



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA VIRTUAL EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

DETERMINACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA  
DEL RÍO SAN JUAN LAS MINAS, ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA, GUATEMALA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA DIVISIÓN DE EDUCACIÓN Y  
LA ESCUELA DE POSGRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

FREDY AMILCAR GARCIA AGUIRRE

TURRIALBA, COSTA RICA

2021

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador del estudiante, como requisito para optar por el grado de

## MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS



### FIRMANTES:

William Jefferson Watler Reyes  
William Watler Reyes, M.Sc.  
Coasesor del Trabajo de Graduación

Sergio Velásquez Mazariegos, M.Sc.  
Coasesor del Trabajo de Graduación

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.  
Decano de la Escuela de Posgrado

Fredy Amílcar García Aguirre  
Candidato

## **DEDICATORIA**

A mi familia, especialmente a mi amada esposa Ana Silvia Luna y mi hija Amelia García Luna, quienes con paciencia, apoyo y acompañamiento me brindaron el soporte para culminar este proceso.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero agrónomo José Fabián Cabrera medina, mi amigo, quien, con su experiencia, buena voluntad y amistad formó parte muy importante en la etapa final de esta experiencia académica.

A mis asesores, por el apoyo, retroalimentación y seguimiento diligente, clave para la finalización de este proceso.

A mis compañeros cursantes y maestros, quienes compartieron sin limitaciones ni reserva su experiencia y conocimiento en cada tema, aportaron grandemente al fortalecimiento de mis conocimientos.

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Importancia.....	2
1.4. Objetivos.....	3
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....	3
2.1. Importancia de la recarga hídrica.....	3
2.2. Las cuencas hidrográficas en el manejo de las zonas de recarga hídrica.....	3
2.3. La seguridad hídrica .....	4
2.4. Factores que afectan la recarga hídrica de los acuíferos .....	4
2.5. Balance hídrico .....	6
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	7
3.1. Ubicación del área de estudio .....	7
3.2. Descripción del área de estudio .....	7
3.3. Procedimiento metodológico.....	8
<b>4. RESULTADOS</b> .....	13
4.1. Determinar mediante la ecuación del balance hídrico de Gunther Schosinsky, la recarga hídrica potencial de la microcuenca río San Juan Las Minas.....	13
4.2. Categorías de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas.....	18
4.3. Lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas .....	21
<b>5. ANALISIS DE LA EXPERIENCIA</b> .....	31
5.1. Determinación mediante la ecuación del balance hídrico de Gunther Schosinsky, la recarga hídrica potencial de la microcuenca río San Juan Las Minas .....	31
5.2. Determinación de las categorías de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas.....	32
5.3. Lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas .....	33
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	35
<b>8. LITERATURA CITADA</b> .....	36
<b>9. ANEXOS</b> .....	37

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Factores que afectan la recarga hídrica.....	4
<b>Cuadro 2.</b> Efectos e implicaciones de actividades en los acuíferos.....	5
<b>Cuadro 3.</b> Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural .....	11
<b>Cuadro 4.</b> Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural.....	11
<b>Cuadro 5.</b> Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural.....	12
<b>Cuadro 6.</b> Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural .....	12
<b>Cuadro 7.</b> Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica natural .....	12
<b>Cuadro 8.</b> Valores de los balances hídricos para cada unidad de mapeo .....	13
<b>Cuadro 9.</b> Valores interceptados para la generación de unidades de mapeo.....	14
<b>Cuadro 10.</b> Categorización de las áreas críticas de recarga hídrica potencial .....	18
<b>Cuadro 11.</b> Cálculos para definir las categorías de recarga hídrica .....	19
<b>Cuadro 12.</b> Categorización de las zonas de recarga hídrica .....	20
<b>Cuadro 13.</b> Lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica.....	24
<b>Cuadro 14.</b> Resumen de los balances hídricos realizados en la microcuenca .....	31
<b>Cuadro 15.</b> Valores utilizados para el cálculo de las constantes de humedad del suelo y la capacidad de infiltración según su textura .....	37
<b>Cuadro 16.</b> Valores de infiltración básica por efecto de la pendiente .....	38
<b>Cuadro 17.</b> Valores de infiltración básica por efecto de la cobertura vegetal .....	38
<b>Cuadro 18.</b> Porcentaje de horas de luz solar mensual respecto al año, latitud 15° N .....	38
<b>Cuadro 19.</b> Precipitación promedio mensual en la microcuenca .....	39
<b>Cuadro 20.</b> Temperatura promedio mensual en la microcuenca.....	40

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Límite de la microcuenca del río San Juan Las Minas.....	7
<b>Figura 2.</b> Distribución de las unidades de mapeo en la microcuenca .....	15
<b>Figura 3.</b> Categorías de uso actual de la tierra en la microcuenca.....	16
<b>Figura 4.</b> Series de suelos presentes en la microcuenca .....	17
<b>Figura 5.</b> Tipos de materiales geológicos presentes en la microcuenca.....	18
<b>Figura 6.</b> Mapa de distribución de las categorías de recarga hídrica potencial en la microcuenca del río San Juan Las Minas.....	21
<b>Figura 7.</b> Intensidad de uso de la tierra en la microcuenca .....	22

## **Acrónimos, abreviaturas y unidades**

GWP:	Global Water Partnership
INAB:	Instituto Nacional de Bosques
CONRED:	Coordinadora Nacional para la reducción de desastres
MARN:	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
PDM:	Plan de Desarrollo Municipal
SEGEPLAN:	Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia de Guatemala
COCODE:	Comité Comunitario de Desarrollo
°C:	Grados centígrados
mm:	Milímetros
Km:	Kilómetro
Km <sup>2</sup> :	Kilómetro cuadrado

## **RESUMEN**

El presente trabajo determinó las áreas potenciales de recarga hídrica natural de la microcuenca del río San Juan Las Minas, la cual se ubica en el municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa, Guatemala.

La determinación de dichas áreas fue posible a través diferentes procesos intermedios; elaborando inicialmente un balance hídrico del área, a través de la aplicación de la metodología propuesta por Gunther Schosinsky (2006), el cual demostró que de manera anual se recargan 21.38 milímetros en el área.

Con base en los resultados de los balances hídricos obtenidos para cada unidad homogénea, se aplicó la metodología propuesta por Bardales (2010) para determinar áreas críticas de recarga hídrica; posteriormente se realizó un reajuste en la metodología y se generaron cuatro categorías de recarga hídrica distribuidas en la microcuenca de interés.

Haciendo uso de imágenes satelitales recientes y el conocimiento previo del área, se determinó el uso actual del suelo para posteriormente correlacionarlo con la capa de capacidad de uso y obtener un nuevo mapa de intensidad de uso.

La sobreposición de las diferentes intensidades de uso con las categorías de recarga sirvió como base para la postulación de lineamientos generales para la gestión integral de la microcuenca, pudiendo ser estos a ejecutables a corto, mediano y largo plazo por los actores identificados.

## **SUMMARY**

The present work determined the potential natural water recharge areas of the San Juan Las Minas river micro-basin, which is located in the municipality of Asunción Mita, Jutiapa department, Guatemala.

The determination of these areas was possible through different intermediate processes; initially elaborating a water balance of the area, through the application of the methodology proposed by Gunther Schosinsky (2006), which showed that 21.38 millimeters are recharged annually in the area.

Based on the results of the water balances obtained for each homogeneous unit, the methodology proposed by Bardales (2010) was applied to determine critical areas of water recharge; subsequently, a readjustment of the methodology was carried out and four categories of water recharge were generated and distributed in the micro-basin of interest.

Using recent satellite images and previous knowledge of the area, the current land use was determined to later correlate it with the use capacity layer and obtain a new use intensity map.

The overlapping of the different intensities of use and the recharge categories, served as the basis for the postulation of general guidelines for the integral management of the micro-basin, and these could be executable in the short, medium and long term by the identified actors.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

De acuerdo con SEGEPLAN (2006), Guatemala reporta un caudal total de 97,120 millones de metros cúbicos de agua, de los cuales se estima que 33,699 metros cúbicos corresponden a aguas subterráneas.

Para el año 2014, la disponibilidad de agua per cápita en Guatemala se encontraba entre los rangos de 5,983 y 9,930 metros cúbicos por habitante por año; este rango se encuentra por arriba del umbral del estrés hídrico<sup>1</sup> y el de escasez hídrica<sup>2</sup> (Bastarreacha y Guerra, 2019).

Los escenarios más pesimistas a futuro en cuenta al avance del cambio climático en el país proyectan que la temperatura podría incrementarse entre 0.5 a 3.5° C para el año 2050 y hasta 6° C para finales de siglo en Guatemala, así como también, la precipitación disminuiría hasta en un 30% hacia finales del siglo, lo que presentaría un riesgo principalmente en las regiones secas del país (Rivera; Bardales y Ochoa, 2019). Se estima también que, en Guatemala, para el año 2030, la demanda de agua podría crecer un 140% y la disponibilidad total de agua disminuir un 25% (Bastarreacha y Guerra, 2019).

A futuro, la presión que existirá sobre los recursos hídricos será fuerte debido a la creciente demanda y a la escasa disponibilidad del recurso, por tal razón, se necesitará realizar una adecuada gestión del recurso a nivel nacional, en ese sentido, tal y como menciona Bastarreacha y Guerra (2019), se necesitará definir un volumen ecológico, entendida como la cantidad de agua necesaria para el mantenimiento y la reproducción de los ecosistemas, la conservación de la diversidad biológica, los bienes y servicios que estos proveen y las reservas hídricas superficiales y subterráneas en el presente y en el futuro.

Con la información sobre la situación de los recursos hídricos, es importante que las autoridades locales (sobre todo las municipalidades) reconozcan la importancia de la seguridad hídrica, y de las implicaciones de esta sobre la calidad de vida de sus habitantes. Para afrontar estos escenarios, Bastarreacha y Guerra (2019) indica que la elaboración de balances hídricos a nivel mensual de las principales cuencas, subcuencas y microcuencas del país debe ser una prioridad, todo esto, para reconocer con mayor fiabilidad la disponibilidad de agua superficial y subterránea durante todo el año, así como también, el estudio de las causas y efectos de la situación de los recursos naturales y de las medidas a tomar en las principales cuencas del país.

### **1.2. Justificación**

En la microcuenca del río San Juan Las Minas, una de las principales razones por las que se tiene un sobreuso de la tierra en la parte alta (oeste de la microcuenca) y parte media de esta es por la deforestación, el cual cubre un superficie de 329.04 hectáreas; el cambio de uso de la tierra generalmente se genera por el avance de la frontera agrícola y la ganadería debido

---

<sup>1</sup> 1,700 metros cúbicos por habitante por año

<sup>2</sup> 1,000 metros cúbicos por habitante por año

a que ambas actividades se desarrollan sin asesoría técnico-científica que reduzca sus impactos.

Según Matus Silva (2007), desde el punto de vista de la planificación del recurso hídrico es necesario que se tenga información de las áreas que están facilitando la infiltración del agua permitiendo así la recarga hídrica; esto con el propósito de que se adopten tecnologías y se aplique prácticas adecuadas que favorezcan la recuperación, conservación y aprovechamiento del recurso hídrico.

Históricamente en la microcuenca del río San Juan Las Minas no ha existido lineamientos claros que dicten el manejo y la gestión de los recursos naturales dentro la misma y el deterioro de estos es evidente. Parte de esto, se debe a la falta de una planificación que incluya la identificación de las zonas de recarga hídrica.

Actualmente el gobierno municipal e instituciones de gobierno tales como el Ministerio de Agricultura y Alimentación, Ministerio de Ambiente, y la Coordinadora para la reducción de desastres, con presencia en el municipio no ejecutan suficientes actividades que mejoren las condiciones de vida o las condiciones productivas de las aldeas dentro de la microcuenca o actividades que reduzcan los impactos (avance de la frontera agrícola, sobre uso del suelo, contaminación del recurso hídrico, entre otros) que las personas están ejerciendo en el área y sobre los recursos naturales.

La falta de conocimiento sobre la ubicación de las zonas de recarga hídrica y la falta de un plan de manejo integral de las zonas de recarga hídrica, han hecho que, entre otros efectos, actualmente ya se presente un desabastecimiento de agua en los hogares (sobre todo durante la época seca del año) de las aldeas que toman el recurso de un nacimiento ubicado dentro de la microcuenca y por consiguiente, se presente la reducción de la calidad de vida de los hogares conectados a la red de distribución alimentada por esta fuente de agua.

### **1.3. Importancia**

En el presente trabajo, se determina las áreas de recarga hídrica natural de la microcuenca, como un primer paso para definir su línea base, para posteriormente implementar acciones de manejo integral en el área, lo que aseguraría el mantenimiento y la recuperación de la capacidad de recarga hídrica natural, y por consecuencia la estabilidad del caudal base de la red de distribución conectada al nacimiento de interés.

Según la Dirección de Planificación de la Municipalidad de Asunción Mita, las viviendas que son abastecidas actualmente por el nacimiento ubicado dentro de la microcuenca comprenden aproximadamente 100 viviendas, los cuales serían los beneficiarios directos del resultado de las acciones de manejo integral. Sin embargo, toda acción que se realice para el manejo y conservación de los recursos naturales dentro de la microcuenca impactaría a todos los habitantes de esta, los cuales se encuentran distribuidos en tres aldeas, San Juan Las Minas en su parte baja (305 habitantes), Asuncioncita (150 habitantes) y La Asunción en su parte alta (512 habitantes).

De esta forma, el trabajo se convierte en una investigación básica para las autoridades municipales, debido a que con la información del estudio, se podrán dar las respuestas a las

recomendaciones establecidas por Bastarrechea y Guerra (2019) que como ya se indicó en los párrafos anteriores, recomiendan que se tenga información sobre balances hídricos a nivel de cuencas, subcuencas y microcuencas con la finalidad de reconocer con mayor fiabilidad la disponibilidad de agua subterránea durante todo el año, y así asegurar el acceso al recurso hídrico a largo plazo y garantizar a la población su seguridad hídrica.

#### **1.4. Objetivos**

##### **Objetivo General**

- Determinar las áreas potenciales de recarga hídrica natural dentro de la microcuenca del río San Juan Las Minas, Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala

##### **Objetivos específicos**

- Determinar mediante balances hídricos del suelo, la recarga hídrica potencial de la microcuenca río San Juan Las Minas
- Categorizar las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas con la finalidad de realizar un mapa potencial de áreas de recarga hídrica
- Proponer lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas

## **2. MARCO REFERENCIAL**

### **2.1. Importancia de la recarga hídrica**

La recarga es el nombre que se le da al proceso que permite que el agua alimente un acuífero. Este proceso ocurre de manera natural cuando la lluvia percola hacia un acuífero a través del suelo o roca (INAB, citado por Matus 2007).

De acuerdo con Faustino, citado por Matus (2007), normalmente los acuíferos se recargan de forma natural con la precipitación que se infiltra en el suelo y en las rocas. En el ciclo geológico normal el agua suele entrar al acuífero en las llamadas zonas de recarga, atraviesa lentamente el manto freático y acaba saliendo por las zonas de descarga, formando manantiales y fuentes que devuelven el agua a la superficie.

La recarga hídrica es considerada una función de regulación en los ecosistemas; dicha función según lo indicado por Groot, citado por Gómez-Baggethun y Groot (2007), son todos aquellos aspectos de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas con capacidad de generar servicios que satisfagan las necesidades humanas de forma directa o indirecta. Estas funciones, desde un punto de vista antropocéntrico se denominan servicios de los ecosistemas (servicios ecosistémicos). Estos servicios, son componentes de la naturaleza; disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano.

### **2.2. Las cuencas hidrográficas en el manejo de las zonas de recarga hídrica**

La cuenca hidrográfica, sea en forma independiente o interconectada con otras, es la unidad territorial más aceptada para la gestión integrada de los recursos hídricos. Las políticas

para utilizar el territorio de una cuenca como base para la gestión del agua han tenido diferentes enfoques y una desigual evolución en los países de América Latina y el Caribe. A pesar de los obstáculos existentes, se observa un interés generalizado por crear y operar organismos de cuenca para mejorar la gestión integrada del agua. El tema ha recobrado vigencia en los años recientes, debido a que los países de la región están tratando de lograr metas de gestión integrada de los recursos hídricos y de desarrollo sustentable – ODS (Dourejeanni et al, 2002, citado por Donis 2015).

Con relación a las zonas de recarga hídrica son una parte importante del sistema hidrológico de una cuenca hidrográfica, y al presentarse cualquier fenómeno que altere su estado provocaría un efecto negativo que se vería reflejado en los acuíferos y por consiguiente, en el aprovechamiento de la cantidad y calidad del agua, caracterizados por mecanismos de uso poco eficiente del recurso (New Jersey Stormwater 2004, citado por Donis 2015).

A nivel de cuenca es necesario proteger y mantener las zonas potenciales de recarga hídrica de manera que se garantice la calidad y cantidad de recurso hídrico, ya que, repercute en el bienestar de todo ser vivo (Longwood University, 2003, citado por Donis 2015).

### 2.3. La seguridad hídrica

La seguridad hídrica puede definirse como la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua (Grey y Sadoff, 2007, citado por Sadoff y Muller 2010).

Para alcanzar la seguridad hídrica, entre otras prioridades, se necesita invertir en la información y herramientas necesarias para predecir, planificar y enfrentar la variabilidad climática. Dichas inversiones ayudan a las sociedades a adaptarse al cambio climático en el largo plazo y a manejar la variabilidad y los impactos del clima actuales, proporcionando de esta manera seguridad hídrica a las poblaciones y a los países más necesitados del mundo (Sadoff y Muller 2010).

### 2.4. Factores que afectan la recarga hídrica de los acuíferos

De acuerdo con INAB (2004), entre los factores que afectan la recarga hídrica se pueden agrupar de la siguiente manera (Cuadro 1):

**Cuadro 1.** Factores que afectan la recarga hídrica.

Grupo	Factores	Descripción
Clima	Evapotranspiración	En muchos lugares del mundo, el 70% de la precipitación que llega a la tierra es devuelta a la atmosfera por evapotranspiración. Desde el punto de vista hidrológico, la evapotranspiración entra, dentro del balance hídrico, en el considerado de pérdidas.
	Precipitación pluvial	El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio

<b>Grupo</b>	<b>Factores</b>	<b>Descripción</b>
		hidrológico, para cuantificar los recursos hídricos que entran dentro de un territorio pues generalmente es la única entrada de agua que existe.
Suelo	Textura	La textura se sabe que es la proporción relativa en que se presentan los distintos materiales solidos que componen el suelo.
	Densidad aparente	Este factor de suelo da a conocer el volumen que ocupa realmente el material solido en el suelo debido a la cantidad de poros del suelo, los cuales están llenos de aire o agua.
	Grado de saturación del suelo	La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente juegan un importante papel en los fenómenos como la evapotranspiración de indiscutible influencia sobre el ciclo hidrológico.
	Capacidad de infiltración	La capacidad de infiltración es la cantidad de agua (en lamina) que el suelo es capaz de absorber por unidad de tiempo (mm/h, cm/min o cm/h)
Topografía	Estratigrafía geológica	La disposición de los diferentes materiales geológicos puede afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica.
Cobertura vegetal	Profundidad de la zona radicular	Determina en gran parte la lámina de agua aprovechable por los cultivos y las plantas.
	Retención de la cobertura vegetal	La retención debida a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de lluvia anual.

Fuente: INAB (2004)

El mal manejo de los recursos naturales, el crecimiento demográfico, urbanístico sin una buena planificación, el aumento industrial y la expansión de las fronteras agropecuarias conducen a los siguientes efectos e implicaciones en los acuíferos (Losilla, 1986, citado por Matus, 2007):

**Cuadro 2.** Efectos e implicaciones de actividades en los acuíferos

<b>Actividades</b>	<b>Implicaciones en el acuífero</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor explotación de las aguas subterráneas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descenso de niveles de agua</li> <li>Aumento en costos de bombeo</li> <li>Intrusión de aguas salinas en zonas costeras</li> <li>Disminución de descargas naturales</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impermeabilización de suelos</li> <li>• Deforestación</li> <li>• Construcciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor recarga (menor potencial de los acuíferos, aumento de la escorrentía superficial y erosión en zonas de recarga hídrica)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensificación de actividades humanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación de agua y suelo</li> </ul>

Fuente: Matus (2007)

## 2.5. Balance hídrico

De acuerdo con Jiménez (2006), citado por Matus (2007), el balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera, esto nos permite cuantificar los recursos hídricos a diferente escala como parcela, finca, cuenca, región y las modificaciones del mismo por influencia de las técnicas de manejo de la agricultura y de las actividades del hombre en general.

El balance hídrico permite establecer en áreas determinadas las ganancias y pérdidas de agua, siendo su aplicación de enorme trascendencia en diferentes áreas:

- El manejo del riego (dosis y frecuencias)
- La elaboración de calendarios agrícolas
- Estimación de la pérdida de suelo (erosión) y nutrientes en el proceso de escorrentía superficial
- Comparación de la eficiencia en el uso de agua por diferentes combinaciones árbol-cultivo
- La planificación y evaluación de los recursos hídricos de una cuenca, una región, una zona bajo riego, etc., así como las modificaciones por influencia de las actividades del hombre
- La elaboración de zonificaciones climáticas y agroclimáticas

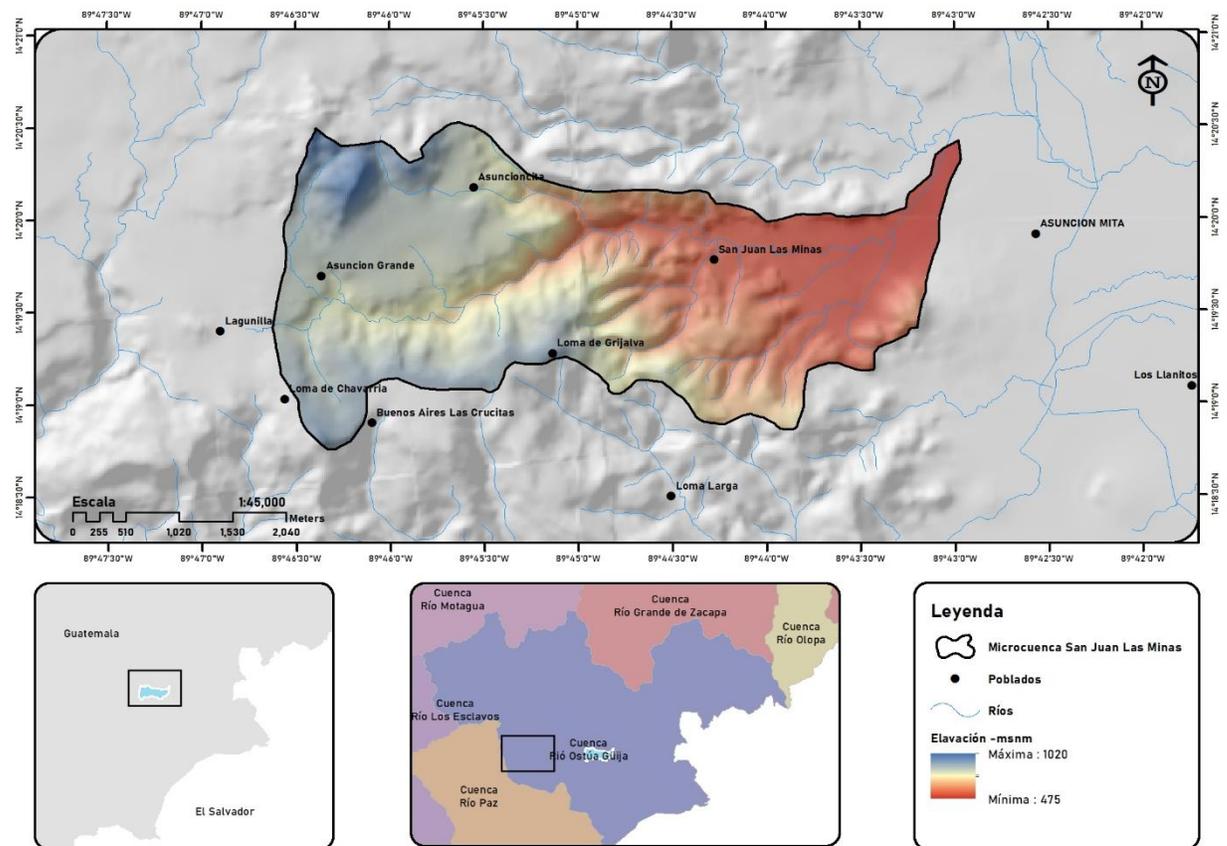
El balance hídrico proporciona información de la oferta hídrica, es decir, de la cantidad de agua que disponemos para las diversas actividades; mientras que la demanda hídrica está condicionada por el consumo en metros cúbicos necesarios para satisfacer los diferentes usos. Esto nos dimensiona la importancia de contar con el balance hídrico; ya que nos brinda los elementos precisos en la toma de decisiones en torno al aprovechamiento de los recursos hídricos de una forma racional y sostenible.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

La microcuenca río San Juan Las Minas, se encuentra ubicado dentro del municipio de Asunción Mita, en el departamento de Jutiapa, Guatemala, forma parte de la cuenca del río Ostua-Guija, y del corredor seco guatemalteco.

Cuenta con un área total de drenaje de aproximadamente 13.4 km<sup>2</sup>, con una longitud del río principal de 4.32 Km; geográficamente se localiza entre las coordenadas 14° 19' 42.80" Norte y 89° 44' 53.28" Oeste.



**Figura 1.** Límite de la microcuenca del río San Juan Las Minas

#### 3.2. Descripción del área de estudio

La microcuenca del río San Juan Las Minas pertenece a la cuenca Ostua-Güija y desemboca en el río Ostua, en el municipio de Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala. El acceso a la cuenca se puede realizar vía terrestre a unos 2 kilómetros de la ciudad de Asunción Mita.

La microcuenca cuenta con un clima cálido. La temperatura media anual es de 26 grados centígrados con valores extremos máximos de 40.6 grados entre los meses de marzo y mayo, y valores mínimos de 22 °C entre los meses de diciembre a febrero. (SEGEPLAN, 2011)

Según datos históricos de Insivumeh., en la estación meteorológica, ubicada en la cabecera municipal llamada "Estación Asunción Mita" localizada en las coordenadas 14° 20' 04" Norte y 89° 42' 21" Oeste, se registra una precipitación promedio anual de 1241.3 milímetros, distribuidos principalmente entre los meses de junio a septiembre.

La mayor parte del municipio de Asunción Mita se encuentra entre las altitudes de 400 a 600 metros sobre el nivel del mar (msnm). El municipio cuenta con una extensión territorial de 476 kilómetros cuadrados (Km<sup>2</sup>), y según el XI Censo de Población y VI de habitación del Instituto Nacional de Estadística de Guatemala del año 2002, el municipio cuenta con 91 centros poblados. (SEGEPLAN, 2011)

De acuerdo con el mapa de cobertura forestal de Guatemala 2016 elaborado por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra -GIMBUT- (2019), entre el año 2010 y el año 2016 en el municipio hubo un incremento anual del 11.3% de la cobertura forestal. Su cobertura forestal es de tipo latifoliado, estacionalmente caducifolio; este tipo de bosque pertenece al ecosistema del Bosque Seco Espinoso, un ecosistema sumamente fragmentado, frágil y bajo mucha presión a causa de la agricultura y extracción de leña. Específicamente dentro de la microcuenca, este tipo de bosque cubre una superficie de 637.69 hectáreas.

Este bosque sirve de protección para la gran diversidad de fauna propia del ecosistema, especialmente aves, reptiles y algunos mamíferos superiores. Según el mapa forestal por tipo y subtipo de bosque (2012), este ecosistema cubre una extensión de más de 24,000 hectáreas en el municipio.

### **3.3. Procedimiento metodológico**

#### **3.3.1. Determinar mediante la ecuación del balance hídrico de Gunther Schosinsky, la recarga hídrica potencial de la microcuenca río San Juan Las Minas**

Se utilizó la metodología de cálculo de la recarga potencial de acuíferos (balance hídrico de suelos) generada por Gunther Schosinsky (2006). La metodología, toma en consideración variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y la pendiente del terreno.

Para llevar a cabo la determinación de los valores de la recarga hídrica potencial, se procedió metodológicamente de la siguiente manera:

##### **a. Fase de gabinete**

Según INAB (2004), entre los factores que afectan la recarga hídrica se encuentran la cobertura vegetal, el tipo de suelo y los materiales geológicos. Por tal razón, como primer paso se realizó una intersección de tres capas generadas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación (2006) con información de estos factores en Qgis, con lo cual se delimitaron unidades de mapeo dentro de la microcuenca que sirvieron para obtener datos para calcular los balances hídricos en cada una de ellas.

En esta fase, se recopiló la información de datos climáticos de la microcuenca, como; precipitación mensual y temperatura media mensual, datos de vital importancia para el cálculo de los balances hídricos del suelo.

### **b. Fase de campo**

El propósito de esta fase fue la corroboración de la información obtenida luego de haber delimitado las unidades de mapeo de la microcuenca. Principalmente, se realizaron recorridos de campo principalmente para verificar el tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente del terreno.

Estos recorridos de campo se realizaron con la ayuda de mapas con la información de los factores mencionados anteriormente, que permitirán ir realizando anotaciones sobre las correcciones que se deberán hacer a estos en la fase de post-campo.

### **c. Fase de post-campo**

Con la información recolectada sobre la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno, se procedió a realizar el cálculo de los balances hídricos de cada unidad de mapeo y con ello, la determinación de la recarga hídrica potencial de cada unidad. A continuación, se detalla el proceso realizado para el cálculo de los balances hídricos:

En primer lugar, se determina la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje, para este proceso, la metodología de Schosinsky (2006) indica que se debe considerar que lluvias menores de cinco (5) milímetros mensuales no generan infiltración, ya que se considera que esta cantidad en un mes es retenida por el follaje sin llegar al suelo. Por el contrario, para precipitaciones mayores a cinco (5) centímetros en follajes, la retención será del 12% y para bosques muy densos se deberá considerar una retención del 20% de acuerdo con la siguiente ecuación (Schosinsky, 2006):

$$Ret = P * Cfo$$

Donde:

Ret = Retención de lluvia en el follaje (mm/mes)

P = Precipitación mensual del mes (mm/mes)

Cfo = Coeficiente de retención de follaje (0.20 para bosques muy densos y 0.12 para otros follajes)

Al aplicar la ecuación de retención de lluvia en el follaje se debe considerar que, si el valor calculado es menor a 5 mm/mes, el valor que debe utilizar como retención de lluvia en el follaje deberá ser 5 milímetros, caso contrario, el valor calculado sea mayor a 5 mm/mes se debe utilizar el resultado obtenido con dicha ecuación.

En segundo lugar, se requiere determinar la infiltración del agua de lluvia, generada por la precipitación que llega a la superficie del suelo. De acuerdo con la metodología, para el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente al suelo se utilizan los valores de precipitación

mensual, la retención pluvial mensual en el follaje y el coeficiente de infiltración de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - Ret)$$

Donde:

$P_i$  = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

$C_i$  = Coeficiente de infiltración

$P$  = Precipitación mensual (mm/mes)

$Ret$  = Retención de lluvia mensual por follaje (mm/mes)

El coeficiente de infiltración ( $C_i$ ) es el factor que se multiplica con la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo. El coeficiente  $C_i$  está dado por la textura del suelo, la pendiente del terreno y la vegetación. Para obtener el valor, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_i = K_p + K_v + K_{fc}$$

Donde:

$C_i$  = Coeficiente de infiltración

$K_p$  = Fracción que infiltra por efecto de la pendiente (Ver anexos)

$K_v$  = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal (Ver anexos)

$K_{fc}$  = Fracción que infiltra por textura del suelo (Ver anexos)

En tercer lugar, se realizó el cálculo de las pérdidas de humedad del suelo a través de la evapotranspiración. Luego de haber sustraído las pérdidas del agua que se infiltra al suelo, se obtendrá el agua que drena del suelo hacia el acuífero.

En el caso de la evapotranspiración potencial, se estimó utilizando la ecuación Blaney & Criddle, la cual se describe a continuación:

$$ETR = (8.10 + 0.46T)Ps$$

Donde:

$ETP$  = Evapotranspiración potencial (mm)

$T$  = Temperatura media mensual ( $^{\circ}C$ )

$PS$  = Porcentaje de horas de luz solar mensual (Ver anexos)

La evapotranspiración potencial se ajustó a un valor real utilizando los coeficientes de humedad que consideran las constantes de humedad del suelo (estas fueron obtenidas con la textura de los suelos). Para el ajuste de la evapotranspiración se utilizó la siguiente ecuación:

$$ETR = \left( \frac{C_1 + C_2}{2} \right) ETP$$

Donde:

$ETR$  = Evapotranspiración real tentativa promedio (mm)

$ETP$  = Evapotranspiración potencial (mm)

$C_1$  = Coeficiente de humedad máximo (Ver anexo)

$C_2$  = Coeficiente de humedad mínimo, (Ver anexo)

Calculadas las variables, se procedió a obtener la recarga potencial al acuífero. La ecuación utilizada para el cálculo de los valores, esta formulada en el supuesto de que, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas, el agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga el acuífero. La ecuación se muestra a continuación:

$$Rp = Pi + HSi - HSf - ETR$$

Donde:

Rp = Recarga potencial mensual (mm/mes)

Pi = Precipitación que infiltra (mm)

HSf = Humedad del suelo al final del mes (mm)

ETR = Evapotranspiración real tentativa promedio (mm)

### 3.3.2. Categoría de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas

Para la categorización de las áreas de recarga hídrica, se utilizó la metodología que determina áreas críticas de recarga hídrica propuesta por Bardales (2010). Se denominan áreas críticas de recarga hídrica a aquellas áreas que, por sus características específicas, se consideran susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a un manejo inadecuado. Para el presente trabajo de investigación, el determinar áreas críticas fue de utilidad ya que los lineamientos que se proponen para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica se encuentren más apegados a las condiciones reales de esta.

Según Orozco, Padilla y Salguero (2003), citado por Bardales (2010), las áreas críticas se podrán reconocer considerando básicamente la geología, infiltración básica, recarga anual y la pendiente. Para cada uno de estos aspectos se utilizan categorías a las cuales se les asigna un valor específico. Las categorías consideradas en cada uno de los aspectos se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 3.** Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

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

Fuente: Bardales (2010)

**Cuadro 4.** Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

Tasa de Infiltración básica (cm/h)	Código
< 0.15	0
0.15 a 1.5	1

1.5 a 15	2
> 15	3

Fuente: Bardales (2010)

**Cuadro 5.** Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

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

Fuente: Bardales (2010)

**Cuadro 6.** Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural

Pendiente	Código
0 a 12	0
12 a 26	1
26 a 36	2
36 a 55	3
> 55	4

Fuente: Bardales (2010)

**Cuadro 7.** Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica natural

Categoría	Rango
Baja	0 a 5
Moderada	6 a 9
Alta	10 a 12
Muy Alta	13 a 14

Fuente: Bardales (2010)

La información sobre la geología del suelo se obtuvo de capas de información geográfica generadas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2006), y con la ayuda del software Qgis se identificaron los materiales geológicos presentes en la microcuenca, para posteriormente asignarles un valor de acuerdo con el cuadro No. 3.

Los valores de infiltración básica y recarga anual se obtuvieron de los balances hídricos realizados en cada unidad de mapeo, así como los valores de pendiente que se tomaron para en cada punto de muestreo. Por último, la suma de estos cuatro aspectos ayudó a la categorización de las áreas de recarga hídrica, de acuerdo con los rangos mostrados en el cuadro No. 7.

### 3.3.3. Lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas

Luego de categorizar las áreas de recarga hídrica de la microcuenca del río San Juan Las Minas de acuerdo con su susceptibilidad, se generaron una serie de lineamientos para la gestión integral de las áreas.

Para ello, se tomaron en cuenta todos los factores que influyen en la recarga hídrica (textura del suelo, pendiente del terreno y valores meteorológicos) de manera tal, que los lineamientos estén enfocados a mantener o mejorar las condiciones en que estos se encuentran dentro de la microcuenca. Otra información fundamental para la definición de los lineamientos fue la información sobre la capacidad de uso de la tierra y el uso actual del suelo en cada área de recarga hídrica encontrada, pues estas, al ser comparadas, permitieron identificar la intensidad de uso de la tierra, que también sirvió de sustento para reforzar los lineamientos que se proponen.

Los lineamientos generados serán de mucha utilidad para las autoridades locales, pues con estos, se listan los actores que deben involucrarse para el cumplimiento de dicha acción. Esto permitirá que estas autoridades locales (públicas o privadas), pueden enfocar su quehacer, en el cumplimiento de estos lineamientos dentro de la microcuenca.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Determinar mediante la ecuación del balance hídrico de Gunther Schosinsky, la recarga hídrica potencial de la microcuenca río San Juan Las Minas

Realizado la intersección de capas de información correspondiente a la cobertura vegetal, el tipo de suelo y los materiales geológicos dentro de la microcuenca se llegó a determinar 20 unidades de mapeo, de las cuales, según la información que se presenta en el cuadro 8, la que presentó los valores más altos de recarga hídrica potencial es la unidad con código número 222, con valores de 44.86 milímetros anuales.

**Cuadro 8.** Valores de los balances hídricos para cada unidad de mapeo

<b>COD. UND</b>	<b>AREA (ha)</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>Ret (mm)</b>	<b>ESC (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>RP (mm)</b>
111	50.34	1167.00	150.32	191.97	824.06	<b>0.66</b>
113	42.83	1167.00	150.32	191.97	824.06	<b>0.66</b>
121	36.89	1109.00	143.84	74.96	866.09	<b>24.11</b>
122	138.69	1150.00	150.00	77.67	893.19	<b>29.14</b>
131	50.03	1172.00	150.92	192.80	826.41	<b>1.88</b>
132	16.52	1172.00	150.92	192.80	826.41	<b>1.88</b>
133	14.62	1159.00	149.36	190.64	819.00	<b>0.00</b>
141	210.83	1125.00	145.52	76.07	877.20	<b>26.21</b>
142	8.69	1131.00	146.88	76.43	880.33	<b>27.36</b>
143	44.66	1126.00	144.20	76.25	878.14	<b>27.40</b>
222	13.53	1146.00	148.84	0.00	952.30	<b>44.86</b>
241	21.82	1143.00	148.32	0.00	950.49	<b>44.19</b>
341	13.39	1155.00	150.16	78.04	896.03	<b>30.77</b>
411	160.62	1143.00	146.36	88.52	886.79	<b>21.34</b>

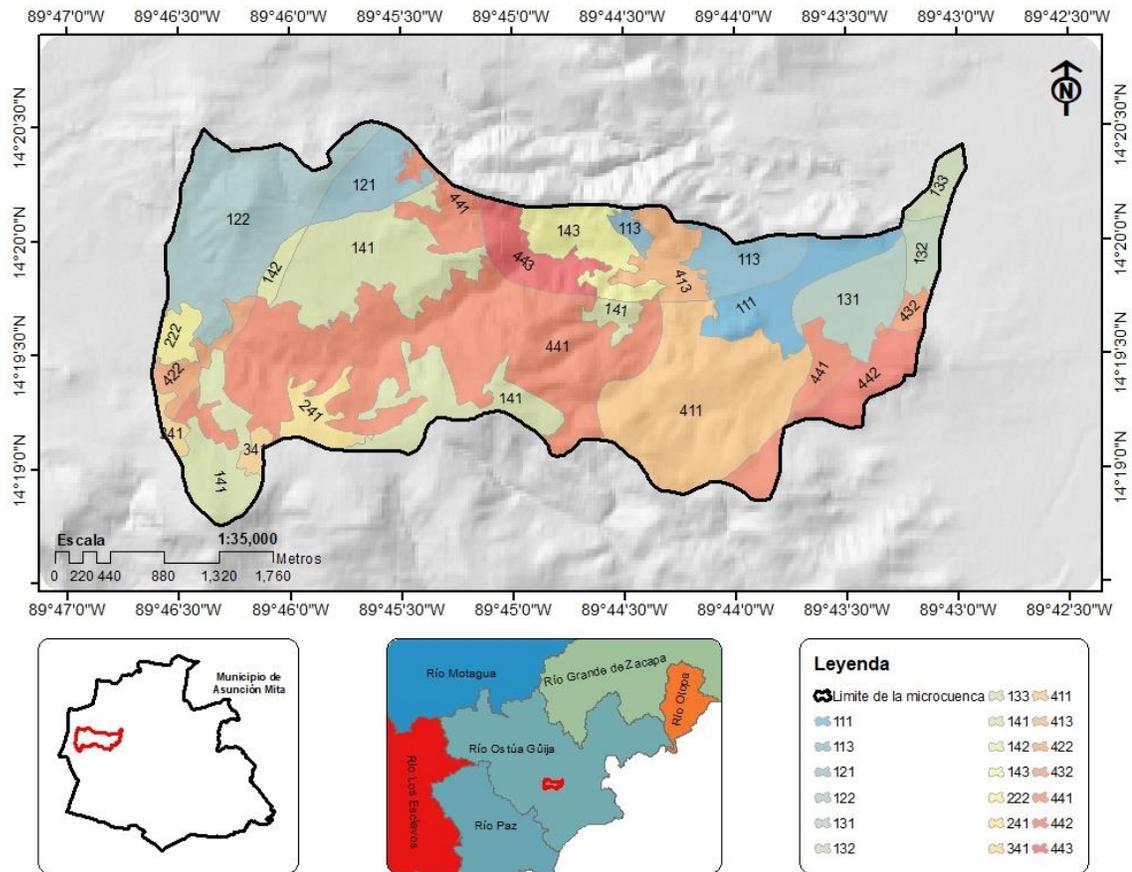
413	32.95	1149.00	147.88	88.92	891.39	<b>20.82</b>
422	19.78	1149.00	147.88	88.92	891.39	<b>20.82</b>
432	7.53	1172.00	150.92	90.69	906.86	<b>23.53</b>
441	345.84	1113.00	143.52	0.00	930.14	<b>39.34</b>
442	33.95	1173.00	151.40	90.74	905.84	<b>25.02</b>
443	37.03	1113.00	143.52	86.11	865.75	<b>17.62</b>
<b>TOTALES</b>	1340.00	22934.00	2961.08	1953.50	17591.87	<b>427.61</b>
<b>PROMEDIOS</b>		1146.70	148.05	97.68	879.59	<b>21.38</b>

La unidad de mapeo que cubre la mayor cantidad de superficie concierne a la unidad 441 con 345.84 hectáreas, presentando una de las mayores recargas dentro de la microcuenca (39.34 mm/año); esta unidad de mapeo se encuentra en un área en donde existe una cobertura de vegetación arbustiva baja, con suelos de la serie Mongoy formados por material geológico del tipo "Tv" que corresponde a rocas ígneas o metamórficas del periodo terciario.

Con relación a los valores utilizados para la determinación de las unidades de mapeo, en el cuadro 9 se muestran las categorías de uso actual, series de suelos y geología presentes en la microcuenca, las cuales fueron utilizadas para generar las 20 unidades de mapeo utilizadas en el análisis de la recarga hídrica, su distribución dentro de la microcuenca se puede observar en la figura 2.

**Cuadro 9.** Valores interceptados para la generación de unidades de mapeo

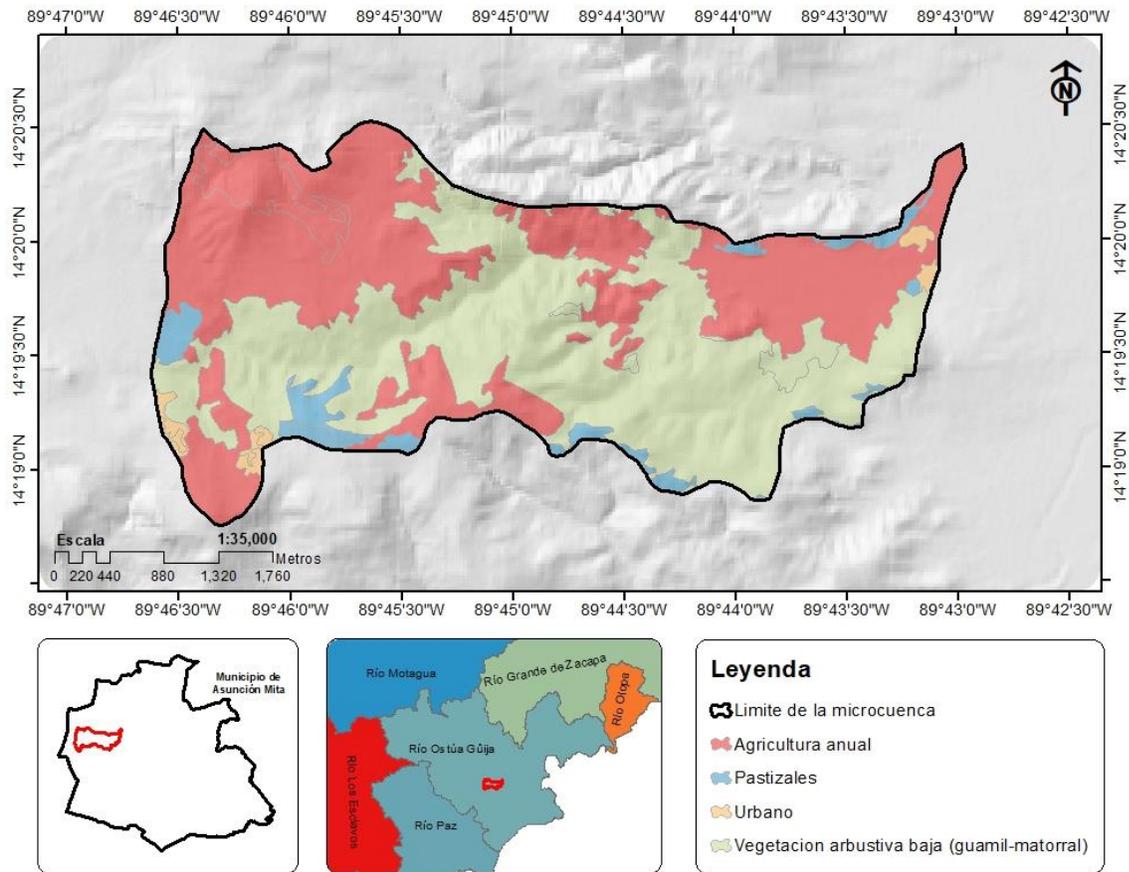
<b>Categorías de uso actual</b>	<b>Series de suelos</b>	<b>Geología</b>	<b>Código</b>	<b>AREA (ha)</b>
Agricultura anual	Cul	Tv	111	50.34
		Ksd	113	42.83
	Sui	Tv	121	36.89
		Qv	122	138.69
	SV	Tv	131	50.03
		Qv	132	16.52
		Ksd	133	14.62
	Mg	Tv	141	210.83
		Qv	142	8.69
Ksd		143	44.66	
Pastizales	Sui	Qv	222	13.53
	Mg	Tv	241	21.82
Urbano	Mg	Tv	341	13.39
Vegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	Cul	Tv	411	160.62
		Ksd	413	32.95
	Sui	Qv	422	19.78
	SV	Qv	432	7.53
	Mg	Tv	441	345.84
		Qv	442	33.95
Ksd		443	37.03	



**Figura 2.** Distribución de las unidades de mapeo en la microcuenca

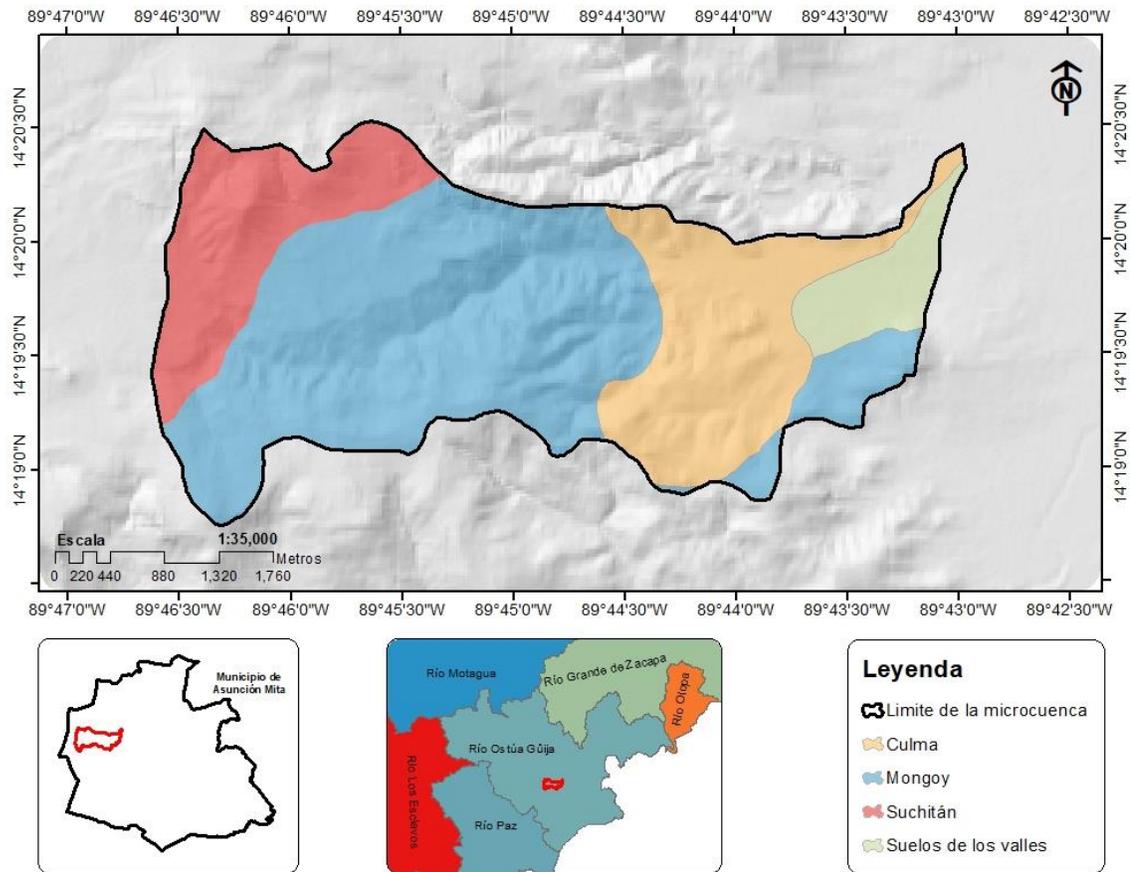
De los valores presentados en el cuadro 9, con relación a las categorías de uso actual, la vegetación arbustiva baja es el uso de la tierra que cubre una mayor extensión de superficie en la microcuenca (637.69 hectáreas, 49% de la superficie de la cuenca) y se encuentra distribuido en la microcuenca desde la parte alta hasta la parte baja de manera más o menos uniforme. La vegetación arbustiva baja como se mencionó anteriormente es una cobertura forestal de tipo latifoliado, estacionalmente caducifolio; este tipo de bosque pertenece al ecosistema del Bosque Seco Espinoso, el cual sirve de protección para una gran diversidad de fauna propia de este ecosistema, especialmente aves, reptiles y algunos mamíferos superiores.

Sin embargo, también existe una gran área dentro de la microcuenca dedicada a la agricultura anual (614.08 hectáreas, 47% de la superficie de la cuenca), principalmente para la producción de granos básicos como maíz y frijol. Estas áreas se encuentran distribuidas en la parte noroeste y noreste de la microcuenca según se puede apreciar en la figura 3.



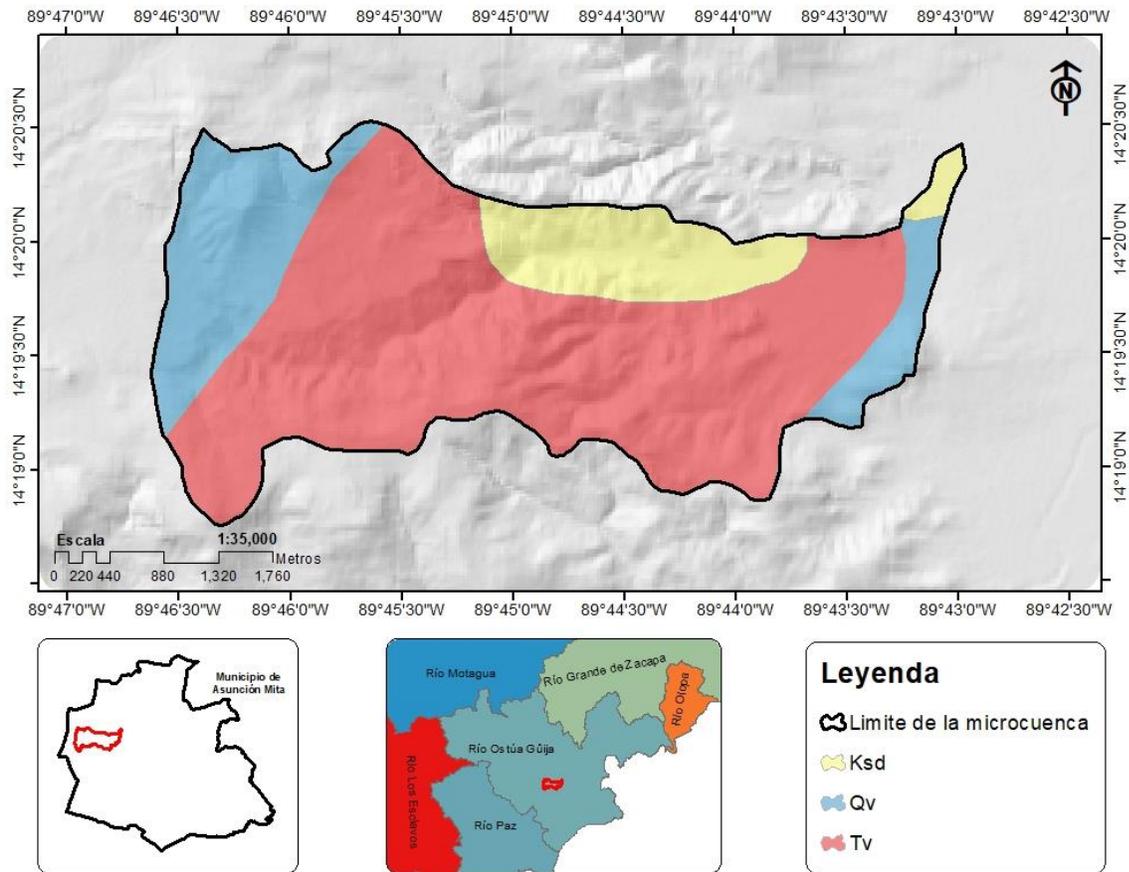
**Figura 3.** Categorías de uso actual de la tierra en la microcuenca

En lo relacionado a las series de suelos, la serie "Culma" (Cul) se caracterizan por ser suelos que presentan un buen drenaje, de color café oscuro, con un relieve de ondulado a fuertemente ondulado y generalmente de textura franco arcilloso, mientras que los suelos de la serie "Suchitán" (Sui), son suelos con un drenaje excesivo, de color café a café oscuro, un relieve con declives muy inclinados y generalmente de textura franca a franco arenosa. Sin embargo, la serie de suelos que cubre una mayor cantidad de área en la microcuenca (716.19 hectáreas) es la serie "Mongoy" (Mg), los cuales se caracterizan por ser suelos con buen drenaje, de color café oscuro a café muy oscuro, de relieve con declives muy inclinados y texturas que van desde arcillosos, franco arcillosos y franco.



**Figura 4.** Series de suelos presentes en la microcuenca

Por último, dentro de la microcuenca se encontraron tres tipos de material geológico, de estos, el material "Tv" que corresponde a rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario es el material que representa la mayor extensión de tierra dentro de la microcuenca con 887.74 hectáreas; el material "Qv" corresponde a rocas ígneas y metamórficas, pero del periodo cuaternario y cubren extensiones de 250.41 hectáreas, y el material que menos superficie comprende en la microcuenca con 172.35 hectáreas es el material "Ksd", el cual concierne a rocas sedimentarias del periodo cretácico.



**Figura 5.** Tipos de materiales geológicos presentes en la microcuenca

#### 4.2. Categorías de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas

Luego de haber calculado los valores de recarga potencial en cada una de las unidades de mapeo de la microcuenca, se procedió a categorizar las áreas de recarga hídrica según la metodología propuesta por Bardales (2010), en la cual se asignaron valores siguiendo los criterios propuestos en la metodología para que al final, al momento de realizar la sumatoria de los valores, se pudiera determinar en qué categoría se encuentra cada unidad y así proceder a su categorización. El resultado de la categorización producto de los valores obtenidos para cada una de las variables se muestra en el cuadro 10, resaltando que toda la microcuenca se categoriza como áreas críticas de recarga hídrica de baja importancia según la sumatoria de todos los valores que se asignan.

**Cuadro 10.** Categorización de las áreas críticas de recarga hídrica potencial

UNIDAD	GEOLOGIA	TASA INFILTRACIÓN	RECARGA ANUAL	PENDIENTE	SUMA VALORES	CATEGORIA
111	0	0	0	0	0	<b>Baja</b>
113	2	0	0	0	2	<b>Baja</b>
121	0	1	0	1	2	<b>Baja</b>
122	1	1	0	3	5	<b>Baja</b>
131	0	0	0	0	0	<b>Baja</b>

132	1	0	0	0	1	<b>Baja</b>
133	2	0	0	0	2	<b>Baja</b>
141	0	1	0	1	2	<b>Baja</b>
142	1	1	0	0	2	<b>Baja</b>
143	2	1	0	2	5	<b>Baja</b>
222	1	1	0	0	2	<b>Baja</b>
241	0	1	0	3	4	<b>Baja</b>
341	1	1	0	1	3	<b>Baja</b>
411	0	0	0	2	2	<b>Baja</b>
413	2	0	0	1	3	<b>Baja</b>
422	1	1	0	2	4	<b>Baja</b>
432	1	0	0	1	2	<b>Baja</b>
441	0	1	0	2	3	<b>Baja</b>
442	1	0	0	2	3	<b>Baja</b>
443	2	0	0	3	5	<b>Baja</b>

Los resultados de la categorización de áreas críticas de recarga hídrica no muestran diferencia alguna en toda la microcuenca, y no permiten evaluar las condiciones de las diferentes áreas de recarga que permitan proponer lineamientos que vayan enfocados al mantenimiento o mejoramiento de las condiciones en aquellas áreas en donde la recarga hídrica está siendo mayor o en aquellas áreas que presentan una mayor degradación del suelo, por tal razón, se decidió categorizar los valores obtenidos dentro de la microcuenca entre sí, de manera que se pueda identificar dentro de la microcuenca, aquellas zonas que permiten una mayor infiltración de agua.

Para ello, se procedió a tomar el valor más alto y el más bajo de recarga hídrica potencial obtenido en la realización de los balances hídricos de cada unidad de mapeo, luego, la diferencia entre estos dos valores se dividió en cuatro, de manera que se formen cuatro categorías, una de categoría baja recarga hídrica, otra de media recarga hídrica, de alta recarga hídrica y finalmente de muy alta recarga hídrica. Los cálculos realizados del proceso descrito y los rangos obtenidos para cada tipo de categoría se muestran en el cuadro siguiente.

**Cuadro 11.** Cálculos para definir las categorías de recarga hídrica

<b>Criterio para la definición de categorías</b>	
Valor Max.	44.86
Valor Min.	0.66
Diferencia/4	11.05

<b>Valor más alto de cada categoría</b>			
Baja	Media	Alta	Muy Alta
11.05	22.10	33.15	44.86

<b>Categorías y rangos de valores de la microcuenca</b>			
Baja	Media	Alta	Muy Alta
< 11.05	11.05 - 22.10	22.10 - 33.15	>33.15

En el cuadro 12, se muestra la categorización de las 20 unidades de mapeo de acuerdo con el valor de recarga hídrica potencial anual. Según los datos, tres (3) unidades de mapeo se encuentran dentro de la categoría de muy alta recarga Hídrica, ocho (8) unidades dentro de la categoría de alta recarga hídrica, cuatro (4) unidades en la categoría de media recarga hídrica y cinco (5) en la categoría de baja recarga hídrica.

**Cuadro 12.** Categorización de las zonas de recarga hídrica

<b>Unidades de Muestreo</b>	<b>RP (mm)</b>	<b>Categoría Recarga</b>
111	<b>0.66</b>	Baja
113	<b>0.66</b>	Baja
121	<b>24.11</b>	Alta
122	<b>29.14</b>	Alta
131	<b>1.88</b>	Baja
132	<b>1.88</b>	Baja
133	<b>0.00</b>	Baja
141	<b>26.21</b>	Alta
142	<b>27.36</b>	Alta
143	<b>27.40</b>	Alta
222	<b>44.86</b>	Muy Alta
241	<b>44.19</b>	Muy Alta
341	<b>30.77</b>	Alta
411	<b>21.34</b>	Media
413	<b>20.82</b>	Media
422	<b>20.82</b>	Media
432	<b>23.53</b>	Alta
441	<b>39.34</b>	Muy Alta
442	<b>25.02</b>	Alta
443	<b>17.62</b>	Media

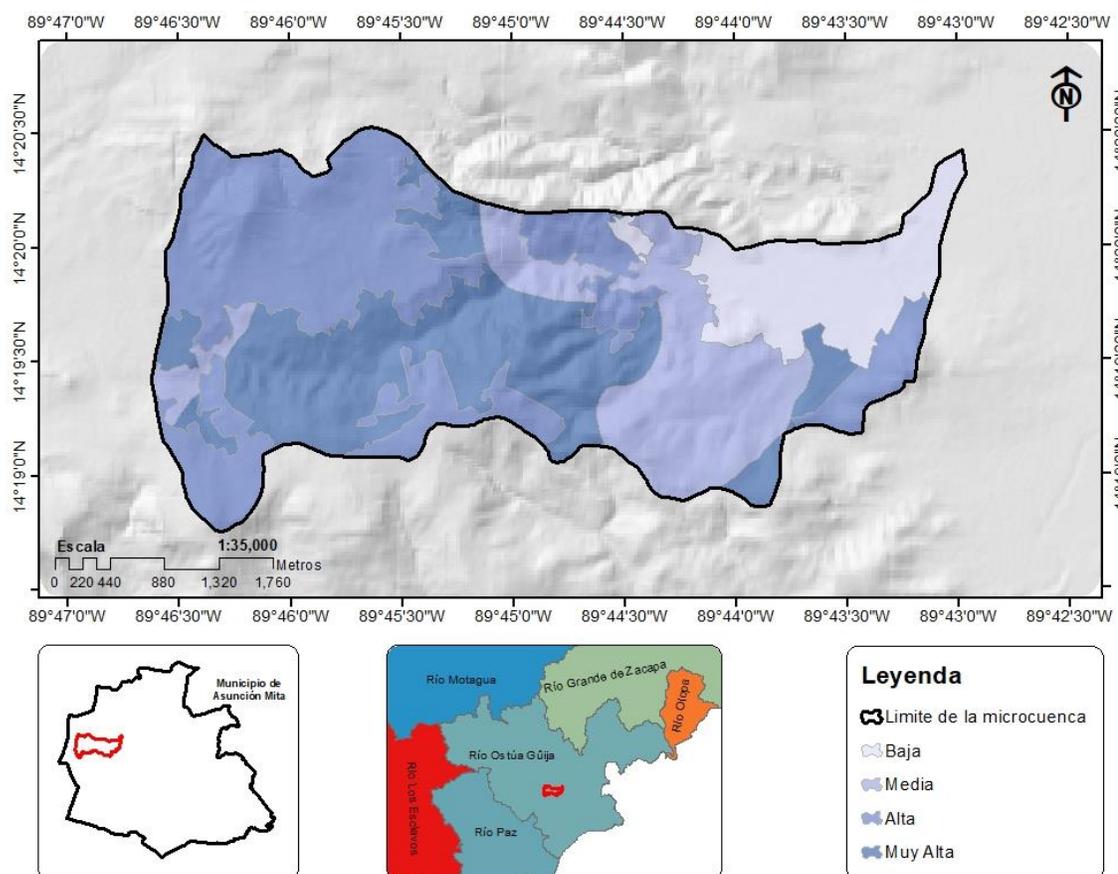
Con relación a la distribución de las categorías dentro de la microcuenca representada en la figura 6, las unidades de muy alta recarga hídrica se encuentran entre la parte media y parte alta de la microcuenca, donde también se pueden encontrar las categorías de media y alta recarga hídrica. En el mapa se puede observar, que las áreas de baja recarga hídrica se encuentran concentradas en la parte baja de la microcuenca, abarcando 321.68 hectáreas.

Esta área de baja recarga hídrica, actualmente se utiliza para el desarrollo de la agricultura anual, generalmente para la producción de granos básicos; en esta área, predominan los suelos de la serie "Culma" que como se mencionó anteriormente, son suelos de textura franco arcilloso que presentan un buen drenaje.

Con relación a la categoría de media recarga hídrica, esta se encuentra al inicio de la parte media de la cuenca, las cuales son áreas que presentan actualmente una cobertura vegetal baja, comúnmente conocido como guamil, la cual es una vegetación característica de los bosques secos. De estas áreas es importante resaltar también de que acá los suelos pertenecen a la serie "Culma", de textura franco arcilloso con buen drenaje.

La superficie categorizada como de alta recarga hídrica, actualmente se encuentra siendo utilizada para la agricultura anual. A diferencia de la categoría de media recarga hídrica, en estas áreas hay presencia de dos series de suelos, los de la serie "Mongoy" y de la serie "Suchitán" que se caracterizan por presentar relieves mas inclinados, texturas que van desde arcilloso a franco arenoso, con muy buenos drenajes.

Por ultimo la categoría de muy alta recarga hídrica afortunadamente en la actualidad se encuentran distribuidas en áreas cubiertas por vegetación arbustiva baja, con suelos de la serie "Mongoy" que se caracterizan por sus relieves muy inclinados y de textura franco arcilloso, que facilitan el proceso de infiltración del agua que llega a la superficie del suelo por precipitación.



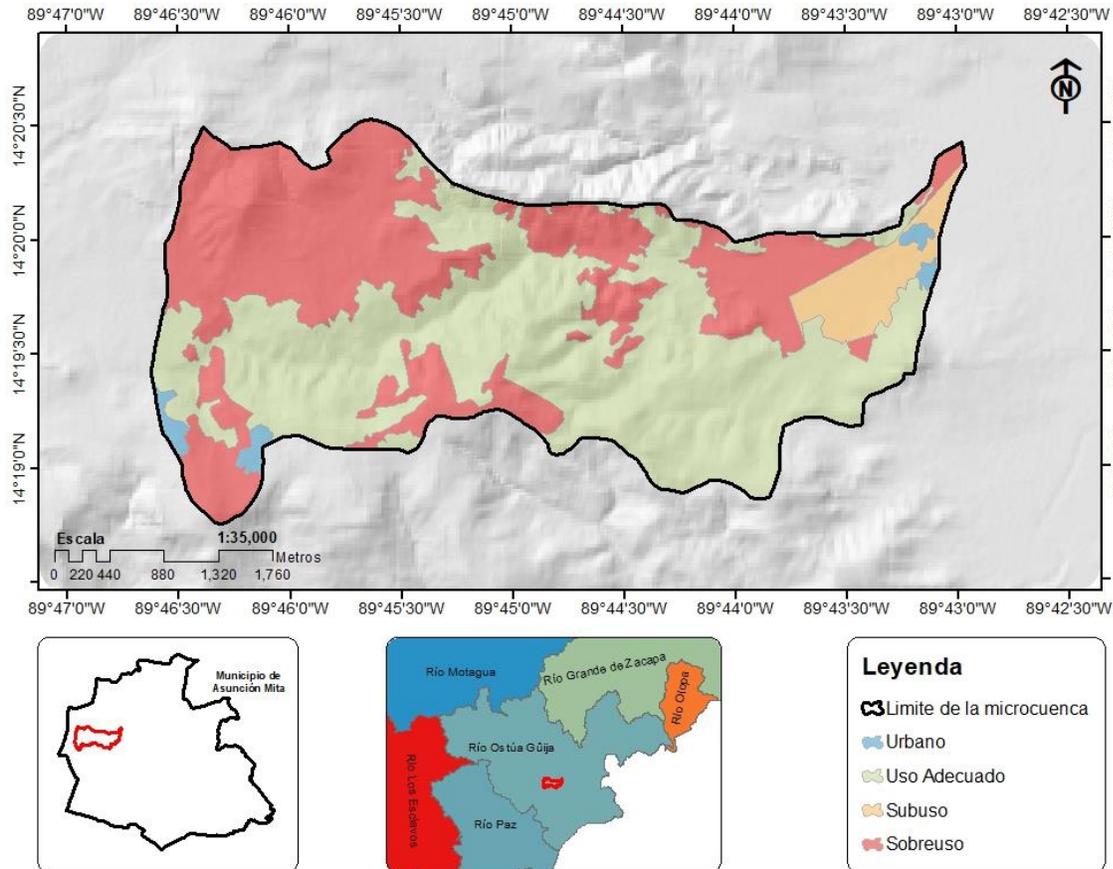
**Figura 6.** Mapa de distribución de las categorías de recarga hídrica potencial en la microcuenca del río San Juan Las Minas

#### 4.3. Lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca del río San Juan Las Minas

Previo a realizar la propuesta de los lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica, y con la ayuda de la información sobre el uso actual de la tierra y la capacidad de uso de la tierra se determinó la intensidad de uso de la tierra.

Según Klingebiel y Montgomery (1961) citado por INAB (2001) al momento de conocer la capacidad de uso de la tierra, se esta determinando la máxima intensidad de uso soportable

sin causar deterioro físico del suelo, por lo que aquellas áreas que están siendo utilizadas más allá de su capacidad (sobreuso) necesitan especial atención en los lineamientos que se proponen, sobre todo, si también se quieren manejar de manera correcta las áreas importantes de recarga hídrica.



**Figura 7.** Intensidad de uso de la tierra en la microcuenca

Tal y como se muestra en la figura 7, las zonas en las que actualmente existe vegetación arbustiva baja son las áreas que corresponden a las zonas de uso adecuado, y estas se distribuyen desde la parte alta de la cuenca hasta la parte baja de esta. Los lineamientos que se proponen en estas áreas van enfocados al manejo, protección y conservación, debido a que se considera que representan un área característica del bosque seco.

Otra de las intensidades importantes que se muestran en la figura 7, es el sobreuso del suelo. Estas áreas en su mayoría corresponden a zonas en donde actualmente se practica la agricultura anual, por lo que los lineamientos se darán acorde a la capacidad de uso de la tierra, procurando que las personas sigan con sus sistemas de producción, pero se realice algún tipo de adaptación de estos, para permitir la conservación del suelo y agua.

Los lineamientos que se muestran en el cuadro 13, se ordenaron conforme las categorías de recarga hídrica, ya que el principal objetivo del estudio concierne a determinar las áreas que permiten la recarga hídrica en la microcuenca y a partir de ellas, proponer lineamientos

para su gestión integral. También se hacen acompañar de las categorías de intensidad de uso de la tierra presente en cada área de recarga, pues como se mencionó anteriormente, facilita el proponer el proponer los lineamientos para la gestión integral.

En la última columna del cuadro 13, se proponen una serie de actores que pueden intervenir en las áreas para promover en el corto, mediano y largo plazo, acciones para conservar o bien mejorar las condiciones actuales de cada una de las zonas de recarga hídrica de la microcuenca del río San Juan Las Minas.

Junto con los lineamientos mostrados en el cuadro siguiente, es importante listar primero otra serie de parámetros que deben actuar de manera transversal, para garantizar que todas las acciones propuestas por cada zona de recarga hídrica se cumplan. Dichos lineamientos son los siguientes:

- Fortalecer las capacidades técnicas de las dependencias de la Municipalidad de Asunción Mita relacionadas con el manejo de los recursos naturales del municipio y que tienen responsabilidades directas en mantener una adecuada gestión de estos en la microcuenca.
- Crear un documento de política municipal enfocados al manejo adecuado de los recursos naturales de la microcuenca y de todo el municipio con objetivos medibles al corto, mediano y largo plazo, en donde también se indiquen las instituciones involucradas en lograr el cumplimiento de esta planificación.
- Juntamente con el documento de política, también es importante el crear un comité de cuenca, quien sea la organización encargada de velar por el adecuado cumplimiento de todas las actividades planificadas dentro de este documento y de cualquier otro mecanismo que se desarrolle para garantizar el adecuado manejo de los recursos naturales de la microcuenca.

**Cuadro 13.** Lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica

Categoría de recarga hídrica	Intensidades de uso presentes	Lineamientos generales para la gestión integral	Responsables
Muy alta recarga hídrica	Uso Adecuado de la tierra	<p>Manejar, proteger y conservar la cobertura forestal en estas áreas para garantizar que se sigan manteniendo las condiciones de recarga hídrica en la microcuenca, promoviendo que propietarios y poseedores de terrenos en estas áreas ingresen a los programas de incentivos forestales, ya que estos despiertan aún más el interés en las personas por proteger estas áreas.</p> <p>Para aquellas personas que ya se encuentran dentro de los programas de incentivos forestales, promover que luego que los pagos finalicen, puedan seguir protegiendo y/o manejando el área. Y si en algún dado caso, se puede dar un reincentivo de las áreas, apoyar para que las personas lo puedan gozar.</p> <p>También es importante que se evalué la factibilidad de implementar programas de pagos por servicios ambientales, para que de manera consensuada se pueda promover el mantenimiento de las zonas de recarga hídrica.</p> <p>Por tratarse de áreas de bosque seco, se recomienda que la municipalidad en coordinación con la Coordinadora para la reducción de desastres -CONRED- implementen una cuadrilla de bomberos forestales debidamente capacitados para que</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Instituto Nacional de Bosques</li> <li>• Coordinadora para la reducción de desastres (CONRED)</li> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>

<b>Categoría de recarga hídrica</b>	<b>Intensidades de uso presentes</b>	<b>Lineamientos generales para la gestión integral</b>	<b>Responsables</b>
		<p>puedan actuar en el caso de que se presente algún incendio forestal en el área.</p> <p>Dentro de estas zonas de alta recarga hídrica se incluyen la unidad de mapeo número 222, que presenta los mayores valores de infiltración y aunque la capacidad de uso indica que son áreas con capacidad para la agroforestería con cultivos anuales y actualmente se encuentran con pastizales, es importante que se considere mejorar la cobertura vegetal de la zona, a manera de mantener las condiciones de infiltración al igual que en la unidad 241 la cual también presenta uno de los mejores valores de recarga hídrica en la microcuenca.</p>	
Alta recarga hídrica	Sobreuso de la tierra	<p>Actualmente estas áreas que presentan un sobreuso de la tierra están siendo utilizadas para agricultura anual, sin embargo, según el mapa de capacidad de uso de la tierra, todas estas áreas tienen la capacidad biofísica para implementar algún tipo de sistema agroforestal, ya sea con pastos (sistemas silvopastoriles), cultivos anuales (agroforestería con cultivos anuales) o cultivos perennes (agroforestería con cultivos perennes (agroforestería con cultivos permanentes)).</p> <p>Se recomienda, se socialice la importancia de la inclusión del componente forestal en los sistemas de producción agrícola,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación</li> <li>• Instituto Nacional de Bosques</li> <li>• Universidad San Carlos de Guatemala</li> <li>• Universidad Rafael Landívar</li> <li>• Universidad Rural</li> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>

Categoría de recarga hídrica	Intensidades de uso presentes	Lineamientos generales para la gestión integral	Responsables
		<p>para que posteriormente, se incentive de alguna manera al productor para que implemente algún modelo de sistema agroforestal en sus tierras. O en su defecto, también se promueva la implementación de plantaciones forestales con fines industriales y/o energéticas que se hagan con especies forestales adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del área, que también pueden ser incentivadas por medio de los programas de incentivos forestales.</p> <p>Simultáneamente, se debe promover la investigación con ayuda de las universidades, de manera que se llegue a determinar algunos de los mejores diseños de sistemas agroforestales que se puedan adaptar a las condiciones edafoclimáticas del área.</p>	
	Uso Adecuado de la tierra	<p>En la parte sureste de la microcuenca, ya en la parte baja de esta, se encuentra un área de alta recarga hídrica que actualmente se encuentra cubierta de vegetal arbustiva baja, por lo que se recomienda que al igual que aquellas áreas de muy alta recarga hídrica se pueden manejar, proteger y conservar la cobertura forestal para garantizar que se sigan manteniendo las condiciones de recarga hídrica en la microcuenca, promoviendo que propietarios y poseedores de terrenos de estas áreas ingresen a los programas de incentivos forestales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Instituto Nacional de Bosques</li> <li>• Coordinadora para la reducción de desastres (CONRED)</li> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>

Categoría de recarga hídrica	Intensidades de uso presentes	Lineamientos generales para la gestión integral	Responsables
		<p>Así como también, estas áreas también están cubiertas de bosque seco por lo que en estas áreas también es importante que se cuente con la presencia de una cuadrilla de bomberos forestales, pues por registros históricos, estas áreas son muy susceptibles a estos eventos durante la época seca del año.</p>	
	Uso urbano	<p>Existen poblados en áreas de alta recarga hídrica dentro de la microcuenca, por lo que se recomienda, que se promueva que, al momento de realizar algún tipo de construcción tanto públicas como privadas, se priorice la habilitación de áreas que permitan la recarga hídrica.</p> <p>Sin embargo, es importante también, que se procure que todas las aguas negras y/o grises que se produzcan en estas áreas reciban un adecuado tratamiento antes que sean vertidas a algún cuerpo de agua. Al igual que se debe procurar dar el adecuado manejo a los desechos sólidos producidos por estas comunidades.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales</li> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>
Media recarga hídrica	Uso Adecuado de la tierra	Las áreas de media recarga hídrica ubicadas en zonas donde actualmente se encuentra vegetación arbustiva baja se recomienda que se siga manteniendo la cobertura y se	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Instituto Nacional de Bosques</li> <li>• Coordinadora para la reducción de desastres (CONRED)</li> </ul>

<b>Categoría de recarga hídrica</b>	<b>Intensidades de uso presentes</b>	<b>Lineamientos generales para la gestión integral</b>	<b>Responsables</b>
		<p>promueva bajo algún tipo de incentivo a las personas para que sigan con el manejo y/o protección de la cobertura.</p> <p>Para las personas que ya se encuentran dentro de los programas de incentivos forestales, promover que luego que los pagos finalicen, puedan seguir protegiendo y/o manejando el área. Y si en algún dado caso, se puede dar un reincentivo de las áreas, apoyar para que las personas lo puedan gozar.</p> <p>También es importante que se evalúe la factibilidad de implementar programas de pagos por servicios ambientales, para que de manera consensuada se pueda promover el mantenimiento de dichas zonas de recarga hídrica.</p> <p>En estas áreas es también de vital importancia contar con la presencia de bomberos forestales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>
Baja recarga hídrica	Sobreuso de la tierra	<p>En la parte baja de la microcuenca es donde se concentran las áreas de baja recarga hídrica, en dichas áreas es donde se presentan los menores valores de infiltración, sin embargo, como parte integral de la cuenca es importante que se restauren aquellas áreas que presentan un sobreuso de las capacidades de la tierra.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación</li> <li>• Instituto Nacional de Bosques</li> <li>• Universidad San Carlos de Guatemala</li> <li>• Universidad Rafael Landívar</li> <li>• Universidad Rural</li> </ul>

Categoría de recarga hídrica	Intensidades de uso presentes	Lineamientos generales para la gestión integral	Responsables
		<p>Estas zonas presentan una capacidad para el desarrollo de sistemas silvopastoriles, sin embargo, por ser áreas que actualmente se dedican a la agricultura anual, se recomienda que estos sistemas de producción implementen algún modelo de sistema agroforestal, de manera que se mejore la conservación de los suelos en estas áreas y se mejore la provisión de servicios ambientales.</p> <p>La implementación de plantaciones forestales con fines industriales y/o energéticas que se hagan con especies forestales adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del área también es una buena alternativa en estas áreas ya que también pueden ser incentivadas por medio de los programas de incentivos forestales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>
	Uso Adecuado de la tierra	<p>En esta parte baja de la microcuenca existen pequeños remanentes de bosque alrededor de áreas de producción agrícola. Estas zonas deben ser objeto de protección especial, de manera que, junto con la implementación de los sistemas agroforestales, sirvan como corredores biológicos entre las áreas de producción agrícola que faciliten la movilidad a la fauna silvestre de la zona.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación</li> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>
	Subuso de la tierra		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> </ul>

Categoría de recarga hídrica	Intensidades de uso presentes	Lineamientos generales para la gestión integral	Responsables
		<p>En estas áreas de baja recarga hídrica también existe un área de aproximadamente 60 hectáreas que presentan un subuso de las capacidades de la tierra, esto debido a que, según el uso actual, estas áreas son utilizadas para la agricultura anual, pero tienen capacidad de soportar la agricultura con mejoras, que es un uso más intensivo que la agricultura anual.</p> <p>Por lo tanto, se recomienda evaluar la posibilidad de utilizar estas tierras para la siembra de cultivos más rentables para los propietarios o poseedores de estas áreas, aprovechando, sobre todo, que son tierras con poca pendiente, con la posibilidad de implementar sistemas de riego y drenajes eficientes que permitan el adecuado desarrollo de los cultivos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación</li> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>
	Uso Urbano	<p>Los poblados que se encuentran en estas áreas de baja recarga hídrica dentro de la microcuenca se recomiendan que se promueva que, al momento de realizar algún tipo de construcción, se priorice la habilitación de áreas que permitan la recarga hídrica. Así como también, se procure que todas las aguas negras y/o grises que se produzcan en estas áreas reciban un adecuado tratamiento antes que sean vertidas a algún cuerpo de agua. Al igual que se debe procurar dar el adecuado manejo a los desechos sólidos producidos por estas comunidades.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Municipalidad de Asunción Mita</li> <li>• Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales</li> <li>• Propietarios y poseedores de terrenos en el área</li> </ul>

## 5. ANALISIS DE LA EXPERIENCIA

### 5.1. Determinación mediante la ecuación del balance hídrico de Gunther Schosinsky, la recarga hídrica potencial de la microcuenca río San Juan Las Minas

La precipitación promedio en la microcuenca es baja, con valores de 1146.70 milímetros anuales, por lo que esto, junto con las altas temperaturas (24.2 °C en promedio al año, con promedios máximos mensuales de 27.2 °C) afectan a que los valores de infiltración también sean bajos.

En el cuadro 14, se muestran las sumatorias de los valores obtenidos en los 20 balances realizados en la microcuenca, y como se puede apreciar, únicamente un 1.86% de toda la precipitación registrada en la microcuenca se convierte en la recarga hídrica de la microcuenca; contrario a esto, un 76.71% de la precipitación se pierde por evapotranspiración, lo que es explicado como ya se mencionó anteriormente por las altas temperaturas registradas al año.

**Cuadro 14.** Resumen de los balances hídricos realizados en la microcuenca

<b>Entrada</b>		<b>Salidas</b>		
<b>Factor</b>	<b>mm/año</b>	<b>Factor</b>	<b>mm/año</b>	<b>%</b>
Precipitación	22,934.00	ETR	1,7591.87	76.71
		ESC	1,953.50	8.52
		RET	2,961.08	12.91
		RP	427.61	1.86
<b>Entrada Total</b>	<b>22,934.00</b>	<b>Salidas Total</b>	<b>22,934.06</b>	100.00

Según Murphy & Lugo (1986) citado por CONAP-CALMECAC-FONACON (2013), la precipitación media anual en los bosques secos neotropicales varía entre 658 y 1800 mm al año, la temperatura media anual es de 25 a 27 grados centígrados y la época seca puede durar de cuatro a ocho años, y como también se menciona en la ficha técnica del Corredor Biológico del Bosque Seco de Ostúa (2013), este abarca el municipio de Asunción Mita, por lo que esto responde las condiciones meteorológicas encontradas en la microcuenca.

Las condiciones mostradas anteriormente dan un panorama de lo vulnerables que son estas áreas, por lo que cualquier acción destinada a la conservación de las zonas de mayor recarga hídrica, contribuirán a mantener un balance en estos ecosistemas, promoviendo así una mitigación de los cambios climáticos actuales.

Como se mencionó en los resultados, la unidad identificada con el numero 222 presentó los valores más altos de infiltración en la microcuenca con 44.86 milímetros anuales. Al momento de realizar la intersección de capas de información geográfica para la determinación de las unidades de mapeo, en el lugar donde se encuentra la unidad mencionada anteriormente es un área donde el uso actual son pastizales, con suelos de la serie suchitán, pero sobre todo es importante resaltar que la textura de esta unidad es franca, por lo que esto facilita la infiltración debido a la distribución de las partículas que forman el suelo, aun cuando esta unidad no se tienen los valores de precipitación más altos de la microcuenca.

Es importante resaltar que, mencionando la textura de los suelos, efectivamente aquellas unidades de mapeo en las que existe una textura franca presentaron los valores de infiltración más alta, mientras que aquellas unidades en donde la textura es franco arcillosa, los valores tendieron a bajar, por lo que se deduce que después de los factores meteorológicos, la textura es el tercer factor que influye más en los valores de recarga hídrica calculados.

Al analizar otros estudios realizados utilizando la misma metodología para el cálculo de los valores de recarga hídrica, se llegó a la conclusión de que los valores obtenidos en esta microcuenca son el resultado de las condiciones edafoclimáticas en dicha área, pues en estos otros estudios, se han obtenido valores más altos de recarga hídrica, sin embargo, las condiciones han sido otras, como por ejemplo, en un estudio realizado por Juan Pablo Noriega Arriaga en la microcuenca del río Sibacá en Chinique, Quiché, se presentaron valores de recarga de entre 289.56 a 1120.33 milímetros, sin embargo, entre los factores más importantes que afectan la recarga, en esa zona se tienen texturas franco arenosas en su mayoría, así como también valores de precipitación que llegan en algunas unidades de mapeo hasta las 2233.25 milímetros.

Una de las limitantes encontradas durante el desarrollo de este trabajo, fue que no existen muchas fuentes de información sobre datos meteorológicos cerca de la microcuenca, debido a la escases de estaciones meteorológicas, pues existe únicamente una estación meteorológica en todo el municipio de Asunción Mita, y tres en el departamento de Jutiapa, por lo que los valores promedio generalmente son muy erráticos.

## **5.2. Determinación de las categorías de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas**

La metodología utilizada para la determinación de las categorías de recarga hídrica en el presente trabajo indica que con ella se identifican aquellas áreas que por sus aportes en láminas de recarga potencial, constituyen áreas principales de recarga hídrica natural, y dentro de estas, aquellas que, por sus características específicas, se consideren susceptibles a disminuir su potencial de recarga al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad se les denominará áreas críticas.

Sin embargo, por las condiciones intensas que se presentan en la microcuenca (sobre todo las meteorológicas), las áreas dentro de esta, no se encuentran categorizadas como zonas importantes de recarga hídrica, siendo esto una limitación de los resultados obtenidos. Pues tal como se muestra anteriormente en el cuadro 10, los valores asignados a cada uno de los aspectos a evaluar fueron bajos, sobre todo, los valores asignados a recarga hídrica anual, que, según la metodología, en lugares con menos de 50 mm al año de recarga se les debe asignar un valor de cero, y como se pudo observar anteriormente, cuando se calculó la recarga potencial en los balances hídricos, ninguna unidad tuvo valores de infiltración arriba de 50 mm al año.

Es importante resaltar, que una zona de muy alta recarga hídrica es la combinación de valores de recarga hídrica anual alta, suelos con mucha pendiente y lo suficientemente permeables como para permitir una rápida recarga.

Pero eso no significa que las condiciones presentes en la microcuenca permiten que, comparadas con otras áreas a nivel nacional, estas sean menos susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a un manejo inadecuado.

Debido a lo anterior, fue que se decidió categorizar los valores de recarga hídrica potencial entre sí, pues eso permitió que se diferencien aquellas áreas que tienen una mayor capacidad de recarga, reconocer a que intensidades de uso se están sometiendo actualmente y desde ahí, proponer los lineamientos mostrados con anterioridad.

### **5.3. Lineamientos para la gestión integral de las áreas de recarga hídrica dentro de la microcuenca río San Juan Las Minas**

Las zonas de uso adecuado ocupan la mayor cantidad de área dentro de la microcuenca con 682.45 hectáreas, sin embargo, las zonas con sobre uso son de 538.47 hectáreas, además, las zonas de uso adecuado, en su mayoría corresponden a áreas vegetación arbustiva baja, mientras que las zonas con sobreuso, en su mayoría corresponde a áreas en donde se tiene agricultura anual, por lo que, de esa forma, se evidencia la presión que existe sobre el bosque seco característico de la zona.

Es de esa forma, que también los lineamientos mostrados anteriormente responden a acciones que se deben de tomar a manera que la cobertura forestal existente en la zona se siga manteniendo y se frene por medio de algún mecanismo la presión que existe sobre estas áreas.

Después de revisar los lineamientos, si es muy fundamental que se dé un ordenamiento normativo y legal de las acciones que se realizan en la microcuenca para garantizar el adecuado acceso a corto, mediano y largo plazo al recurso hídrico y los demás recursos naturales relacionados al agua, y para velar que todas las acciones desarrolladas en la microcuenca contribuyen a una planificación debidamente elaborada.

Según la experiencia del comité de cuenca en la cuenca del Río San Jerónimo en Baja Verapaz, Guatemala, indican que la importancia de este comité es que "a través del esfuerzo de coordinación entre actores locales, que nace desde la base comunitaria, se puede crear un ambiente propicio para realizar acciones enmarcadas en un enfoque de gestión integrada del recurso hídrico, con el apoyo público y privado, garantizando beneficios para todas y todos los participantes en el esfuerzo al proteger y preservar una cuenca". (Global Water Partnership)

Debido a lo anterior, es importante hacer conciencia en que, sin la participación de las instituciones públicas y privadas que tienen relación con el manejo de los recursos dentro de la microcuenca, las condiciones que se encuentran presentes, pueden irse deteriorando aún más, haciendo cada vez más difícil, el mantenimiento de los servicios ambientales como la recarga hídrica, provisión de alimentos o el mantenimiento de la biodiversidad.

Por último, es importante recordar que, para lograr el adecuado cumplimiento de estos lineamientos, y con la adecuada planificación del manejo de los recursos naturales, se deben realizar evaluaciones periódicas que permitan conocer el grado de avance en el mejoramiento de las condiciones de la microcuenca, tomando como base, las condiciones encontradas en el presente estudio.

## **6. CONCLUSIONES**

- Se determinó que, por las condiciones críticas de la microcuenca, climáticamente hablando, la recarga que se da es limitada, con valores promedio de 21.38 milímetros anuales, pues la mayoría de las pérdidas que existe en la microcuenca de toda el agua que cae por precipitación es debido a la evapotranspiración debido a las altas temperaturas registradas anualmente.
- Las condiciones encontradas en la microcuenca relacionadas a la dinámica del recurso hídrico son características de zonas en las que se desarrollan los bosques secos, por lo que son zonas críticas en las que se debe mantener una adecuada gestión de estos recursos, sobre todo para no causar un estrés hídrico en el área y garantizar el acceso de la población a los recursos naturales a largo plazo.
- De acuerdo a la metodología de áreas críticas de recarga hídrica, la microcuenca en su totalidad cuenta únicamente con áreas críticas de recarga hídrica de baja importancia, debido a que la combinación de factores que dan origen a esta clasificación indica que estas no presentan valores extremos que indiquen que estas áreas puedan disminuir su potencial de recarga tan drásticamente como otras áreas a nivel nacional.
- Debido a la fragilidad de este ecosistema del corredor del bosque seco, y aunque las áreas críticas de recarga hídrica dentro de la microcuenca sean de baja importancia, es importante reconocer que los mayores valores de recarga hídrica potencial se presenten en la parte media-alta de la microcuenca, en zonas en donde la textura del suelo permite una mayor infiltración del agua a capas más inferiores del suelo.
- Los lineamientos planteados en el presente trabajo se enfocan a realizar una planificación al corto, media y largo plazo que garanticen que aquellas zonas que permiten una mayor recarga en la microcuenca mejoren, conserven y/o protejan las condiciones en las que se encuentran los factores relacionados a la recarga hídrica y los recursos naturales en general.
- Como parte de la experiencia de este trabajo, se llegó a la conclusión de que debe haber un involucramiento de una gran variedad de actores, que garanticen que desde las mismas comunidades, se genere un cambio en la forma en la que actualmente están siendo manejados los recursos naturales dentro de la microcuenca, sin dejar por un lado, el fortalecimiento y el involucramiento de las autoridades locales.

## **7. RECOMENDACIONES**

- El municipio de Asunción Mita está conformado por varias microcuencas que presentan las mismas condiciones críticas de la microcuenca del río San Juan Las Minas, por lo que se recomienda a las autoridades y a la academia, realizar esfuerzos para determinar en estas otras áreas, aquellas zonas de recarga hídrica que puedan ser objeto de un manejo especial.
- Se recomienda a las autoridades invertir en el registro de información climática dentro del municipio o de forma más distribuida en el departamento, como una forma de monitorear la variación climática en todo su territorio, de forma que se cuente con información confiable al momento de invertir en acciones relacionadas con la adaptación al cambio climático y estudios similares a este.
- La información generada en el presente documento será socializada con las autoridades locales del municipio de Asunción Mita, sin embargo, se recomienda que estas trasladen la información a las comunidades, para que, de forma participativa, reconozcan la importancia de la gestión adecuada de los recursos dentro de la microcuenca.
- Con los datos calculados en el presente trabajo se recomienda también que se realicen análisis de las pérdidas de suelo por erosión que se dan actualmente en la microcuenca del río San Juan Las Minas y en todo el municipio, pues este análisis también contribuye a que se tomen acciones destinadas al manejo adecuado del suelo y por ende a la conservación de aquellas zonas de recarga hídrica.

## 8. LITERATURA CITADA

- Bardales W. 2010. Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala. Sistema de Integración centroamericana. 10 p.
- Basterrechea, M; Noriega A. 2019. Recursos hídricos. *In* E.J. Castellanos; A Paiz-Estévez, J; Escribá, M; Rosales-Alconero, & Santizo A. Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. Guatemala: Editorial Universitaria UVG. pp 86-107.
- CONAP-CALCEMAC-FONACON. 2013. Ficha Técnica del Corredor Biológico del Bosque Seco de Ostua. Guatemala. 87 p. Documento Técnico No. 105-01-2013.
- Donis, L. 2015. Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río negro, ciudad de Guatemala. Licenciatura en ciencias ambientales con énfasis en gestión ambiental. Guatemala, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 61 p.
- Gómez-Baggethun, E; de Groot, R. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Revista Ecosistemas* 16 (3) 4-14.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2001. Clasificación de tierras por capacidad de uso, aplicación de una metodología para tierras de la Republica de Guatemala. Instituto Nacional de Bosques. Guatemala. 96 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2004. Metodología para la delimitación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Instituto Nacional de Bosques. Guatemala. 106 p.
- INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG y URL. (2019). Cobertura forestal de Guatemala 2016 y dinámica de cobertura forestal 2010-2016. Guatemala. 137 p.
- Matus, O. 2007. Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. *Magister Scientiae*. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 228 p.
- Noriega, J. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río sibacá, Chinique, Quiché. Ingeniero Agrónomo. Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 83 p.
- Pérez, R. s.f. Experiencias exitosas de la GIRH, cuenca río San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala (en línea). Guatemala, Guatemala. Consultado 19 de abril 2021. Disponible en: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/case-studies/americas-and-caribbean/guatemala.-iwrmsuccessful-experiences-san-jeronimo-basin-baja-verapaz-321-spanish.pdf>
- Rivera, P; Bardales, W; Ochoa, W. 2019. Escenarios Futuros de Cambio Climático para Guatemala. *In* E.J. Castellanos; A Paiz-Estévez, J; Escribá, M; Rosales-Alconero, & Santizo A. Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. Guatemala: Editorial Universitaria UVG. pp 40-61.

Sadoff, C; Muller, M. 2010. La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales. Global Water Partnership. Estocolmo, Suecia. 101 p.

Schosinsky, G. 2006. Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central 34-35: 13-30.

SEGEPLAN (Secretaría de planificación y programación de la Presidencia). 2011. Plan de Desarrollo Municipal de Asunción Mita, Jutiapa. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Asunción Mita. Guatemala, Guatemala, SEGEPLAN/DTP. 120 p. (Serie PDM SEGEPLAN: 2205)

## 9. ANEXOS

### Cálculo de las fracciones que conforman el coeficiente de infiltración (Ci) según la metodología de Schosinsky

De acuerdo con la metodología de Schosinsky (2006) para el cálculo del coeficiente de infiltración (Ci) se necesita conocer los valores de las fracciones que infiltran debido a la pendiente (Kp), a la cobertura vegetal (Kv) y la textura del suelo (Kfc).

Uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia del suelo es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (Kfc), el cual se obtiene gracias a la siguiente fórmula:

$$Kfc = 0.2671 \ln(fc) - 0.000154fc - 0.723$$

Donde:

Kfc = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo)

fc = Infiltración básica del suelo

El valor de la infiltración básica del suelo está condicionado por la textura del suelo, dicho valor, se puede obtener del siguiente cuadro:

**Cuadro 15.** Valores utilizados para el cálculo de las constantes de humedad del suelo y la capacidad de infiltración según su textura

Textura	Capacidad de infiltración (fc)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad aparente (gr/cc)
<b>Arenoso</b>	5 cm/h (2.5-25.5) = 1200 mm/d	9 (6-12)	4 (2-6)	1.65 (1.55-1.80)
<b>Franco arenoso</b>	2.5 cm/h (1.3-7.6) = 600 mm/d	14 (10-18)	6 (4-8)	1.50 (1.40-1.60)
<b>Franco</b>	1.3 cm/h (0.8-2.0) = 312 mm/d	22 (18-26)	10 (8-12)	1.40 (1.35-1.50)
<b>Franco arcilloso</b>	0.8 cm/h (0.25-1.5) = 192 mm/d	27 (23-31)	13 (11-15)	1.35 (1.30-1.40)
<b>Arcilloso arenoso</b>	0.25 cm/h (0.03-0.5) = 60 mm/d	31 (27-35)	15 (13-17)	1.30 (1.25-1.35)
<b>Arcilloso</b>	0.05 cm/h (0.01-0.10) = 12 mm/d	35 (31-39)	17 (15-19)	1.25 (1.20-1.30)

Fuente: INAB (2004)

Para los otros dos factores (pendiente y vegetación) se deberán utilizar los siguientes cuadros:

**Cuadro 16.** Valores de infiltración básica por efecto de la pendiente

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

Fuente: Schosinsky (2006)

**Cuadro 17.** Valores de infiltración básica por efecto de la cobertura vegetal

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

Fuente: Schosinsky (2006)

### **Cálculo de los Porcentaje de horas de luz solar mensual**

Los porcentajes de horas de luz solar mensual necesarios para el cálculo de la evapotranspiración potencial de acuerdo a la fórmula de Blaney & Criddle se obtienen de tablas que presentan dichos porcentajes para diferentes latitudes, tanto del hemisferio norte como del hemisferio sur. Para el caso de Guatemala, los valores que se necesitan se ubican en la latitud 15 grados norte, los cuales son los siguientes:

**Cuadro 18.** Porcentaje de horas de luz solar mensual respecto al año, latitud 15° N

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
15° N	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.8	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88

### **Cálculo de los coeficientes de humedad C1 y C2**

Los coeficientes C1 y C2, son coeficientes que recogen la información sobre la humedad presente en el suelo a finales de mes, antes y después de que ocurre la evapotranspiración. Para el cálculo de dichos coeficientes, las fórmulas a utilizar son las siguientes:

$$C1 = \frac{(HSi - PMP + Pi)}{(CC - PMP)}$$

Donde:

C1 = Coeficiente humedad al final del mes  
 HSi = Humedad al inicio del mes (mm)  
 PMP = Punto de marchitez permante (mm)  
 Pi = Precipitación que infiltra (mm/mes)  
 CC = Capacidad de campo (mm)

$$C1 = \frac{(HSi - PMP + Pi - (C1 * ETP))}{(CC - PMP)}$$

Donde:

C2 = Coeficiente humedad al final del mes  
 HSi = Humedad al inicio del mes (mm)  
 PMP = Punto de marchitez permante (mm)  
 Pi = Precipitación que infiltra (mm/mes)  
 CC = Capacidad de campo (mm)  
 ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes)

### Valores de precipitación y temperatura utilizados para el cálculo de los balances hídricos

**Cuadro 19.** Precipitación promedio mensual en la microcuenca

PUNTO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMA
111	0	1	3	30	128	254	190	184	232	123	19	3	1167
113	0	1	3	30	128	254	190	184	232	123	19	3	1167
121	0	1	4	33	122	232	172	173	221	137	12	2	1109
122	1	1	6	42	127	242	172	177	226	139	14	3	1150
131	0	1	3	30	129	256	191	185	233	122	19	3	1172
132	0	1	3	30	129	256	191	185	233	122	19	3	1172
133	0	1	3	30	128	255	188	182	231	119	19	3	1159
141	0	1	4	35	124	235	173	175	224	140	12	2	1125
142	0	1	5	37	125	236	172	175	225	141	12	2	1131
143	0	1	2	23	122	239	188	177	226	133	14	1	1126
222	1	1	6	41	127	239	172	176	227	141	13	2	1146
241	0	1	5	37	126	238	175	177	227	143	12	2	1143
341	1	1	5	40	128	241	174	178	229	143	13	2	1155
411	0	1	2	23	123	241	192	181	229	137	13	1	1143
413	0	1	3	27	125	248	189	181	230	126	17	2	1149
422	1	1	6	42	129	241	173	178	230	144	13	3	1161
432	0	1	3	30	129	256	191	185	233	122	19	3	1172
441	0	1	3	26	121	232	180	175	223	140	11	1	1113
442	0	1	3	28	127	253	194	185	234	127	18	3	1173
443	0	1	3	26	121	232	180	175	223	140	11	1	1113

**Cuadro 20.** Temperatura promedio mensual en la microcuenca

PUNTO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
111	24.1	24.9	26.2	27.1	26.7	25.4	25.9	25.7	24.9	24.8	24.3	23.9	25.3
113	24.1	24.9	26.2	27.1	26.7	25.4	25.9	25.7	24.9	24.8	24.3	23.9	25.3
121	21.9	22.5	24.1	25	24.8	23.6	23.8	23.7	23.4	23.1	22.1	21.6	23.3
122	21.2	22	23.6	24.5	24.3	23.3	23.4	23.3	23	22.6	21.5	20.9	22.8
131	24.1	24.9	26.2	27.2	26.7	25.4	25.9	25.8	24.8	24.7	24.3	24	25.3
132	24.1	24.9	26.2	27.2	26.7	25.4	25.9	25.8	24.8	24.7	24.3	24	25.3
133	24.3	25.1	26.3	27.2	26.8	25.5	25.9	25.9	24.9	24.9	24.4	24	25.4
141	21.8	22.5	24.1	25.1	24.7	23.7	23.8	23.8	23.5	23	22.1	21.6	23.3
142	21.6	22.5	24	25	24.6	23.6	23.8	23.7	23.4	23	21.9	21.3	23.2
143	23.5	24.2	25.6	26.4	26.2	24.8	25.3	25.2	24.4	24.2	23.7	23.3	24.7
222	21.5	22.2	23.8	24.7	24.5	23.5	23.7	23.4	23.2	22.7	21.6	21.2	23.0
241	21.8	22.5	23.9	25	24.6	23.6	23.9	23.6	23.4	22.9	21.9	21.5	23.2
341	21.5	22.3	23.7	24.7	24.4	23.5	23.7	23.5	23.3	22.7	21.8	21.3	23.0
411	23.5	24.2	25.5	26.3	26	24.8	25.1	25.1	24.4	24.1	23.5	23.1	24.6
413	24	24.7	26	27	26.5	25.2	25.8	25.6	24.8	24.7	24.1	23.8	25.2
422	21.4	22.2	23.8	24.7	24.4	23.5	23.7	23.5	23.2	22.7	21.7	21.2	23.0
432	24.1	24.9	26.2	27.2	26.7	25.4	25.9	25.8	24.8	24.7	24.3	24	25.3
441	22.5	23.3	24.7	25.6	25.4	24.1	24.5	24.2	23.9	23.5	22.8	22.3	23.9
442	24	24.7	26	26.8	26.6	25.2	25.7	25.6	24.6	24.6	24.1	23.8	25.1
443	22.5	23.3	24.7	25.6	25.4	24.1	24.5	24.2	23.9	23.5	22.8	22.3	23.9





























## BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Schosinsky																										
UNIDAD DE MAPEO No.	Franco arcilloso																									
	Textura:																									
fc [mm/d]	192.00																									
Kp [0.01%]	0.06																									
Kv [0.01%]	0.20																									
Kfc [0.01%]	0.65																									
I [0.01%]	0.91																									
DS (g/cm <sup>3</sup> )	1.35																									
PR (mm)	500.00																									
HSi (mm)	182.25																									
No de mes con que inicia Hsi	10.00																									
Lluvia retenida [0.01%]	0.12																									
	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Por peso</th> </tr> <tr> <th>%</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CC</td> <td>27.00</td> <td>182.25</td> </tr> <tr> <td>PMP</td> <td>13.00</td> <td>87.75</td> </tr> <tr> <td>(CC-PMP)</td> <td>14.00</td> <td>94.50</td> </tr> </tbody> </table>													Por peso		%	mm	CC	27.00	182.25	PMP	13.00	87.75	(CC-PMP)	14.00	94.50
Por peso																										
%	mm																									
CC	27.00	182.25																								
PMP	13.00	87.75																								
(CC-PMP)	14.00	94.50																								
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total													
P (mm)	0.00	1.00	3.00	27.00	125.00	248.00	189.00	181.00	230.00	126.00	17.00	2.00	1149.00													
Ret (mm)	0.00	1.00	3.00	5.00	15.00	29.76	22.68	21.72	27.60	15.12	5.00	2.00	147.88													
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	20.02	100.10	198.60	151.35	144.94	184.18	100.90	10.92	0.00														
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	1.98	9.90	19.64	14.97	14.34	18.22	9.98	1.08	0.00	90.11													
T	24.00	24.70	26.00	27.00	26.50	25.20	25.80	25.60	24.80	24.70	24.10	23.80														
Ps	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88														
ETP (mm)	151.97	143.43	169.31	173.39	182.20	173.29	180.31	175.51	161.33	160.76	148.69	150.10														
HSi (mm)	92.34	88.54	87.82	87.82	89.63	98.63	177.66	181.16	180.43	182.25	173.03	109.60														
C1	0.05	0.01	0.00	0.21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.23														
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.64	0.66	1.00	0.37	0.00	0.00														
HD (mm)	4.59	0.79	0.07	20.09	101.98	209.48	241.26	238.35	276.86	195.40	96.20	21.85														
ETR (mm)	3.80	0.72	0.00	18.21	91.10	119.57	147.85	145.67	161.33	110.12	74.35	17.26	889.98													
HSf (mm)	88.54	87.82	87.82	89.63	98.63	177.66	181.16	180.43	182.25	173.03	109.60	92.34														
DCC (mm)	93.71	94.43	94.43	92.62	83.62	4.59	1.09	1.82	0.00	9.22	72.65	89.91														
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.03	0.00	0.00	0.00	21.03													
NR (mm)	241.88	237.14	263.74	247.80	174.72	58.31	33.55	31.66	0.00	59.86	146.99	222.75														
Simbología																										
fc: Capacidad de Infiltración.																										
I: Infiltración.																										
CC: Capacidad de Campo.																										
PM: Punto de Marchitez.																										
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																										









