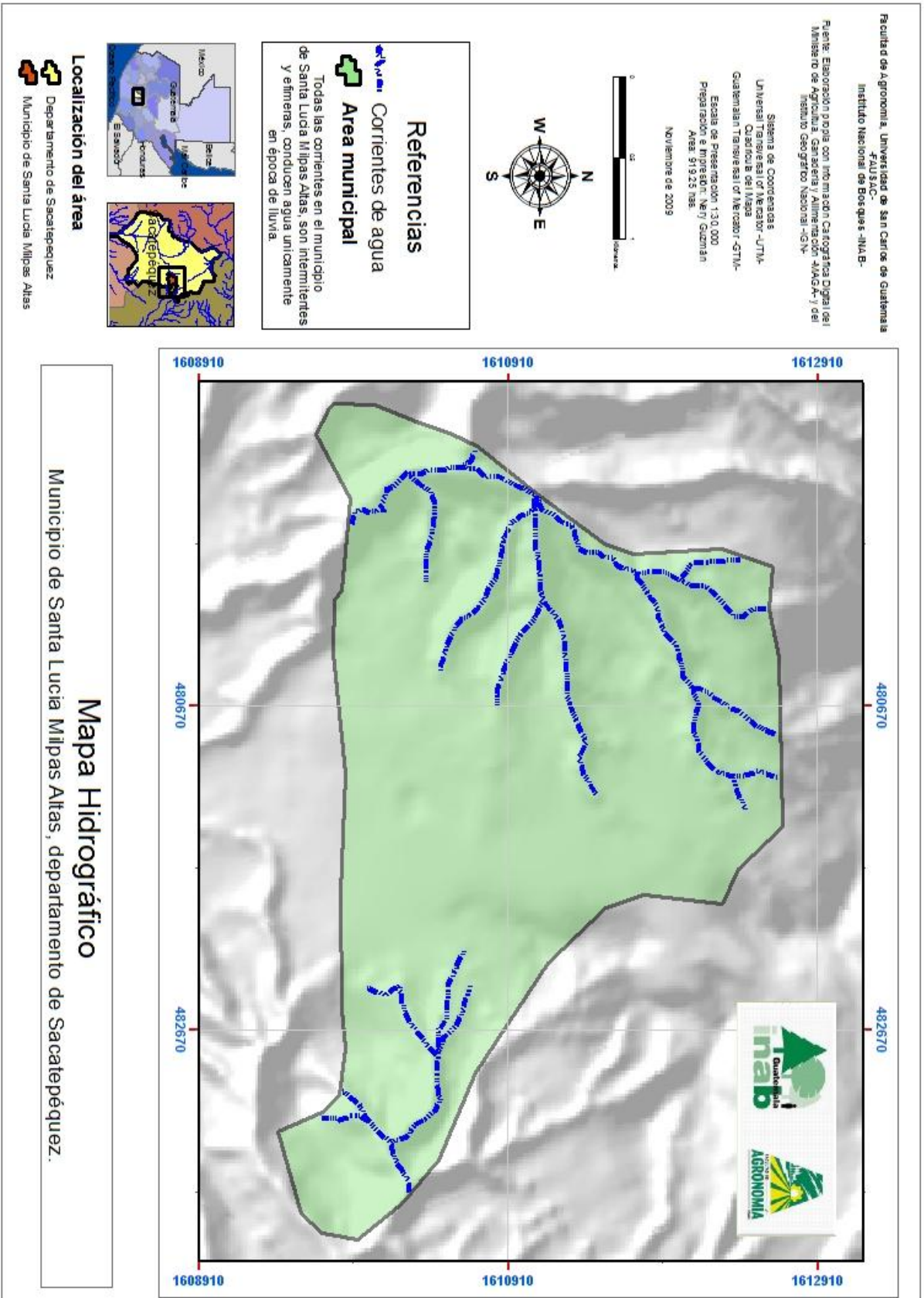


Figura 5. Mapa Hidrográfico del municipio de Santa Lucia Milpas Altas

Cumplimiento del Objetivo 3

De la anterior información cartográfica digital, existe una base de datos que quedo compilada a raíz del análisis y manejo de la información que posee el MAGA y el INAB por medio de análisis de Sistemas de Información Geográfica –SIG-, que a raíz de la elaboración del presente documento fue entregada al Subregión V- 1 del Instituto Nacional de Bosques con sede en Sacatepéquez para su uso y aplicación.

7. CONCLUSIONES

Objetivo 1

- Se logró compilar información relacionada con los recursos naturales de la zona municipal de Santa Lucía Milpas Altas, en la cual se contienen datos sobre clima, temperatura, vientos, cultivos principales, capacidad de uso, uso actual, intensidad de uso; lo cual permitirá una planificación del uso o tratamiento para el suelo y la tierra en el municipio.

Objetivo 2

- Las imágenes cartográficas que se generaron con el presente estudio, permiten a las personas o instituciones interesadas tales como el Instituto Nacional de Bosques en este caso, observar la situación en la que se encuentra el municipio en la actualidad y como se encontraba hace algún tiempo atrás, esto con fines de planificación y ordenamiento del territorio, para brindar mejores condiciones para las comunidades del municipio.

Objetivo 3

- La base de datos generada contiene imágenes de cartografía digital, que contiene información de la situación de los recursos naturales del lugar, según la base cartográfica del –MAGA- del 2003, la que permite hacer nuevos trabajos y actualizaciones de las imágenes presentadas en el presente estudio, para ser aplicadas en un futuro con fines de planificación de uso de la tierra, y al Instituto Nacional de Bosques –INAB- le servirá para conocer las áreas vulnerables y críticas al momento de la intervención humana, es decir, le permite tener un panorama de aquellas unidades de tierra que son susceptibles al desequilibrio ecológico a causa de la intervención del hombre, con actividades como aprovechamientos forestales, cambio de uso de la tierra y el avance de la frontera agrícola y urbana.

8. RECOMENDACIONES

- Actualizar las imágenes y la base de datos con nuevos trabajos de investigación (al menos cada 4 años) ya que las condiciones de los recursos naturales y el entorno es bastante dinámica y todas las manifestaciones de cambios con respecto a los recursos naturales, son en sentido inverso de mejorar las condiciones actuales, es decir que siempre se observa merma en la cantidad y calidad de los recursos naturales con forme el paso del tiempo, por lo que es necesario hacer un registro de estos comportamientos y someterlos a un análisis y planificación estratégica de los territorios.
- Incrementar el nivel del presente estudio en una próxima oportunidad, al grado que sirva como sustento para un Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Santa Lucia Milpas Altas, ya que se constituye como parte alta de la cuenca del río Achiguate y del río María Linda.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. INGUAT (Instituto Guatemalteco de Turismo, GT) 2008. Departamento de Sacatepéquez, INGUAT, (en línea) Guatemala, consultado 15 de marzo de 2008. Disponible en www.inguat.gob.gt.
2. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. 1 CD.
3. PAFG (Plan de Acción Forestal para Guatemala, GT); INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1998. Diagnóstico de la industria forestal de la región II, las Verapaces: proyecto piloto apoyo a la administración forestal en las oficinas regionales del INAB; componente de planificación regional. Guatemala, Proyecto GCP/GUA/007/NET. 45 p.

“Servicio 3”



Apoyar de forma técnica las labores de la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques, en Sacatepéquez

Las actividades técnicas en las que se brindó apoyo a la subregión V-I del Instituto Nacional de Bosques con sede en Sacatepéquez, se detallan en el cuadro siguiente:

Cuadro 1. Actividades de apoyo técnico realizadas en la subregión V-1 del INAB, en Sacatepéquez

No .	Actividad	Lugar de realización	Fecha
1	Fiscalización expendios de Leña	Antigua Guatemala	18/03/2008
2	Certificación PINFOR	Pastores	15/04/2008
3	Certificación PINFOR	Finca San Sebastián	16/04/2008
4	Certificación PINFOR	Finca Concepción	16/04/2008
5	Certificación PINFOR	Finca Monte María	23/04/2008
6	Certificación PINFOR	MAYACROPS	30/04/2008
7	Inspección Tala ilegal	Santa Lucia Milpas Altas	30/04/2008
8	Jurado calificador en concurso del día de la tierra.	Escuela oficial urbana de San Lucas Sacatepéquez.	24/05/2010
9	Certificación PINFOR	Parramos	09/06/2008
10	Compromisos de reforestación	Sumpango	23/07/2008
11	Compromisos de reforestación	Santa Lucia Milpas Altas	30/07/2008
12	Compromisos de reforestación	San Lucas Sacatepéquez	27/08/2008
13	Inspección de Plan de Manejo	San Lucas Sacatepéquez	27/08/2008
14	Inspección de Consumo	San Lucas Sacatepéquez	27/08/2008
15	Compromisos de reforestación	Finca Magdalena	03/09/2008
16	Fiscalizaciones de aserraderos	Pastores	08/10/2008
17	Monitoreo de plantaciones	Pastores	15/10/2008

Se encuentran datos de las anteriores actividades en la sede subregional del INAB en Sacatepéquez.

“Servicio 4”



Plan de trabajo para la caracterización y monitoreo de la industria forestal en la subregión V-1 del INAB en Sacatepéquez

ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL SERVICIO 4

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
1. Introducción.....	294
2. Definición.....	295
3. Justificación.....	296
4. Marco teórico.....	297
4.1. Marco conceptual.....	297
5. Objetivos.....	299
6. Metas.....	299
7. Metodología.....	300
7.1. Material y equipo.....	300
7.2. Procedimientos.....	300
8. Resultados esperados.....	304
9. Conclusiones.....	305
10. Recomendaciones.....	306
11. Bibliografía.....	306
12. Apéndices.....	307

1. INTRODUCCIÓN

Para lograr un desarrollo integral de las actividades de la Subregión V-1 del INAB en Sacatepéquez, se percibió la necesidad de investigar información relacionada con la industria forestal y los fines a los que están siendo destinados los volúmenes de madera que se registran en la subregión del INAB de Sacatepéquez.

De conformidad a las necesidades de la parte contractual el “Instituto Nacional de Bosques –INAB–”; de forma concreta se tiene La *caracterización de la industria forestal en el departamento de Sacatepéquez* como tal, actividad que conlleva el estudiar y localizar los distintos puestos de industrialización o transformación de la madera, encontrándose dentro de estos, distintos niveles de industrialización y/o transformación de la madera, tales como transformación primaria y secundaria que conlleva un proceso más avanzado.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en el departamento de Sacatepéquez, existe una gran presión sobre los recursos maderables, por lo que día a día incrementa la cantidad de industrias de la madera en el departamento, de las cuales no se ha tenido hasta el momento un monitoreo que permita saber la respuesta a la incógnita de siempre: ¿Qué cantidad de madera? se procesa en los distintos puestos de transformación maderera y los expendios de la materia prima; así mismo, no se tiene cuantificado cuanta madera proviene de fuera del departamento ni cuanta de la que se procesa es de procedencia local.

Esta actividad conlleva el estudiar y localizar los distintos puestos de industrialización o transformación de la madera, así como los expendios de materia prima; esto para establecer un control acerca de la cantidad y calidad de madera que se moviliza y/o procesa dentro del departamento de Sacatepéquez.

3. JUSTIFICACIÓN

Debido al crecimiento demográfico imperante en nuestro medio, existe una mayor presión sobre los recursos naturales en Guatemala y el mundo, es por ello que se debe tener un especial cuidado con estos, ya que se agotan a un ritmo más acelerado día con día, por lo que se hace sumamente necesario maximizar el nivel de control sobre el mismo, ya que todos dependemos de ellos para nuestra sobre vivencia y el hecho de que en algún momento, de forma desmedida y acelerada se estén agotando dichos recursos es motivo de sanciones severas para la parte que lo origine.

Para mantener un control de lo anterior se hace necesario el monitorear y contabilizar esos lugares donde se le aplica algún nivel de transformación a la madera, ya sea primario, secundario o algún otro nivel de transformación y/o aprovechamiento, la procedencia y el destino de esta; y así conocer cuánto de madera se utiliza en el lugar y establecer la demanda actual y futura de la misma, y por medio de ello inferir en la vasta necesidad de establecer plantaciones de especies forestales, de conservar los bosques naturales y ecosistemas vegetativos y reconocer la importancia del recurso bosque en la localidad u otras medidas que mitiguen la perdida de la cobertura vegetal en el departamento y en el país.

De todas las industrias madereras en Sacatepéquez es un alto porcentaje que no se conoce, esto debido a múltiples razones dentro de las que se menciona el hecho que, de mucha de la madera que circula en el mercado; no se tiene conocimiento de su procedencia, generando con esto depósitos, aserraderos y demás, de forma clandestina.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Marco conceptual

4.1.1. Antecedentes

La transformación de la madera en Sacatepéquez, es un rubro con un valor económico muy importante; ya que genera una gran fuente de ingresos y empleo para la población del departamento.

Para el Instituto Nacional de Bosques –INAB- que es la instancia estatal rectora y responsable de la conservación y aprovechamiento del recurso forestal en Guatemala (en conjunto con CONAP cuando se trate de áreas protegidas) es indispensable tener contabilizada y supervisada a la industria forestal, para establecer normas de regulación y la información de ¿Cuánto? de la explotación forestal autorizada para el departamento, es aprovechado y comercializado dentro o fuera del mismo.

Para el efecto de la caracterización de la industria forestal en el departamento de Sacatepéquez, es necesario realizar actividades de campo, tales como el recorrido por el departamento localizando las distintas industrias y mediante boletas elaboradas previamente (ver Apéndice 1 del servicio 4), coleccionar información tal como: la procedencia y el destino de la madera, el tipo de tratamiento o grado de transformación que ésta recibe; entre otras. Luego de ello tabularla, elaborar graficas y realizar el análisis de la misma, previo a presentarla como trabajo final.

Se sabe en forma muy general, de la existencia de muchas industrias en el departamento; mismas que con el paso del tiempo y el conocimiento de la importancia de la madera como material de construcción de muy buena calidad y bajo costo relativo; así como de materia prima para elaborar todo tipo de productos y arreglos como parte de las artesanías propias de Guatemala, teniendo estas una mayor concentración para el caso de Sacatepéquez, en la Antigua Guatemala.

4.1.2. Ubicación

a. Departamento de Sacatepéquez

Limita al Norte, con el departamento de Chimaltenango; al Sur, con el departamento de Escuintla; al Este, con el departamento de Guatemala; y al Oeste, con el departamento de Chimaltenango. La cabecera departamental se encuentra a 54 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala, siendo esta Antigua Guatemala.

Se encuentra en la región central de Guatemala, a una distancia de 45 km., de la capital, cuenta con 248,019 habitantes (censo INE 2002) tiene una extensión de 465 km², se localiza en las latitudes de 14° 33' 24" y longitudes de 90° 44' 02"; se encuentra a una Altura: 1,530 msnm (INGUAT, 2008).

b. Generales

Su nombre viene del vocablo pipil "sacat" que significa "monte o hierba" y "tepec" que quiere decir "cerro", por lo que se traduce como "cerro de hierba". A su Cabecera Departamental, Antigua Guatemala, se la conoce como "Ciudad de las perpetuas rosas", (reconocida por la UNESCO como patrimonio de la humanidad, en 1979) (INGUAT, 2008).

5. OBJETIVOS

General

Elaborar un plan de trabajo encaminado a la recolección de información a cerca de la industria forestal en la jurisdicción de la subregión V-I del Instituto Nacional de Bosques –INAB- con sede en Antigua Guatemala

Específicos

- ✓ Recopilar información sobre la procedencia, grado de transformación y las principales especies forestales comerciales del departamento de Sacatepéquez.

- ✓ Determinar la condición y el número de las industrias forestales, de transformación primaria y secundaria de la madera, así como de los centros de acopio y expendios de productos leñosos del bosque, en la subregión V-I del Instituto Nacional de Bosques –INAB- en Sacatepéquez.

- ✓ Determinar el rendimiento, capacidad instalada, volumen de producción, dimensiones, especies de materia prima, nivel tecnológico y mercados actuales de la industria de transformación de la madera.

6. METAS

- a) Determinar la cantidad y el tipo de industria que se encuentra en el departamento de Sacatepéquez.

- b) Conocer la cantidad en metros cúbicos de madera que se procesa en el departamento de Sacatepéquez.

7. METODOLOGÍA

7.1. Material y Equipo

En el siguiente cuadro se presentan los distintos materiales y las cantidades necesarias a utilizar en el desarrollo de las actividades de caracterización de la industria forestal, según el presente plan de trabajo:

Cuadro 1. Costos de los Materiales y Equipo a utilizar.

No.	Actividad	Material/Equipo	Cantidad	Unidad	Costo
1	o Información general acerca de la industria	o Software & hardware.	50	Hojas de papel	(*)
		o Papel			Q 5.00
		o Metodología de INAB	510	Km.	(**)
		o Boletas-encuestas-entrevistas			(***)
		o Transporte (vehículo)			Q 510.0 (***)
2	o Determinación del nivel tecnológico	o Software & hardware	100	Hojas	(*)
		o Papel			Q 10.00
		o Tinta	2	Cartuchos	Q 150.00
3	o Evaluación	o Software & hardware			(*)
		o Papel			(**)
		o Tinta			(**)
Total =					Q 675.00

Nota: (*) ya se posee

(**) El existente se utilizará para todas los pasos.

(***) Aun no se tiene el dato exacto este es un estimado.

Estos costos funcionan como aproximados, ya que están hechos únicamente para el caso de la visita o entrevista de una industria forestal. En vista de la cantidad de industrias con la que cuenta el departamento de Sacatepéquez y las diferentes distancias que hay entre ellas en el departamento, los costos variarían de conformidad con los anteriores aspectos; los cálculos anteriores se realizaron para las condiciones económicas del año 2008, con una tasa de cambio del dólar estadounidense de 8.05 (según la tasa de cambio de mayo de 2008)

7.2. Procedimientos

A) Información General acerca de la industria

Se compilará información sobre la industria forestal a través del internet, consultas a los centros de documentación forestal y entrevistas con personas expertas en el tema.

Se determinará el número de industrias forestales, depósitos, entre otros. Presentes en la subregión V-I del Instituto Nacional de Bosques –INAB-, consultando la base de datos del

registro nacional forestal publicado en la página web www.inab.gob.gt teniendo la información, se procederá a lo siguiente:

- Clasificar las industrias según lo siguiente (Álvarez, 2007)
 - Las que aplican transformación primaria a la madera.
 - Las que aplican transformación secundaria.
 - Las que exportan e importan productos madereros.
- Ubicar y cuantificar los depósitos de madera y leña en la subregión V-I del INAB en Sacatepéquez.
- Elaborar boletas dirigidas a industrias de transformación de la madera, así como a los expendios y depósitos de la misma (Ver apéndices) las cuales servirán como herramienta para coleccionar información relevante para diagnosticar el estado de la industria maderera de la subregión ya mencionada.
- Determinar el nivel tecnológico de cada una de las industrias, a través de una metodología utilizada en el diagnóstico de la industria forestal de las Verapaces propuesta por PAFG (GT)/INAB(GT), (1998).
- Una vez definida la población, se hará uso de la boleta y se encuestará a una muestra piloto del 10 % de las industrias, para poder validar la boleta y luego pasarla con carácter de censo a todas las industrias y depósitos de madera en el departamento de Sacatepéquez (Álvarez, 2007).

Contenido de las boletas dirigidas a las Industrias forestales de Sacatepéquez

Los principales aspectos evaluados a través de las boletas serán (según Álvarez 2007):

- | | |
|---|---|
| a) La materia prima que se trabaja o se recibe. | f) Destino de la producción. |
| b) Maquinaria y equipo. | g) Problemas que presenta el desarrollo de la industria forestal. |
| c) Descripción de la maquinaria principal. | h) Personal técnico. |
| d) Producción. | i) Tendencias del abastecimiento. |
| e) Tiempo de operación de la industria por año. | j) Mantenimiento de la maquinaria. |

Para lo anterior se cuenta con tres boletas (ver Apéndices) una destinada a la materia prima y comercialización de la madera, otra que trata sobre la maquinaria y procesos y la última que trata sobre la cantidad, calidad y los procesos de producción de madera aserrada.

Las boletas mencionadas se emplearán en forma de censo, cuyos resultados se tabularán, pregunta por pregunta en una hoja electrónica, así como analizados y presentados para su interpretación en forma de gráficas.

B) Determinación del nivel Tecnológico en el que operan las industrias.

Se determinará el nivel tecnológico de cada una de las industrias y asignándosele una ponderación numérica, según la metodología propuesta por PAFG (GT)/INAB (GT), 1998 a la cual se le harán modificaciones con el objetivo de adaptar la información a la subregión V-I del INAB en Sacatepéquez; la cual consiste en asignarle un valor de 100 puntos a cada boleta, los cuales se obtendrán sumando los valores de cada inciso o apartado, mismos que variarán en su ponderación según la relevancia del tema. Al final se hará un promedio de los puntajes totales obtenidos en cada boleta, que corresponderá a un valor en el rango de 0 a 100 puntos, mismo que servirá para encontrar el nivel de tecnología apropiado según lo siguiente:

- Se definirán determinados factores por cada boleta, evaluándose aspectos genéricos del proceso de producción; así como algunos aspectos cualitativos y cuantitativos, los cuales influyen en la eficiencia del proceso y en la calidad y reconocimiento del producto a obtener. Tales como: La procedencia de la materia prima, el mercado del producto final, el proceso de aserrío, el tipo y calidad de la maquinaria, entre otros.
- Cada factor se subdividirá en niveles a los cuales se les otorgara un valor comprendido en los rangos de 0 – 5 puntos y en un único caso de 0 – 6 puntos (ver Apéndices del Servicio 4).

Se emplearán cuatro categorías del nivel tecnológico, correspondiendo a cada una, un rango de valores muy sencillo y fácil de aplicar, siendo estos los siguientes:

1. Optimo nivel tecnológico: de 75 a 100 puntos. Siendo estas las industrias que tienen líneas eficientes de producción, e implementan técnicas adecuadas en el proceso productivo, poseen maquinaria y equipo no de recientes modelos, pero en muy buen estado; diversifican la producción con “producción de calidad para exportación”, tienen capacidad para responder a la demanda del mercado internacional y poseen personal con experiencia.
2. Aceptable nivel tecnológico: de 50 a 75 puntos: Esta se refiere a las industrias que poseen maquinaria y equipo mínimo para dar respuesta a la demanda inmediata, únicamente implementan algunas técnicas adecuadas en el proceso productivo, no existe diversificación en la producción, el producto de calidad se circunscribe a madera aserrada clasificada y su personal tiene conocimiento y experiencia limitada.
3. Bajo nivel tecnológico: de 25 a 50 puntos: En cuanto a este nivel, las industrias poseen la maquinaria y equipo mínimo para dar respuesta a la demanda inmediata, no implementan técnicas adecuadas en el proceso productivo, no existe diversificación en la producción, el producto de calidad se circunscribe a madera aserrada sin clasificar y su personal tiene conocimientos y experiencia limitada.
4. Muy bajo nivel tecnológico: de 0 a 25 puntos: En este nivel las industrias, más que como industrias, se consideran como empresas que operan con 3 maquinas principales, no aplican técnicas en el proceso productivo, no clasifican la madera aserrada su personal no tiene el mínimo de capacitación.

Los factores a evaluar serán: Disponibilidad permanente de materia prima, tipo de aserradero, línea eficiente de producción, otros factores que inciden sobre la producción, calidad del producto, secado de la madera, recuperación y tratamiento de residuos y calidad de la mano de obra (Álvarez, 2007).

8. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera facilitar la realización de una caracterización del sector “industria forestal” en el departamento de Sacatepéquez, por medio de la aplicación de herramientas técnicas y científicas que permitan coleccionar información, estas serán las siguientes:

- Boletas de encuestas que coleccionen información sobre el tipo de maquinaria que existe en cada aserradero.
- Boletas que permitan determinar el tipo y cantidad de madera que procesan los distintos aserraderos en el departamento de Sacatepéquez.
- Boletas que faciliten la colecta de información relacionada con el tipo, calidad y eficiencia de la maquinaria que opera en la industria forestal en la subregión V-I del INAB en Sacatepéquez.
- Determinar la procedencia de la madera que se destina para aserrío dentro de la subregión V-I del INAB, en Sacatepéquez.
- Determinar las cantidades y calidades de madera que se procesan en la industria forestal de la subregión V-I del INAB en Sacatepéquez.
- Determinar los fines a los que se destina la madera por especie en la subregión V-I del INAB, en Sacatepéquez.

9. CONCLUSIONES

- ✓ El presente plan de trabajo, permitirá recopilar información sobre la procedencia, grado de transformación y las principales especies forestales comerciales del departamento de Sacatepéquez.
- ✓ Así también facilitará la determinación y evaluación de la condición y el número de las industrias forestales, de transformación primaria y secundaria de la madera, así como de los centros de acopio y expendios de productos leñosos del bosque, en la subregión V-I del Instituto Nacional de Bosques –INAB- en Sacatepéquez.
- ✓ La ejecución del presente plan de trabajo, facilitará la determinación del rendimiento, capacidad instalada, volumen de producción, dimensiones, especies de materia prima, nivel tecnológico y mercados actuales de la industria de transformación de la madera en el departamento de Sacatepéquez.

10. RECOMENDACIONES

- a) Recolectar información actualizada en el “Registro Nacional Forestal”, acerca de los expendios de madera y aserraderos registrados en el departamento, para contar con el dato más exacto acerca de la cantidad y el tipo de industria con la que se cuenta.

- b) Hacerse acompañar de algún técnico forestal, ya sea del INAB en Sacatepéquez o de las municipalidades, para que brinden el apoyo como conocedores del área.

- c) Hacer una revisión previa a este plan de trabajo y adaptar o modificar la metodología, para que se acople a la situación actual, según sea el caso.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Castillo E. 2007. Diagnostico de la transformación primaria y secundaria de la madera en la región I, Metropolitana del Instituto Nacional de Bosques –INAB-, Guatemala, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 102 p.

2. INGUAT (Instituto Guatemalteco de Turismo, GT) 2008. Departamento de Sacatepéquez, INGUAT, (en línea) Guatemala, consultado 15 de marzo de 2008. Disponible en www.inguat.gob.gt.

3. PAFG (Plan de Acción Forestal para Guatemala, GT); INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1998. Diagnóstico de la industria forestal de la región II, las Verapaces: proyecto piloto apoyo a la administración forestal en las oficinas regionales del INAB; componente de planificación regional. Guatemala, Proyecto GCP/GUA/007/NET. 45 p.

12. APÉNDICES

(Boletas para colecta de información)



Universidad de San Carlos de Guatemala



Ejercicio Profesional Supervisado

Facultad de Agronomía USAC

Subregión V-1 Instituto Nacional de Bosques INAB, Sacatepéquez

Caracterización de la situación actual de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- Sacatepéquez

Objetivo: Caracterizar la situación de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- en Sacatepéquez.

Boleta No. 1: **Recopilación de información sobre la materia prima.**

Instrucciones: En las preguntas que a continuación encontrará, se plantean múltiples enunciados, para los que deberá colocar una “X”, y/o describir la(s) respuesta(s) que considere correcta(s).

Nombre de la Industria forestal: _____

Ubicación: _____ Coordenadas _____ / _____

Cuestionario

A. MATERIA PRIMA

1. Origen y época de abastecimiento (25 pts. Ver detalle al final del sub inciso)

Tipo de bosque	<input type="checkbox"/>	Época de abastecimiento (mes)	
1.1 Bosques/Plantaciones Municipales	<input type="checkbox"/>	_____	(5 pts.)
1.2 Bosques/Plantaciones Privadas	<input type="checkbox"/>	_____	(10 pts.)
1.3 Bosques/Plantaciones Propias	<input type="checkbox"/>	_____	(10 pts.)
1.4 Bosques Naturales	<input type="checkbox"/>	_____	(0 pts.)

2. Especies (25 pts.)

No.	Especie	Precio de venta x pie Tablar	Conífera	Latifoliadas
1				
2				
3				
4				
5				

3. Defectos más comunes (25 pts.) (*)3.1 Plagas 3.2 Manchas 3.3 Pudrición 3.4 Grietas 3.5 Quemaduras

3.6 Otros (especifique) _____

4. Características Generales (25 pts.)

No.	Especie	Dimensiones de Troza	
		Diámetro Mínimo Promedio DMP (Plg.)	Largo (Pies)
1			
2			
3			
4			
5			

Punteos totales por incisos:

Inciso A
 Sub inciso 1 =
 Sub inciso 2 =
 Sub inciso 3 =
 Sub inciso 4 =

Punteo total de boleta: _____

(*) En este caso si no presenta ningún defecto se le suman 25 pts., al punteo total, en caso presente algún defecto se le restan 5 pts., por cada uno.



Universidad de San Carlos de Guatemala



Ejercicio Profesional Supervisado

Facultad de Agronomía USAC

Subregión V-1 Instituto Nacional de Bosques INAB, Sacatepéquez

Caracterización de la situación actual de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- Sacatepéquez

Objetivo: Caracterizar la situación de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- en Sacatepéquez.

Boleta No. 2: **Recopilación de Información sobre la Maquinaria y Procesos**

Instrucciones: En las preguntas que a continuación encontrará, se plantean múltiples enunciados, para los que deberá colocar una “X”, y/o describir la(s) respuesta(s) que considere correcta(s).

Nombre de la Industria forestal: _____

Ubicación: _____ Coordenadas _____ / _____

Cuestionario

A. MAQUINARIA Y PROCESOS

1. Descripción de la Maquinaria

1.1 Maquinaria Principal (10 pts. Ver detalle en cada sub inciso)

1.1.1 Año de fabricación _____

1.1.2 Marca _____

1.1.3 Fuente de Energía:

1.1.3.1 Electricidad Potencia: _____ (3 pts.)

1.1.2.2 Motores Estacionarios Potencia: _____ (2 pts.)

1.1.2.3 Mixto Potencia: _____ (5 pts.)

1.1.4 Tiempo de Servicio (10 pts.) (*)

No.	Tipo de Sierra	Tiempo de Servicio y Rendimiento		
		Hrs. / Turno	Miles pie Tablar/turno	Turnos/día
1	Circular			
2	De Cinta			
3	Alternativa múltiple			
4	Otra			

1.2 Sierras (10 pts.) (*)

No.	Tipo de Sierra	Vol. Máx. de Producción (m ³)	No. De Operarios	Espesor de corte (mm.)	Potencia (Hp.)	Rendimiento (Pie o m ³ / hr)	Observaciones
1							
2							
3							
4							
5							

2. Procesos**2.1 Alimentación y Evacuación****2.1.1 Sistema de alimentación del patio de troza a la maquina principal**2.1.1.1 Mecánica (5 pts.)2.1.1.2 Fuerza animal (2 pts.)2.1.1.3 Fuerza hombre (0 pts.)2.1.1.4 Mixto (3 pts.)

(*) En estos casos, se empleara el criterio de la persona que realice la encuesta para designar el punteo, ya que según el tiempo de servicio de la sierra, esta brindara mejores resultados al aserrar, esto mismo varía según la calidad y el tipo de sierra.

2.1.2 Sistema de alimentación del aserradero principal a las maquinas secundarias

2.1.2.1 Manual (2 pts.)

2.1.2.2 Mecánica (5 pts.)

2.1.2.3 Mixto (3 pts.)

2.1.3 Sistema de evacuación de desperdicios

2.1.3.1 Manual (2 pts.)

2.1.3.2 Mecánica (5 pts.)

2.1.3.3 Mixto (3 pts.)

2.1.4 Recuperación de residuos y sus fines

2.1.4.1 Elaboración de sub productos (5 pts.)

2.1.4.2 Aserrín (2 pts.)

2.1.4.3 Venta local (leña u otros) (2 pts.)

2.1.4.4 Otros(Especifique) _____ (1 pts.)

2.2 Mantenimiento**2.2.1 Mantenimiento de sierras y cuchillas**

2.2.1.1 Poseen su propio taller de afilado (5 pts.)

2.2.1.2 Automático (4 pts.)

2.2.1.3 Manual (1 pts.)

2.2.2 Calidad en el mantenimiento de sierras y cuchillas (10 pts. Ver detalle)

2.2.2.1 Muy bueno (5 pts.)

2.2.2.2 Bueno (3 pts.)

2.2.2.3 Regular (2 pts.)

2.2.2.4 Malo (0 pts.)

2.3 Tratamiento y secado de la madera

2.3.1 Secado Natural Días de secado _____ C.H° _____ (4 pts.)

2.3.2 Secado Artificial Días de secado _____ C.H° _____ (6 pts.)

Punteos totales por incisos:

Inciso A
Sub inciso 1 =
Sub inciso 2 =

Punteo total de boleta: _____



Universidad de San Carlos de Guatemala
Ejercicio Profesional Supervisado



Facultad de Agronomía USAC

Subregión V-1 Instituto Nacional de Bosques INAB, Sacatepéquez

Caracterización de la situación actual de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- Sacatepéquez

Objetivo: Caracterizar la situación de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- en Sacatepéquez.

Boleta No. 3: Recopilación de Información sobre la Cantidad, Calidad y Los Procesos de Producción de madera aserrada.

Instrucciones: En las preguntas que a continuación encontrará, se plantean múltiples enunciados, para los que deberá colocar una “X”, y/o describir la(s) respuesta(s) que considere correcta(s).

Nombre de la Industria forestal: _____

Ubicación: _____ Coordenadas _____ / _____

Cuestionario

A. PRODUCCIÓN

1. Volumen de Producción ($\geq 32 \text{ m}^3/\text{día} = 10 \text{ pts.}$, $24 - 32 \text{ m}^3/\text{día} = 5 \text{ pts.}$, $8 - 24 \text{ m}^3/\text{día} = 2 \text{ pts.}$)

1.1 Diario	_____	m^3 <input type="checkbox"/>	Pie tablar	<input type="checkbox"/>
1.2 Mensual	_____	m^3 <input type="checkbox"/>	Pie tablar	<input type="checkbox"/>
1.3 Anual	_____	m^3 <input type="checkbox"/>	Pie tablar	<input type="checkbox"/>

2. Objetivo de producción

2.1 Tablón	<input type="checkbox"/> (2.5pts.)
2.2 Tabla	<input type="checkbox"/> (2.5 pts.)
2.3 Regla	<input type="checkbox"/> (2.5 pts.)

2.4 Otros (especifique) _____ (2.5 pts.)

3. Tiempo de operación de las instalaciones de la industria ($\geq 8 \text{ hrs./día} = 10 \text{ pts.}$, $4 - 6 \text{ hrs./día} = 5 \text{ pts.}$, $0 - 4 \text{ hrs./día} = 2 \text{ pts.}$)

3.1 Horas trabajadas al día	_____
3.2 Días trabajados a la semana	_____
3.3 Turnos trabajados al día	_____

4. Destino de la producción

4.1 Mercado local	(%producción)_____	(0 pts.)
4.2 Mercado nacional	(%producción)_____	(5 pts.)
4.3 Mercado internacional (%producción)	_____ País _____	(10 pts.)

B. DEBILIDADES (*)**1. Ubicación (10 pts.)**

- 1.1 Abastecimiento
- 1.2 Distancia a los mercados
- 1.3 Disponibilidad de energía
- 1.4 Vías de acceso

2. Calidad de la industria (10 pts.)

- 2.1 Tecnología del proceso
- 2.2 Calidad de la mano de obra
- 2.3 Capacidad y calidad de maquinaria
- 2.4 Mantenimiento

3. Marco Jurídico (10 pts.)

- 3.1 Leyes Laborales
- 3.2 Normas y Reglamentos
- 3.3 Ley Forestal

4. Mercado

- 4.1 Exigencias de mercado (2 pts.)
- 4.2 Tamaño de mercado (2 pts.)
- 4.3 Especies demandadas (2 pts.)
- 4.4 Competencias (2 pts.)
- 4.5 Oferta y demanda
- 4.5.1 Tendencias de oferta Alta Baja Estable Sin evidencia (1 pts.)
- 4.5.2 Tendencias de demanda Alta Baja Estable Sin evidencia (1 pts.)

(*) En este caso si no presenta ninguna debilidad se le suman 10 pts., al punteo total por cada sub-inciso, en caso presente alguna debilidad se le restan el numero de pts., promedio por cada uno, según sea el caso.

C. RECURSO HUMANO (15 pts.) ()**

No.	Área de Trabajo	No. de Trabajadores	Capacitados		Observaciones
			Si	No	
1					
2					
3					

Punteos totales por incisos:

Inciso A=
Inciso B=
Inciso C=

Punteo total de boleta: _____

(**) 75 a 100 % de los trabajadores están capacitados = 15 pts., de 50 -75 % = 10 pts., de 25 – 50 % = 5 pts., 0 – 25 % = 0 pts.)



Universidad de San Carlos de Guatemala
Ejercicio Profesional Supervisado
Facultad de Agronomía USAC



Subregión V-1 Instituto Nacional de Bosques INAB, Sacatepéquez

Caracterización de la situación actual de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- Sacatepéquez

Objetivo: Caracterizar la situación de la industria forestal en la subregión V-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- en Sacatepéquez.

Boleta No. 4: **Recopilación de Información sobre la procedencia de troza y destinos de la madera aserrada**

Instrucciones: En las preguntas que a continuación encontrará, se plantean múltiples enunciados, para los que deberá colocar una “X”, y/o describir la(s) respuesta(s) que considere correcta(s).

Nombre de la Industria forestal: _____

Ubicación: _____ Coordenadas _____ / _____

Cuestionario

A. PROCEDENCIA DE LA MATERIA PRIMA

. 1. Procedencia de materia prima (15 pts.)

Tipo de bosque o plantación	Municipio, Departamento
1.1 Bosques/Plantaciones Municipales	<input type="checkbox"/> _____ (5 pts.)
1.2 Bosques/Plantaciones Privadas	<input type="checkbox"/> _____ (10 pts.)
1.3 Bosques Naturales	<input type="checkbox"/> _____ (0 pts.)

2. Características y dimensiones de la materia prima

No.	Especie	Dimensiones de Troza	
		Diámetro Mínimo Promedio DMP (Plg.)	Largo (Pies)
1			
2			
3			
4			
5			

B. PRODUCTO ELABORADO**1. Tipo de producto (10 pts.)**

1.1 Tablón (2.5 pts.)

1.2 Tabla (2.5 pts.)

1.3 Regla (2.5 pts.)

1.4 Otros (especifique) _____ (2.5 pts.)

2. Dimensiones

No.	Producto	Dimensiones		
		Ancho (Plg.)	Alto (Plg.)	Largo (Pies)
1				
2				
3				
4				
5				

C. DESTINO (75 pts.)**1. Tipo de destino del producto (30 pts.)**

3.1 Local (5 pts.) **Cantidad:** _____ pies.

3.2 Nacional (10 pts.) **Cantidad:** _____ pies.

3.3 Internacional (15 pts.) **Cantidad:** _____ pies.

2. Especies por destino (30 pts.)

No.	Especie	Destino ^(*)	Precio de venta/1000 pie Tablar	Conífera	Latifoliada
1					
2					
3					
4					
5					

Total puntos= _____ pts.

3. Tipo de especie arbórea (15 pts.)

3.1. Endémicas (5 pts.)

3.2. Introducidas (10 pts.)

Punteos totales por incisos:

Inciso A=
Inciso B=
Inciso C=

Punteo total de boleta: _____

(*) Se suman los valores de los destinos del sub inciso 1 del inciso C, sin duplicar el valor por cada destino, hasta un máximo de 30 pts.