

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**TESIS**

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA  
HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ**

**MARLON JOAQUÍN COY FIGUEROA**

**COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE DE 2 015**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**TESIS**

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA  
HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ**

**MARLON JOAQUÍN COY FIGUEROA  
200840414**

**COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE DE 2 015**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**TESIS**

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA  
HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ**

**PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE**

**POR**

**MARLON JOAQUÍN COY FIGUEROA  
CARNÉ 200840414**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE DE 2 015**

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

### **RECTOR MAGNÍFICO**

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

### **CONSEJO DIRECTIVO**

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovanni Macz Choc
SECRETARIA:	Licda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE DE DOCENTES:	Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE EGRESADOS:	Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	Br. Fredy Enrique Gereda Milián P.E.M. César Oswaldo Bol Cú

### **COORDINADOR ACADÉMICO**

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

### **COORDINADOR DE LA CARRERA**

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

### **COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

COORDINADOR:	Ing. Geol. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler
SECRETARIA:	Inga. Geol. Silvia Friné Cortéz Bendfeldt
VOCAL:	Ing. Geol. Osmín Jared Vásquez Hernández

### **REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO**

Lic. Marvin Cuz Kuckling

### **REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Ing. Geol. Mario Roberto García Milián

### **ASESOR**

Ing. Geol. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



20 de abril de 2015

**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE – CUNOR –  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209  
Guatemala, C. A.  
E-mail: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

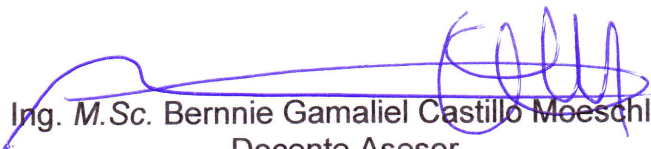
Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEOL. MARLON JOAQUÍN COY FIGUEROA**, carné No. **200840414**, titulado: **“IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
Ing. M.Sc. Bernnie Gamaliel Castillo Moeschler  
Docente Asesor  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE – CUNOR –  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209  
Guatemala, C. A. .  
E-mail: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

Ref. 15-CG-272/2015  
13 de agosto de 2015


Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

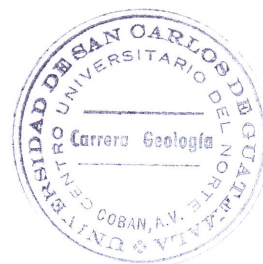
Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEOL. MARLON JOAQUÍN COY FIGUEROA**, carné No. **200840414**, titulado: **“IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
Ing. Geol. Mario Roberto García Milián  
Docente Revisor  
Carrera Geología  
CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE – CUNOR –  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

E-mail: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

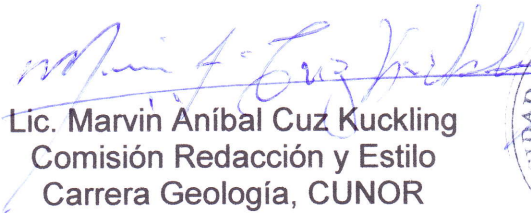
Ref. 15-CG-337/2015  
28 de septiembre de 2015.

Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio remito el informe Final de Trabajo de Graduación a nivel de grado titulado: **“IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ”**, realizado por el (la) **T.U. GEOL. MARLON JOAQUÍN COY FIGUEROA**, carné No. **200840414**, el cual ya fue revisado por la **COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO** de la Carrera de Geología, quienes consideramos llena los requisitos establecidos para su aprobación.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

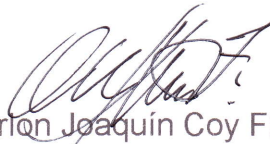
  
Lic. Marvin Aníbal Cuz Kuckling  
Comisión Redacción y Estilo  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

## HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: "IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ", como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero geólogo.



Marlon Joaquín Coy Figueroa  
Carné No. 200840414

## **RESPONSABILIDAD**

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”.

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2 .4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

## **ACTO QUE DEDICO**

A Dios y a la vida hasta hoy.

A mis padres: Joaquín Israel & Maria Elizabet gracias por tomarme de mis manos y haberme formado correctamente, juntos lo hemos logrado.

A mis hermanas, Carmen Julissa y Lisbeth Natalí que sea para ustedes un aliciente para siempre alcanzar sus objetivos; con esfuerzo, dedicación y amor.

A mis abuelos, ya que con su compromiso y esfuerzo engendraron a mis padres que supieron darme todo su amor y trabajo para lograr esta meta.

A las familias Coy Ibarra, y Figueroa Hernández, que sea para cada uno de sus miembros un logro más.

A cada uno de mis amigos y amigas, a los cuales fui conociendo a largo de mi formación académica. Fueron varias generaciones con las que conviví y aprendí todos los días. El sueño comenzó en enero de 2008 y hoy, puedo decirles que lo he logrado.

A la carrera de Geología, al cuerpo de docentes y personal administrativo.

A mi alma mater, la Universidad de San Carlos de Guatemala especialmente al Centro Universitario del Norte; por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona.

“Uno no es de ninguna parte mientras no tenga un muerto bajo la tierra”.  
**Cien años de soledad – Gabriel García Márquez**

“Los sueños son de quien los sueña, y de nadie más”  
**Persona Normal – Benito Taibo**

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	i
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>OBJETIVOS</b>	2

### CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1.	Planteamiento del problema	3
1.2.	Justificación	4
1.3.	Hipótesis	5
1.4.	Alcances	5
1.5.	Antecedentes	6
1.6.	Localización y extensión	7
	1.6.1 Localización geográfica	7
	1.6.2 Localización cartográfica	7
	1.6.3 Vías de acceso	8
1.7.	Clima	10
1.8.	Zonas de vida	10
1.9.	Drenaje	11
1.10.	Fisiografía	13
	1.10.1 Región fisiográfica de las Tierras Altas Sedimentarias	13
	a. Subregión zonas montañosa Cobán – Senahú	13
	1) Gran paisaje: Cerros y lomas cársticas de Cobán - . Cahabón	14
	2) Gran paisaje: Montañas de Tactic –Tucurú-Senahú	14

1.11.	Sistemas de información geográfica	16
1.11.1.	Interpolación espacial ( <i>IDW</i> )	16
1.11.2.	Álgebra de mapas	17

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

2.1.	Generalidades	19
2.2.	Marco metodológico	19
2.2.1	Etapa de recopilación y análisis bibliográfico	19
2.2.2	Etapa de campo	20
2.2.3	Etapa de laboratorio	20
2.2.4	Etapa de gabinete	20
2.3.	Metodología aplicada	21
2.3.1	Caracterización de las zonas potenciales de recarga hídrica	21
a.	Pendientes	24
b.	Tipo de suelo	25
1)	Determinación de la textura	25
2)	Mapa de muestras obtenidas	27
c.	Cobertura vegetal	30
1)	Elaboración del mapa temático de cobertura vegetal	31
d.	Uso del suelo	34
1)	Mapa temático obtenido	35
e.	Estructuras geológicas	36
1)	Elaboración del mapa temático	38
f.	Depresiones kársticas	40
1)	Elaboración del mapa temático	42
g.	Corrientes superficiales	43
1)	Mapa temático de densidad elaborado	45
h.	Precipitación	46



1) Generalidades	48
2) Mapa temático obtenido	51
2.3.2 Modelo propuesto para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica	51
a. Construcción de la matriz pareada	52
b. Ecuación final, aplicada en la zona de investigación	55

### **CAPITULO 3**

#### **ANALISIS DE RESULTADOS**

3.1. Generalidades	57
3.2. Pendientes	57
3.3. Análisis de tipo de suelo	60
3.4. Cobertura vegetal	63
3.5. Uso de suelo	66
3.6. Estructuras geológicas	69
3.6.1. Lineamientos	69
3.7. Depresiones kársticas	73
3.8. Corrientes superficiales	76
3.9. Precipitación	78
3.10. Zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca	81
3.10.1. Generalidades	81
3.10.2. Síntesis	82
<b>CONCLUSIONES</b>	87
<b>RECOMENDACIONES</b>	89
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	91
<b>ANEXOS</b>	93

## ÍNDICE DE CUADROS

1	Potencial de recarga hídrica según tipo de pendiente	24
2	Potencial de recarga hídrica del suelo según su textura	29
3	Potencial de recarga hídrica según el tipo de cobertura vegetal	31
4	Potencial de recarga hídrica según el uso de suelo	35
5	Potencial de recarga hídrica según infiltración secundaria	39
6	Ponderación de la densidad de depresiones kársticas	43
7	Ponderación de corrientes y el potencial de recarga asociado	45
8	Ponderación de precipitación local y el potencial de recarga asociado	51
9	Escala de comparación	53
10	Matriz pareada	54
11	Valor de consistencia	55
12	Distribución de las pendientes y el área ocupada en la subcuenca	58
13	Resumen de muestras analizadas	61
14	Distribución de la cobertura vegetal en la zona estudiada	64
15	Distribución del uso de suelo	67
16	Distribución de la densidad de depresiones kársticas en la zona	74
17	Potencial de recarga hídrica según las corrientes superficiales	78
18	Potencial de recarga hídrica en la subcuenca estudiada	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

1	Metodología empleada	23
2	Diagrama ternario para la clasificación de suelos	27
3	Precipitación anual, estación Caquipec	49
4	Precipitación anual, estación Tzunutz	49
5	Precipitación multianual de las estaciones Caquipec y Tzunutz	50
6	Roseta de rumbos para lineamientos	71
7	Porcentaje de las zonas potenciales identificadas	86

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Accidentes topográficos	60
2	Tubos de sedimentación con muestras	63
3	Bosque conífero, en aldea Semesché	66

## ÍNDICE DE MAPAS

1	Localización del área de estudio	8
2	Accesos para llegar al área de estudio	9
3	Mapa de cuencas cercanas al área de estudio	12
4	Fisiográfico-geomorfológico de la zona de estudio	15
5	Localización de las muestras de suelo analizadas	28
6	Cobertura de la escena <i>Landsat</i> 8 utilizada	32
7	Lineamientos identificados en el área de investigación	38
8	Depresiones kársticas identificadas	41
9	Corrientes superficiales de la subcuenca	44
10	Pendientes reclasificadas de la subcuenca	59
11	Potencial de recarga hídrica basado en el tipo de suelo	62
12	Potencial de recarga hídrica según la cobertura vegetal	65
13	Potencial de recarga hídrica según uso de suelo	68
14	Diagramas de rosa de los lineamientos en la subcuenca	70
15	Potencial de recarga hídrica basado en los lineamientos	72
16	Densidad de depresiones kársticas	75
17	Potencial de recarga hídrica según corrientes superficiales	77
18	Potencial de recarga hídrica según la precipitación	80
19	Zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz	83

## RESUMEN

En esta investigación se tuvo como objetivo global identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz, la cual es drenada por el río del mismo nombre. Para lograr los objetivos planteados se utilizó un modelo metodológico para identificar el potencial de recarga hídrica, basado en un análisis de evaluación multivariable en los que se incluyen las pendientes, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso del suelo, estructuras geológicas, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local.

Con el uso de sistemas de información geográfica se realizó un estimación cuantitativa del potencial de recarga presente en el área de la subcuenca. Utilizando álgebra de mapas y la utilización de imágenes *raster* de cada una de las variables definidas, se obtuvo un mapa en el que se identifican las áreas potenciales de recarga.

Los resultados muestran una categoría para cada potencial de recarga, este mapa obtenido se denominó “zonas potenciales de recarga hídrica, en la Subcuenca del río Tzunutz”. Las categorías son: muy bajo (11.54%), bajo (23.85%), moderado (28.96%), alto (23.02%), muy alto (12.62%).

En el análisis de cada una de estas categorías, se evidenció un potencial de recarga moderado característico, por lo que se ha establecido un equilibrio dentro de la zona estudiada, según los parámetros analizados.

De acuerdo a las características identificadas las zonas con potencial muy alto y alto, se requieren medidas de protección y conservación apropiadas; mientras que zonas con potencial moderado deben ser manejadas de forma adecuada, dando seguimiento a las actividades que ahí se desarrollan. Para las zonas con potenciales bajos se deberían crear planes de prácticas agrícolas adecuadas, que minimicen el impacto de la actividad antrópica.



## INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son un elemento básico para el desarrollo de la vida en la Tierra, también tienen un rol muy importante en casi todas las actividades de la humanidad, y es en la actualidad uno de los recursos naturales que tienen más demanda. El agua se ve influenciada por un sistema en el que el suelo, bosque y la precipitación están vinculados de manera, que si hay deterioro o mal manejo de uno de ellos, se percibe una disminución de ella en la cantidad, generalmente en épocas de verano.

La recarga hídrica se define como la capacidad de una extensión de tierra (subcuenca en este caso), que permite capturar el agua meteórica, mediante la infiltración en el subsuelo, en el que a su vez interactúan las pendientes, el tipo de suelo, la cobertura vegetal. Se evaluaron la densidad de estructuras geológicas, depresiones kársticas y corrientes superficiales por kilómetro cuadrado, así como la precipitación local que es la fuente primaria de aporte a las zonas potenciales de recarga.

La investigación se realizó mediante la propuesta de un modelo de evaluación multicriterio, con el cual se realizó un proceso de análisis jerárquico que determinó la importancia de cada parámetro, que es la ponderación asignada entendiendo el proceso de recarga hídrica como un sistema interactivo.

La identificación de las zonas con mayor potencial de recarga permitirá crear planes de protección local. Zonas con un potencial moderado deben ser resguardadas, esto último basados en el mapa propuesto, que podrá ser utilizado como un instrumento por autoridades e instituciones gubernamentales.

## OBJETIVOS

### General

Identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz, ubicada al sur del río Cahabón.

### Específicos

- a) Describir los parámetros que intervienen en el proceso de recarga hídrica y definen a su vez el potencial teórico.
- b) Elaborar un modelo metodológico local, que permita definir el potencial de recarga hídrica.
- c) Generar un mapa que represente las zonas potenciales de recarga hídrica a escala 1:50 000, mediante la integración de cada uno de los parámetros, haciendo uso de sistemas de información geográfica.



## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Atendiendo la problemática ambiental de nuestra región y enfocando los esfuerzos en los municipios de San Pedro Carchá y San Juan Chamelco del departamento de Alta Verapaz, uno de los temas ambientales que cobra importancia es el relacionado con el agua.

La información existente suele ser muy general y carente de actualizaciones, se tienen vacíos en antecedentes encontrados, de los cuales se desconocen datos reales como cambios en la precipitación anual, temperatura, áreas deforestadas, densidad poblacional, etcétera.

Problemas en el área urbana como lo es la escasez de agua potable en verano, han generado dudas sobre la mala administración de los recursos naturales de los que se disponen, sin embargo, las autoridades no hacen énfasis en determinar a qué se debe el problema; en cambio sólo han iniciado campañas para la utilización racional del recurso sin asegurar su abastecimiento a los pobladores.

Conocer las condiciones a las que se encuentra el área de la subcuenca y además estudiarla desde un punto de vista hidrogeológico, permitirá tener información disponible y actualizada.

Desde el punto de vista de la hidrogeología aquellas áreas que alimentan los afluentes naturales, se conocen como “zonas de recarga hídrica”, para lograr su localización se requiere de un estudio técnico que determine sus ubicaciones geográficas. Además de analizar la forma en que se da la recarga.

Con este proyecto de investigación se respondió el siguiente cuestionamiento:

¿Cuáles son las zonas de mayor potencial de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz y, de qué forma se encuentran distribuidas geográficamente?

## **1.2. Justificación**

La subcuenca del río Tzunutz muestra un desarrollo comunitario grande, debido a varias aldeas de San Pedro Carchá y San Juan Chamelco. La relación directa es de las autoridades municipales, organizaciones y los ciudadanos de los municipios que aseguren el mantenimiento de los recursos naturales para su óptima conservación.

Los trabajos de investigación hidrogeológica en el territorio nacional son escasos, sin embargo en la actualidad están tomando una mayor importancia dentro de los distintos campos del área laboral, tanto en el ámbito nacional como internacional.

Los datos obtenidos de esta investigación podrán ser aprovechados para crear planes de manejo agrícolas y de conservación, de mantos acuíferos en el subsuelo. Ya que la escala de trabajo utilizada es de 1: 50 000; es un detalle que puede ser aprovechado en otras investigaciones.

El desarrollo de investigaciones sobre los recursos hídricos en diferentes zonas del país, aporta datos reales y más detallados que puedan ayudar a su protección y recuperación de zonas que han sido devastadas en el tema agrícola.

Con la identificación de las zonas de recarga hídrica potencial se puede hacer una mejor valoración del recurso y crear planes estratégicos que reduzcan el impacto de otros fenómenos, como son: los cambios climáticos extremos (sequías e inundaciones).

### **1.3. Hipótesis**

El área de la zona de la subcuenca del río Tzunutz tiene el mismo potencial de recarga hídrica, sin embargo puede variar según los parámetros de: pendientes, tipo de suelo, estructuras geológicas, cobertura vegetal, uso de suelo, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local.

### **1.4. Alcances**

Los estudios geohidrológicos son esenciales para reconocer zonas de recarga hídrica y flujos de agua subterránea en una cuenca o área específica.

La clasificación de cada parámetro fue de 5 categorías, que muestran un potencial de recarga para cada uno, representado mediante los mapas temáticos obtenidos.

La elaboración del modelo propuesto se realizó mediante el análisis del área de la subcuenca y sus características geohidrológicas,

por lo que la aplicación del modelo obtenido no puede ser utilizada en otras áreas de captación.

### **1.5. Antecedentes**

La cuenca del río Cahabón cuenta con una amplia zona boscosa, caso contrario en la zona árida del país, en el cual el recurso hídrico es más limitado. Sin embargo, los agricultores buscan nuevas áreas para realizar sus siembras, deforestando sin tomar en cuenta las zonas de recarga hídrica.

Actualmente el tema de investigación científica ha tomado un auge relacionada con los recursos hídricos y sus impactos a corto y largo plazo.

Existen investigaciones locales que de alguna forma detallan de mejor manera la subcuenca estudiada aportando datos para investigaciones más puntuales.

A partir de las investigaciones previas, se tiene la de Chiquín Marroquín, Et. Al. (2 002), quien realizó una “Caracterización geológica del karst, en la porción sur de Alta Verapaz, Guatemala” la cual constituye el primer estudio para desarrollar un modelo geológico en la región.

De los estudios regionales se tiene información con la zona de estudio, sin embargo no se especifican zonas puntuales en donde se da la posible recarga hídrica.

Yash, E. (2 003), en su tesis de grado titulada “Evaluación de la amenaza por inundación en la parte occidental de la cuenca del río Cahabón” indica que en la parte kárstica de su zona de estudio se

presenta una baja densidad de drenaje y una fuerte recarga hídrica, área que tiene relación con la zona de la subcuenca.

En 2004, B. Ramos realiza su trabajo de graduación titulado “Evaluación hidrogeomorfológica de la vertiente del Golfo de México en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala”, en la investigación se indica que los resultados de los balances hídricos y el análisis de la morfología en la zona, contrasta con la existencia de una barrera orográfica que condiciona la distribución de lluvia, así como los niveles de temperatura.

## **1.6. Localización y extensión**

### **1.6.1. Localización geográfica**

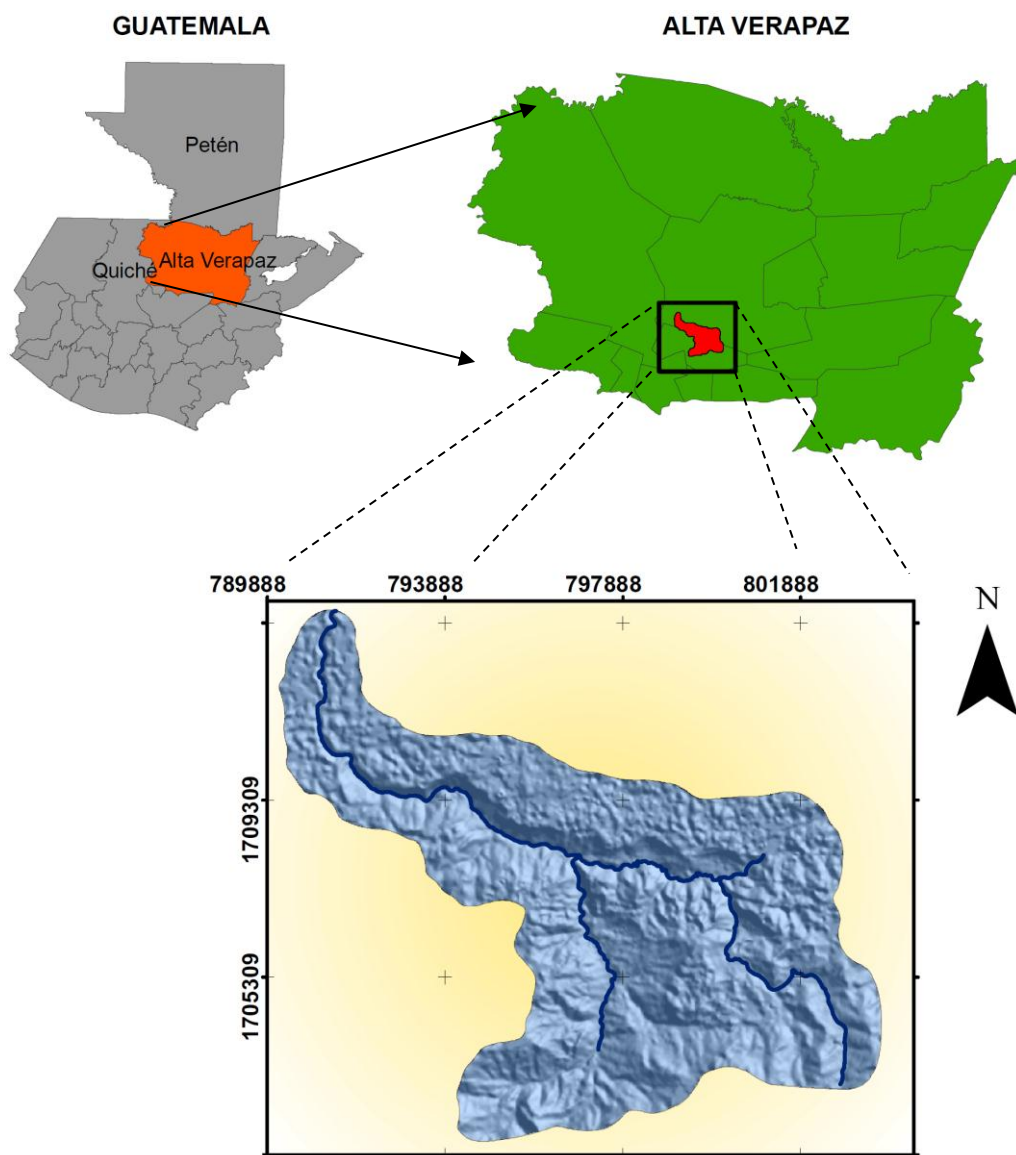
La zona de estudio se encuentra ubicada entre los municipios de San Pedro Carchá y San Juan Chamelco, ambos en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala.

El área tiene una extensión de aproximadamente 75 km<sup>2</sup>, se encuentra delimitada en color rojo, (mapa 1). El área es drenada principalmente por el río Tzunutz, cauce principal con una longitud de 2.5 Km aproximadamente.

### **1.6.2. Localización cartográfica**

La zona de estudio se ubica en la hoja topográfica Cobán (2162 III), con *Datum* WGS-84 zona 15N. En el mapa 1 se puede identificar a que departamento de Guatemala pertenece la zona de estudio.

### MAPA 1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



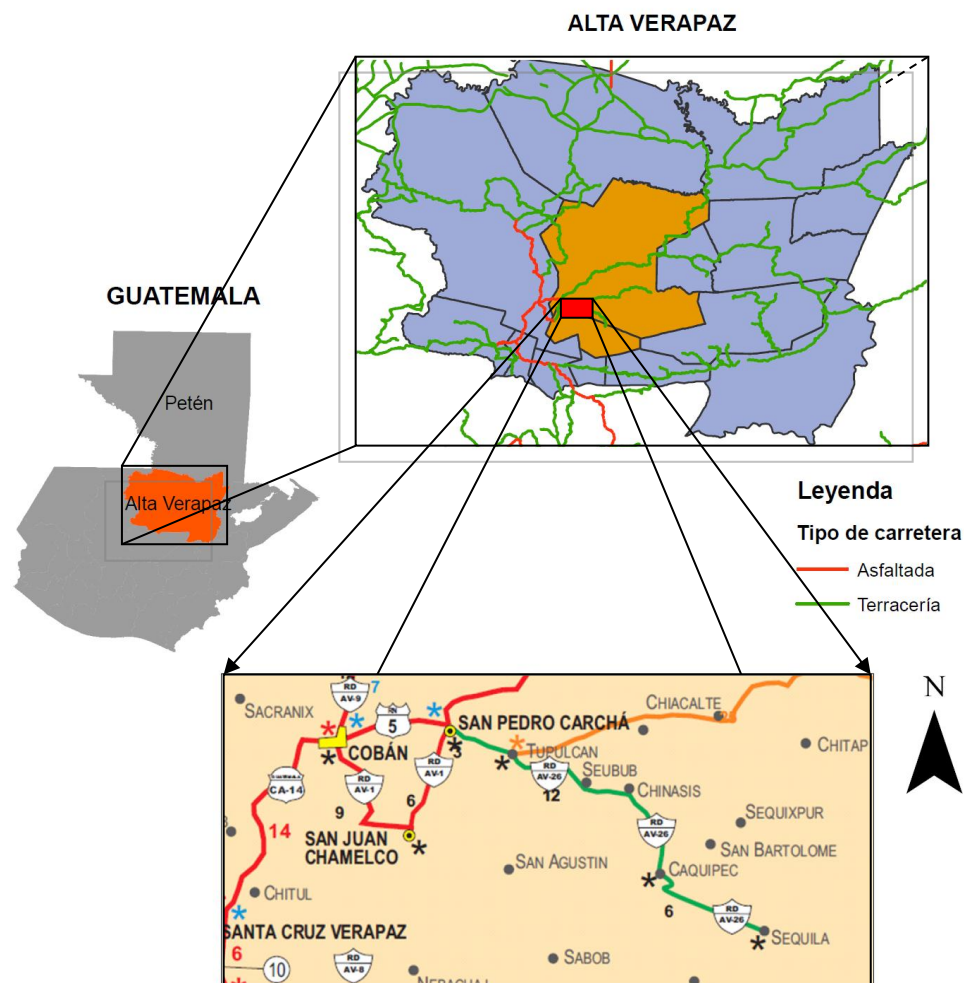
Fuente: Investigación de campo, año 2014.

#### 1.6.3. Vías de acceso

Para llegar a la zona se tiene la ruta que conduce a las aldeas más lejanas del municipio de San Pedro Carchá (al este del centro urbano).

La Ruta Departamental, AV-26 es transitable en cualquier época del año con vehículo de doble tracción, esta ruta comunica de la cabecera municipal a las comunidades de Secochoy, Caquipec, Chirrucbiquim, Sequila, (mapa 2).

## MAPA 2 ACCESOS PARA LLEGAR AL ÁREA DE ESTUDIO



**Fuente:** Investigación de campo, año 2014.

Así mismo, se puede acceder por el municipio de San Juan Chamelco, en una carretera de terracería de doble vía, transitable en cualquier época del año, en algunas partes del trayecto se tiene incluso tramos pavimentados.

## 1.7. Clima

“El clima de Guatemala adquiere características particulares por la posición geográfica y topografía del país, variando extremadamente por su relieve y los regímenes de vientos húmedos que provienen del mar Caribe (vientos alisios) y del océano Pacífico.”<sup>1</sup>

Según el informe ambiental del estado de Guatemala, “El país se ha zonificado en seis regiones climáticas según el sistema de *Thorntwaite*”

La zona de estudio es atribuida a la denominada: "Franja transversal del norte, donde las elevaciones oscilan entre los 300 msnm y 1400 msnm", según el MARN se encuentra definida por la ladera de la sierra de Los Cuchumatanes, Chamá y la Sierra de las Minas; finalizan definiendo la región como muy lluviosa, en donde los registros más altos se obtienen de junio a octubre.

## 1.8. Zonas de vida

"... el número de zonas de vida o formaciones ecológicas que posee Guatemala, hace pensar en la riqueza y complejidad de la composición florística, especialmente en las zonas más lluviosas o pluviales."<sup>2</sup>

La zona estudiada se encuentra inmersa en la zona denominada 'Bosque muy húmedo subtropical (frío)' [bmh-S (f)], basado en el sistema *Holdrige*; esta nomenclatura final fue propuesta indicando las siglas de cada palabra en el informe final publicado por el MAGA.

---

<sup>1</sup>Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-. Informe ambiental del Estado de Guatemala. 2 009. <http://www.marn.gob.gt/documentos/nov/geo.pdf> (17 de junio de 2 014).

<sup>2</sup>Cruz S. Jorge René de la. *Clasificación de las zonas de vida en Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala: Instituto Nacional Forestal, 1 982.



El sistema *Holdrige*, contempla parámetros de biotemperatura y precipitación que determinan los límites entre las unidades climáticas de mayor rango. El régimen de lluvias es de mayor duración, lo que influye en la vegetación.

“El patrón de lluvia varía de 2,045 mm a 2,514 mm promediando 2,284 mm de precipitación total anual. Las biotemperaturas van de 16 °C a 23 grados °C.”<sup>3</sup>

La topografía es generalmente ondulada llegando en algunos casos a ser accidentada.

La vegetación natural que se considera como indicadora, está representada por: “... *Liquidambar styraciflua*, *Persea donnell smithii*, *Pinus pseudostrobus*, *Persea schiediana*, *Rapanea feruginea*, *Clethra spp.*, *Myrica spp.*, *Croton draco*, *Eurya seemanii*.” Destacan las especies que conforman los bosques densos y mixtos.<sup>4</sup>

## 1.9. Drenaje

El área forma parte de la cuenca del río Cahabón. En el mapa 3 se pueden observar las diferentes cuencas aledañas y la zona de desembocadura. La zona está ubicada en la vertiente del Caribe (color azul).

De acuerdo con el informe de Cuencas Hidrográficas (2 011) del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales “... la Cuenca del río Cahabón tiene un área de 245,900 hectáreas un 2% del área del país, el caudal promedio que en el año 2006 fue de 130.71 m<sup>3</sup>/s; tiene un aporte de 14 municipios de distintos departamentos. La totalidad de la zona estudiada forma parte de la cuenca del río Cahabón.”<sup>5</sup>

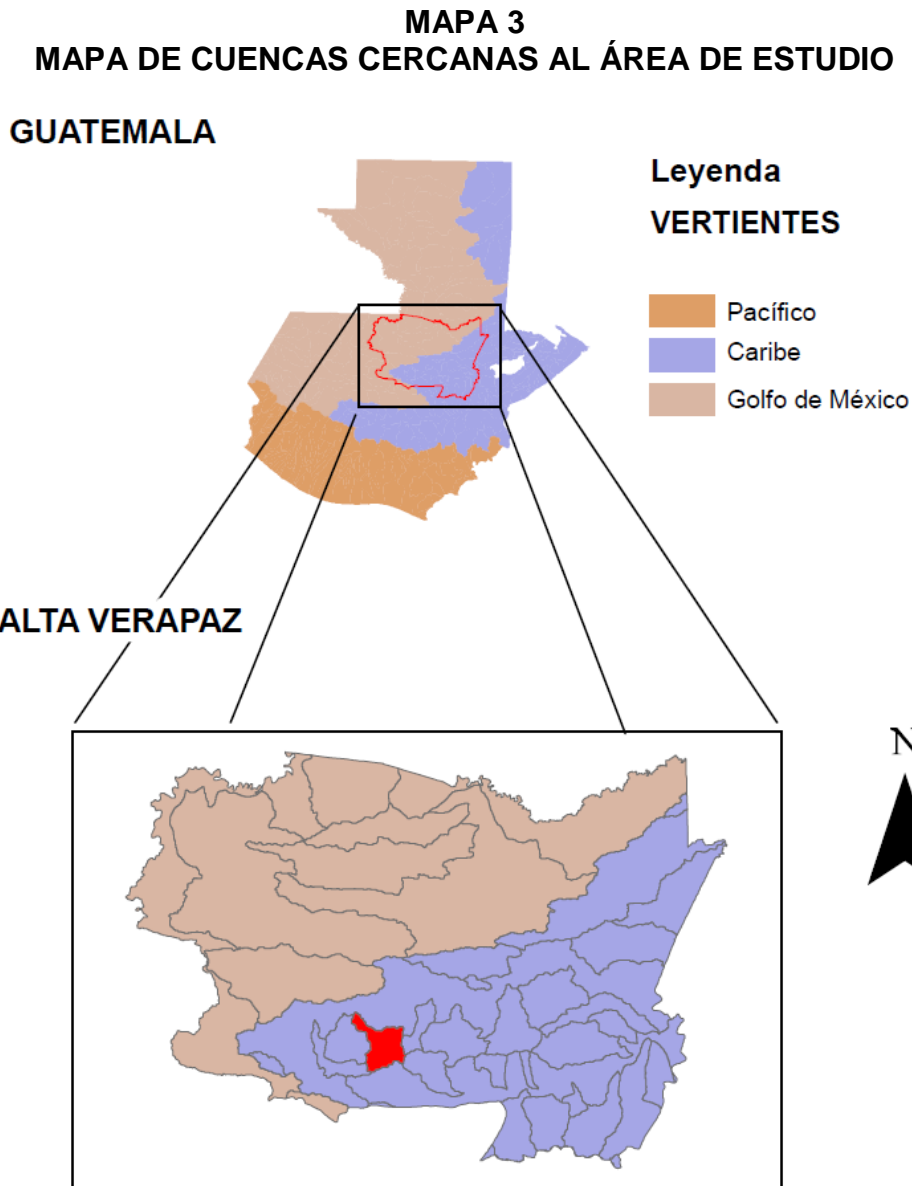
---

<sup>3</sup> *Ibidem.*, 18.

<sup>4</sup> *Ibidem.*

<sup>5</sup> Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. *Mapa de Cuencas Hidrográficas a escala 1: 50 000, República de Guatemala*, 2.009. [http://www.sigmaga.com.gt/pdfs\\_sigmap/MEMORIA%20CUENCAS\\_50000.pdf](http://www.sigmaga.com.gt/pdfs_sigmap/MEMORIA%20CUENCAS_50000.pdf) (07 de mayo de 2 014).

El tipo de red de drenaje local se detalla en el capítulo de resultados, así como la caracterización a fondo de la zona cubierta por la subcuenca del río Tzunutz que bifurca en su parte más baja en el río Cahabón.



**Fuente:** Investigación de campo, año 2014.

## **1.10. Fisiografía**

En el documento titulado "Mapa fisiográfico-geomorfológico de la República de Guatemala", el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación describe las diferentes regiones fisiográficas, subregiones y grandes paisajes; esta última como unidad geomorfológica detallando su ubicación, localización, tipos de roca asociados, morfogénesis y morfocronología.

Con la información proporcionada por esta base de datos, con una escala de trabajo de 1:250 000 se tiene la primera aproximación geomorfológica del país, constituyéndose como una herramienta útil con información temática afín, (mapa 4).

### **1.10.1. Región fisiográfica de las Tierras Altas Sedimentarias**

Esta región se extiende de oeste a este del país, en la zona norte específicamente, abarca los departamentos de Huehuetenango, Quiché y Alta Verapaz (mapa 4).

El dominio de rocas carbonatadas ha dado lugar a tener una topografía Kárstica muy característica, con elementos como sumideros que producen un drenaje subterráneo.

#### **a. Subregión zona montañosa Cobán-Senahú**

De acuerdo con el MAGA "...esta unidad fisiográfica abarca el territorio ubicado y localizado en el entorno de Cobán, San Cristóbal Verapaz y Cahabón; su relieve tiene alturas entre 1,000 a 2,000 msnm. No se observan muchas corrientes de drenaje superficial debido a la presencia de

carst, por lo cual se observa una gran cantidad de dolinas (siguanes o sumideros)."<sup>6</sup>

Así mismo, se menciona que en esta subregión se tienen rocas muy antiguas; dentro de éstas se tienen calizas, evaporitas, conglomerados y rocas plutónicas.

**1) Gran paisaje: Cerros y lomas cársticas de Cobán-Cahabón**

Esta unidad se compone por cerros y lomas de contornos redondeados, con elevaciones que oscilan entre los 2,000 msnm (al oeste), hasta los 700 msnm (al este). Las pendientes son menores del 30% con áreas planas, los sumideros y dolinas son muy comunes.

"... Las rocas de esta unidad son carbonatos, principalmente calizas, dolomías y evaporitas de la Formación Cobán."<sup>7</sup>

**2) Gran paisaje: Montañas de Tactic-Tucurú-Senahú**

Según la memoria técnica de la fisiografía de la unidad, presenta un relieve formado por laderas con pendientes fuertes (de 25 a 40%), con divisorias angostas y alargadas. Las elevaciones oscilan entre los 100 msnm y 2 000 msnm.

---

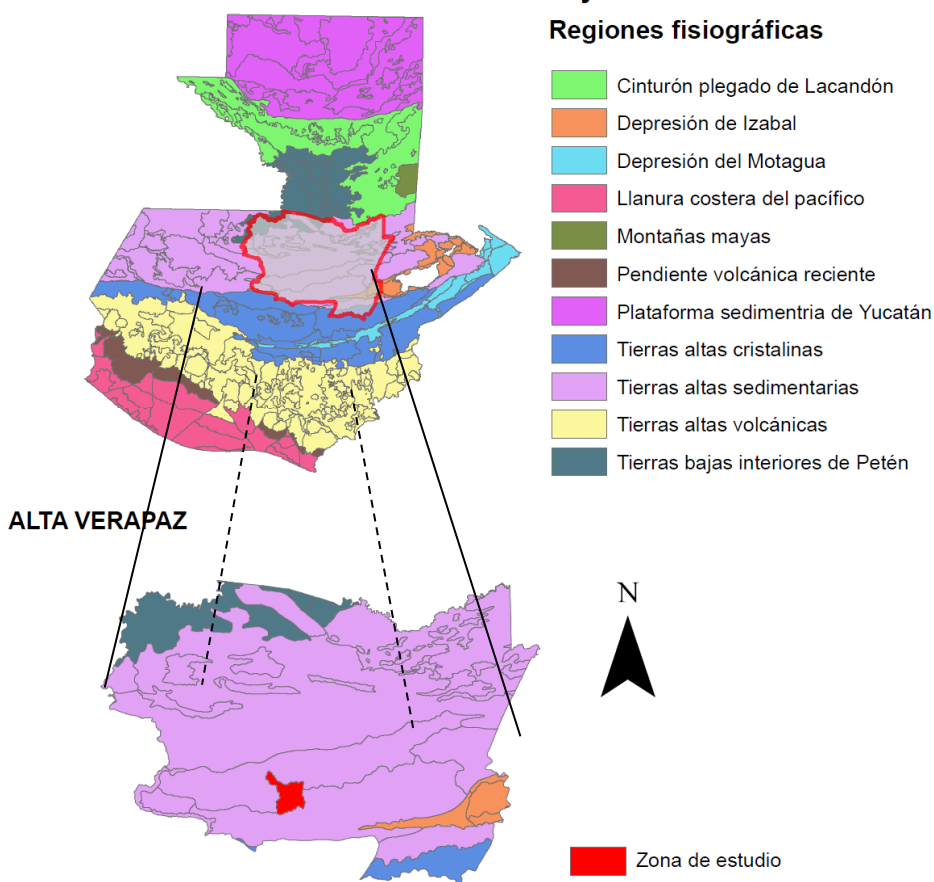
<sup>6</sup>Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. Mapa fisiográfico-geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1: 250 000. Guatemala, 2 001.

<sup>7</sup>*Ibidem.*, 73.

Respecto al tipo de roca concluyen "... esta constituida principalmente por rocas carbonatadas y en menor proporción de rocas clásticas". De las geoformas se menciona que tiene un gran influencia la erosión hídrica, que actúa principalmente sobre las rocas sedimentarias al igual que en los carbonatos produciendo una topografía cárstica con sumideros y dolinas.<sup>8</sup>

#### MAPA 4 FISIOGRÁFICO-GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

GUATEMALA



**Fuente:** Investigación de campo, año 2014.

<sup>8</sup> *Ibidem.*

## 1.11. Sistemas de información geográfica

“Un sistema de información geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software y procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes” cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial.”<sup>9</sup>

El uso de estos sistemas de información, fue esencial para la edición de los mapas temáticos, con los cuales se obtuvieron los resultados esperados.

Entre los subsistemas de los que se componen los SIG tenemos:

- Permite recopilar y procesar información de varias fuentes, no solo en sus modelos de datos sino también en la configuración de sistemas espaciales (datum, proyecciones, etcétera).
- Permite almacenar y acceder a la información, que puede ser analizada de forma visual, dando la oportunidad de editarla y actualizarla.
- Permite la manipulación de los datos para generar nueva información: disolver, eliminar, intersectar, estimas parámetros, restricciones e implementación de modelos específicos.

### 1.11.1. Interpolación espacial (*IDW*)

El método de interpolación *IDW* (*Inverse Distance Weight* en inglés) se traduce como la distancia inversa ponderada.

---

<sup>9</sup>Definiciones de SIG. <http://www.unalmed.edu.co/~janaya/clase2/clase2.htm> (5 de abril de 2 015).

“Este interpolador equivale a trazar una línea recta entre dos valores conocidos, por tanto todos los valores contenidos en esa línea serán valores pronosticables. Así pues, este método tendrá más fiabilidad cuantas más líneas se tracen alrededor de estos valores conocidos.”<sup>10</sup>

Estas interpolaciones son fidedignas en el sentido de que conservan los valores originales. Variando el número de vecinos seleccionados, además del peso de la distancia en la fórmula del algoritmo, la superficie resultante se verá alterada.

### 1.11.2. Álgebra de mapas

“El álgebra de mapas es un lenguaje diseñado específicamente para sistemas geográficos basados en celdas. El lenguaje permite al usuario ordenar sus pensamientos y ofrece las reglas y sintaxis necesaria para que el usuario se pueda comunicar con el computador.”<sup>11</sup>

El álgebra de mapas es un lenguaje computacional de alto nivel para describir modelamiento cartográfico. Este lenguaje establece un grupo de convenciones para el control del procesamiento de datos

Para elaborar los mapas se utilizan comandos y operadores. Los comandos son instrucciones principalmente para el manejo de *grids* y herramientas específicas dependiendo del software utilizado.

---

<sup>10</sup>Modelos de superficie e interpolaciones. <http://inisig.com/modelos-de-superficie-interpolaciones-2/> (5 de abril de 2015).

<sup>11</sup>Álgebra de mapas. <http://www.unalmed.edu.co/~janaya/clase9/clase9.htm> (5 de abril de 2015).

Los operadores desarrollan cálculos matemáticos dentro y entre *grids*, con valores enteros o flotantes, estos valores están relacionados con el concepto de precisión, el cual a su vez tiene implicaciones en capacidad de almacenamiento (tamaño de la celda en píxeles).



## **CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA**

### **2.1. Generalidades**

Se explica cada etapa que conllevó el proceso de investigación y la obtención de datos. Estas son: recopilación y análisis bibliográfico, visitas de campo, laboratorio y gabinete.

Asimismo, se buscó interpretar de mejor manera la realización de los diferentes mapas temáticos, aumentando el grado de confiabilidad, y logrando obtener los resultados esperados.

### **2.2. Marco metodológico**

#### **2.2.1. Etapa de recopilación y análisis bibliográfico**

Esta etapa se desarrolló a través de la búsqueda de información puntual acerca de la investigación; como lo es la metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica y su aplicación en la zona de estudio.

Se recopiló literatura como fuente primaria (documentos, tesis, libros, páginas web, artículos), y como fuente secundaria (hojas topográficas, hojas geológicas, base de datos de SIG) de entidades como el MAGA e IGN.

### **2.2.2. Etapa de campo**

Consistió en llevar a cabo las visitas de campo para la adquisición de datos estructurales (fracturas, estratificaciones, fallas).

Se obtuvieron muestras de suelo, para determinar la textura mediante un ensayo de laboratorio, que determinaron sus características de permeabilidad.

El apoyo de personas que habitan en las aldeas y comunidades dentro de la zona de investigación fue de utilidad en la localización de accesos, manantiales que fueron analizados para este estudio.

### **2.2.3. Etapa de laboratorio**

Durante la ejecución de esta etapa se realizaron ensayos para conocer la textura de los suelos recolectados, utilizando la metodología de *Bouyoucus*, en el laboratorio de suelos de la carrera de Agronomía, con la asistencia técnica del encargado del laboratorio.

### **2.2.4. Etapa de gabinete**

Se desarrolló la redacción del informe final de la investigación. Se analizaron los parámetros y una descripción a semidetalle, y se concluyó en cada caso, conociendo las áreas y su potencial de recarga hídrica respectivo.

Se elaboraron mapas, cálculos, gráficas, que ayudan a ejemplificar la información recolectada y que sirvió de base para sustentar los resultados obtenidos. Se utilizaron varios de programas de computación entre los que destacan: *ArcGIS*© v10.2, *AutoCAD*© 2010, *Surfer*© 8, *Global Mapper*© 13, *IDRISI*© Taiga, *Microsoft Office*© *Word*; *Excel*, entre otros.

Además se utilizaron imágenes *Landsat 8*, para el análisis de la cobertura vegetal, utilizando índices de identificación normalizados internacionalmente.

Se elaboraron conteos análogos en el caso de las depresiones kársticas, corrientes superficiales, lineamientos y otras estructuras geológicas; que después fueron digitalizados para obtener los mapas temáticos.

Por último, se elaboró el mapa de identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, utilizando sistemas de información geográfica.

## **2.3. Metodología aplicada**

### **2.3.1. Caracterización de las zonas potenciales de recarga hídrica**

Para la identificación de las áreas y su potencial en la subcuenca del río Tzunutz se tomaron en cuenta los parámetros, que se consideraron importantes enriqueciendo la información hidrogeológica del área.

Con la caracterización de los parámetros que son las pendientes, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, el uso de suelo, las estructuras geológicas, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local, se identificaron las zonas potenciales de recarga.

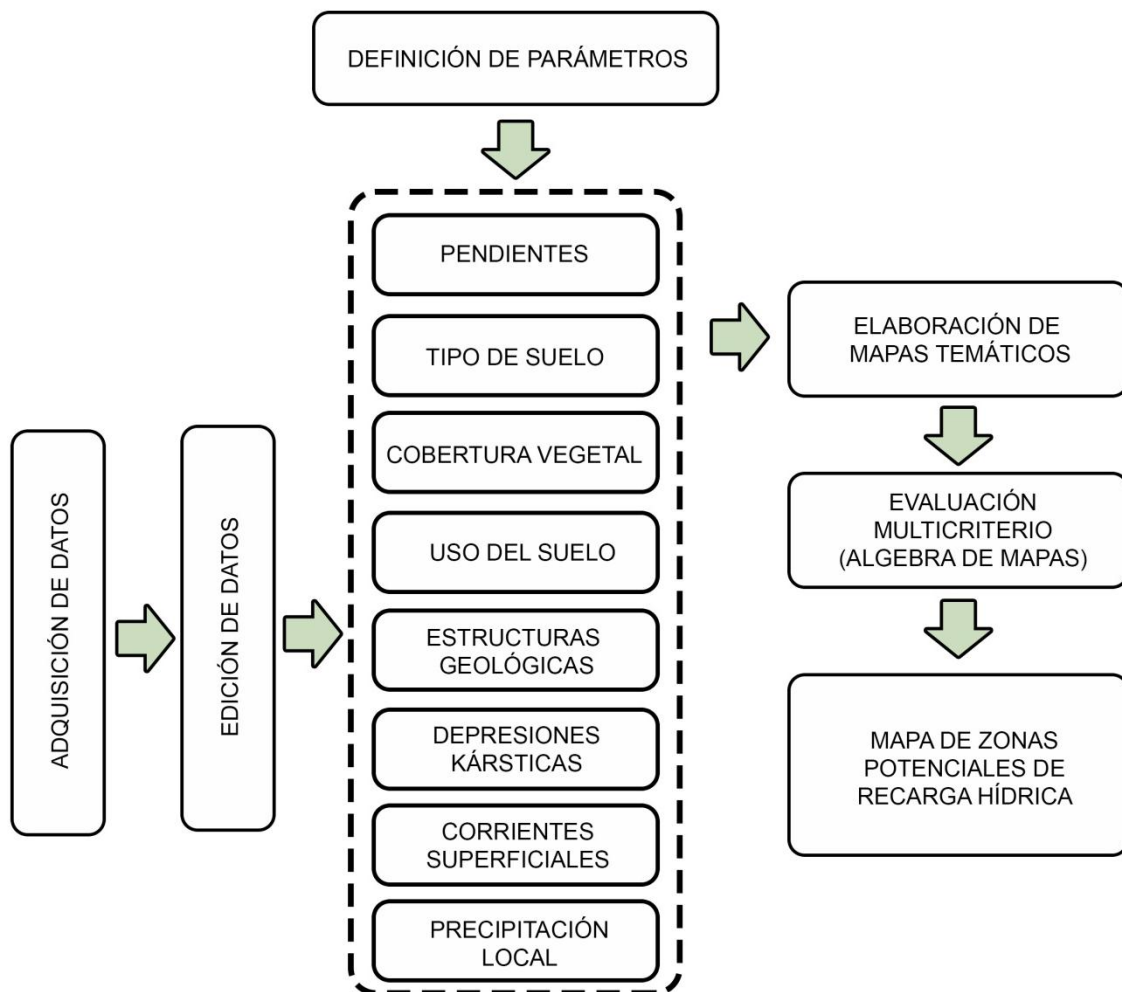
La descripción de cada parámetro fue importante para el análisis de las zona potencial de recarga, ya que cada uno se desarrolla como un importante factor que favorece la infiltración y por ende, el potencial de recarga del acuífero.

Utilizando la metodología descrita en la figura 1, se realizó la adquisición de datos (bibliográfica y de visitas de campo), la edición de los datos, definición de parámetros y su reclasificación, la elaboración de mapas temáticos, y por último la redacción del informe final.

El modelo propuesto, se realizó mediante un proceso de análisis jerárquico, utilizando de base la metodología de Thomas Saaty publicada en el año de 1 980, de la cual se obtuvieron los porcentajes de importancia que se traducen en la ponderación de cada parámetro.

La ecuación obtenida reúne los parámetros como un todo, en donde cada uno tiene un porcentaje de importancia que fue utilizando en el proceso de algebra de mapa, obteniendo de esta forma el mapa final a escala 1:50 000 de la zona de investigación.

**FIGURA 1**  
**METODOLOGÍA EMPLEADA**



**Fuente:** Modificada de Matus, Oscar. Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2 009. <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 014).

En los incisos siguientes se describen los parámetros evaluados para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, para la subcuenca del río Tzunutz. Los mapas temáticos obtenidos representan información local ya que la zona reúne características especiales.

### a. Pendientes

Las pendientes de una zona, es el tipo de inclinación que tienen ciertas áreas topográficas, estas están condicionadas a partir de rasgos geomorfológicos característicos. Esta inclinación puede ser medida en grados o porcentajes.

Este parámetro tiene una estrecha relación con la capacidad de recarga hídrica, debido que al haber un contacto del agua meteórica con la superficie del suelo en áreas de poca pendiente, el agua se infiltra de mejor forma, ya que aumenta el tiempo de contacto con el suelo.

“... en el relieve se pueden identificar superficies planas, cóncavas y convexas. En las superficies convexas, el agua se mueve dispersándose en distintas direcciones, en las superficies planas inclinadas la trayectoria del agua sigue direcciones casi paralelas y en las cóncavas se desplaza concentrándose en el lugar más bajo.”<sup>9</sup>

**CUADRO 1**  
**POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN TIPO DE PENDIENTE**

Microrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Fuertemente escarpado	>65	Muy baja	1
Escarpado	45-65	Baja	2
Ondulado/cóncavo	15-45	Moderada	3
Moderadamente ondulado o cóncavo	6-15	Alta	4
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0-6	Muy alta	5

**Fuente:** Modificada de Matus, Oscar. Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2 009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 014).

<sup>9</sup>Matus, Oscar. Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2 009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 014).

En condiciones de pendientes elevadas (de mayor porcentaje), el agua meteórica adquiere una mayor velocidad, provocando una mayor esorrentía produciendo un menor tiempo de contacto con la superficie del terreno; reduciendo la infiltración, como es el caso de la pendiente >65% (cuadro 1).

## **b. Tipo de suelo**

El análisis e identificación del tipo de suelo es importante, ya que con el análisis de su textura, se puede determinar el tamaño de las partículas y el fisuramiento del suelo, que se traduce en una mayor infiltración.

“... las zonas de recarga hídrica deben ser muy permeables para asegurar una alta capacidad de infiltración; es decir que en suelos con un textura gruesa, poros (y por lo tanto permeables) hay una alta posibilidad de recarga hídrica alta.<sup>10</sup>

### **1) Determinación de la textura**

Para el análisis de la muestras se contó con el apoyo de la carrera de Agronomía, específicamente en cuanto al equipo, cristalería y supervisión técnica de los ensayos de laboratorio realizados.

“Dentro de las propiedades físicas del suelo, la textura es quizá la más importante y la más permanente. Se refiere a la proporción (porcentaje en peso) que se denomina “fracción tierra fina”. La tierra fina está compuesta por las partículas que son iguales o menores de dos milímetros de diámetro”.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup>*Ibídem*, p 12.

<sup>11</sup>Ruiz, Armando. *Determinación de la textura del suelo*. Centro Universitario del Norte-Universidad de San Carlos de Guatemala. Carrera de Agronomía. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: 2 013.

Expertos en el área de edafología pueden determinar la textura del suelo empleando el tacto de manera *insitu*, sin embargo se debe tener mucha habilidad para la determinación de la textura en campo, es por eso que se utilizó la metodología de *Bouyoucos* que tiene un fundamento científico más específico, aceptado por la comunidad de edafología a nivel mundial.

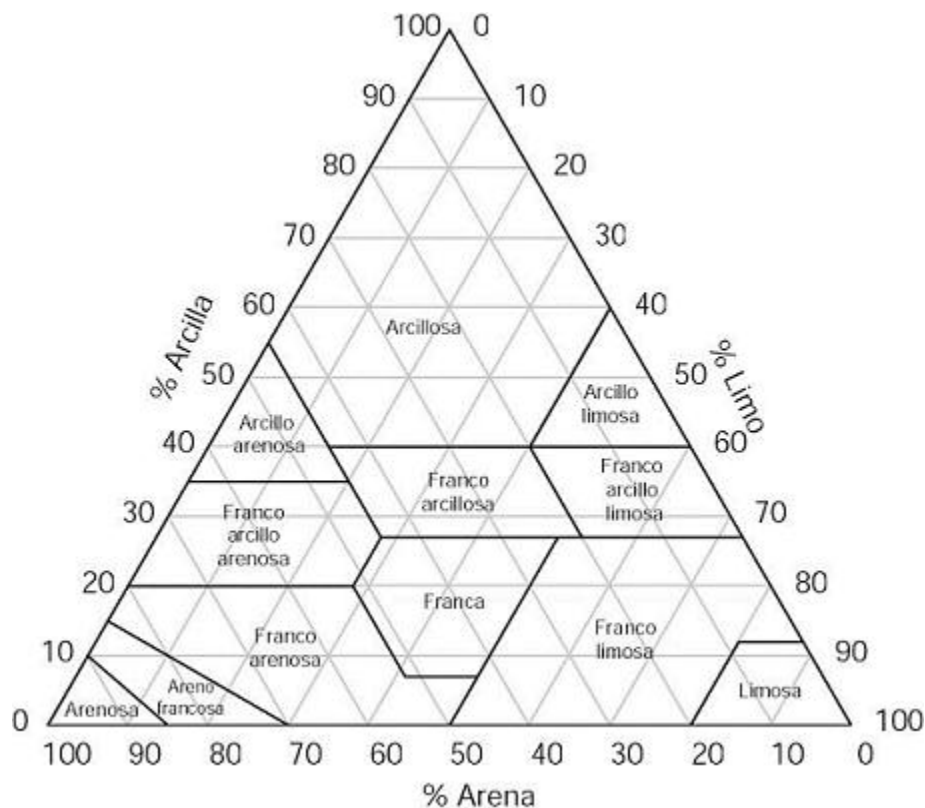
Este método consiste en la toma de una muestra de suelo en campo, siguiendo procesos del ensayo de laboratorio, el suelo fue secado y tamizado indicando su masa en gramos. Luego de esto se agregó un disolvente que busca disminuir la cantidad de materia orgánica que pueda contener la muestra.

Se dejaron las soluciones en reposo por un lapso de tiempo de 24 horas; luego se utilizó un agitador agregando la muestra a un recipiente de vidrio de superficie plana, que luego se agregó a un tubo de sedimentación.

Posterior a esto se hicieron lecturas con el hidrómetro a los 40 segundos y a las 2 horas, determinando así el porcentaje de partículas en dispersión (arenas, limos, arcillas) que contiene la muestra analizada, utilizando el diagrama ternario de la figura 2.



**FIGURA 2**  
**DIAGRAMA TERNARIO PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS**



**Fuente:** Ruiz, Armando. *Determinación de la textura del suelo*. Centro Universitario del Norte-Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz. Guatemala: Carrera de Agronomía. 2 013.

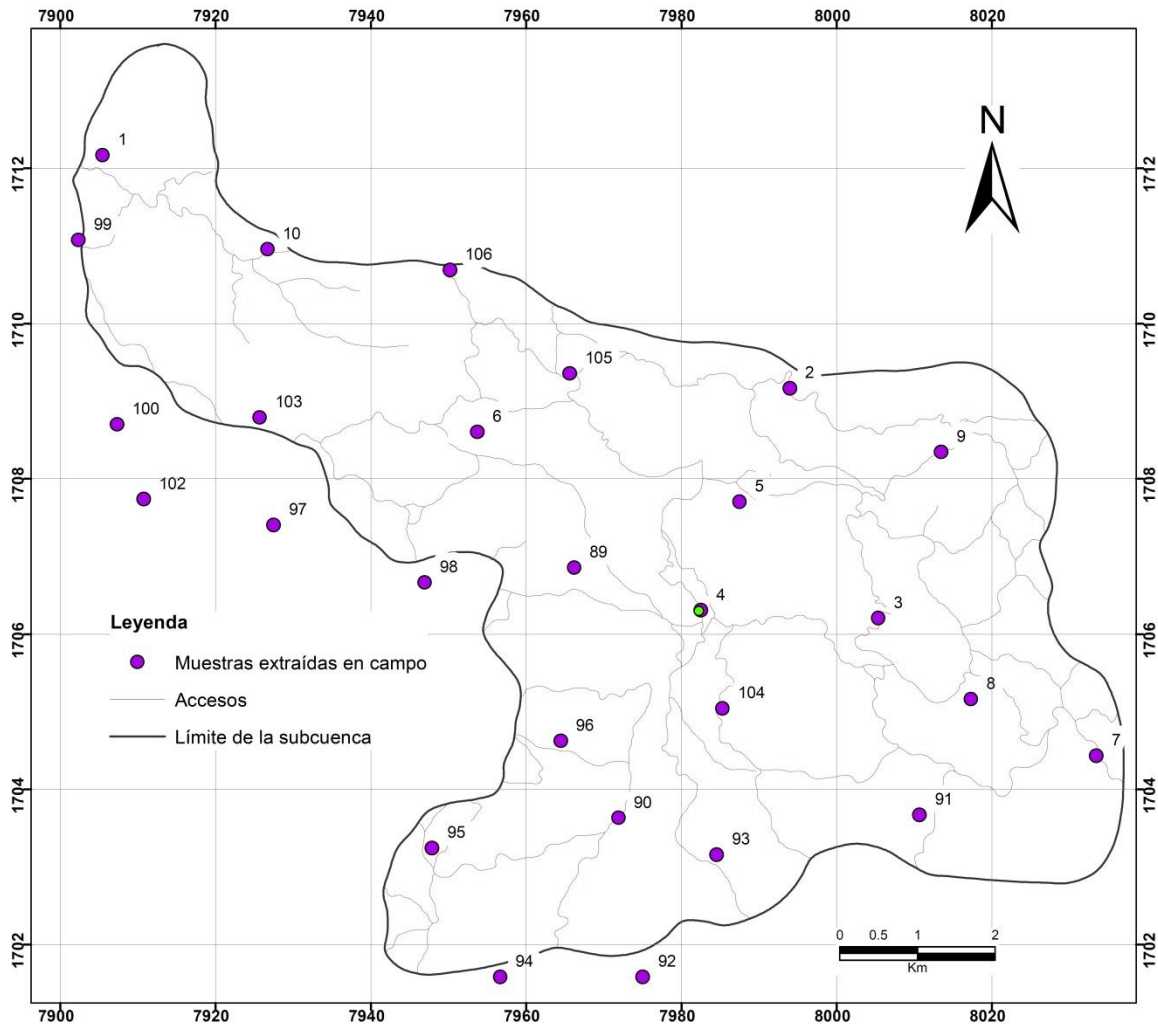
Del equipo de laboratorio utilizado se pueden mencionar tubos de sedimentación, tamiz de 2 mm, hidrómetro, *beaker* 250 ml, termómetro, balanza, recipientes de aluminio, entre otros.

## 2) Mapa de muestras obtenidas

La toma de muestras en campo, se realizó mediante el acceso a las áreas de muestreo, para ello se trazó una *grid* de 4 Km<sup>2</sup> en donde se buscó una homogeneidad de pendientes.

Cada muestra fue identificada y ubicada espacialmente, como se muestra en el mapa 5. Esta información recolectada se utilizó para crear el mapa de tipo de suelo, basado en su clase textural.

### MAPA 5 LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO ANALIZADAS



**Fuente:** investigación de campo, año 2014.

En el mapa 5 se presentan los puntos de extracción de muestras de suelo, durante la recolección se observó una variedad de materiales de coloración similar.

La extracción de cada muestra se basó en homogeneidad en la topografía, sin cambios abruptos que estuvieran incluidas dentro de la *grid* diseñada previamente.

En el cuadro 2, se tiene la asociación del tipo de textura de suelo y el potencial de recarga hídrica que puede generar.

Suelos arcillosos producen una infiltración lenta del agua proveniente de una precipitación, debido a la relación de sus partículas bien compactadas, en cambio un suelo franco, favorece la infiltración al subsuelo generando un muy alto potencial de recarga en esa área.

**CUADRO 2  
POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA DEL SUELO SEGÚN SU TEXTURA**

<b>Textura</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Ponderación</b>
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, con muy lenta infiltración.	Muy baja	1
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración.	Baja	2
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración.	Moderada	3
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración.	Alta	4
Suelos franco arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con una muy rápida capacidad de infiltración.	Muy alta	5

**Fuente:** Modificada de Matus, Oscar. Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2.009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2014).

### c. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal juega un rol importante en el proceso de recarga hídrica, el análisis de la captura de la precipitación con la copa de los árboles no será objeto de estudio en esta investigación. En cambio se clasificó el tipo y el potencial que tiene cada uno.

El análisis de las áreas cubiertas de cada tipo, se han categorizado en bosque denso, bosque mixto, cultivos y zonas urbanizadas, como se puede ver en el cuadro 4.

“...La cobertura del suelo es otro parámetro importante, porque es un factor que influye en la infiltración del agua, ya que permite un mayor contacto en el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad del suelo.”<sup>12</sup>

La copa de los árboles, el tamaño de sus raíces y su edad juegan un papel importante durante el escurrimiento, sin embargo no son tema central de este parámetro ya que indican mucho más detalle y requiere mucho tiempo para su determinación.

En el cuadro 3 se describen los tipos de cobertura vegetal que se han identificado en la zona de estudio, al igual que su potencial, esto es importante ya que se tienen unidades locales.

---

<sup>12</sup>Matus, Oscar. Et.Al. Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica. 2 009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 014). p 15.

**CUADRO 3  
POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN TIPO DE COBERTURA  
VEGETAL**

<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Ponderación</b>
Zonas urbanizadas (zonas urbanas, tierras cultivadas en épocas anuales y temporales)	Muy baja	1
Zonas forestadas (árboles muy dispersos, pastos, matorrales)	Baja	2
Vegetación herbácea (plantas herbáceas, maleza)	Moderada	3
Arbustiva (Árboles con copas que no se entrelazan)	Alta	4
Bosque natural (árboles con copas entrelazadas, bastante denso)	Muy alta	5

**Fuente:** Modificada de Matus, Oscar. Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2.009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 014).

### **1) Elaboración del mapa temático de cobertura vegetal**

Para representar la cobertura vegetal de la zona de investigación, se utilizó información actual; obtenida mediante sensores remotos. Las imágenes del satélite *Landsat 8* son las de mayor resolución actualmente, ya que cuenta con sensores que permiten una mejor captura de la información espectral.

El satélite *Landsat 8* recolecta información de la Tierra cada 16 días a partir de su fecha de lanzamiento (febrero de 2 013). Los datos recogidos por el satélite se descargaron de forma gratuita del servidor *EarthExplorer*, que facilita obtener la información (disponible en: <http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Utilizando el sistema de referencia WRS-2 (*Worldwide Reference System-2*) con datos de la imagen 20/49 (*path/row*) se obtuvieron las 11 bandas. (mapa 6, sombreado color verde).

**MAPA 6  
COBERTURA DE LA ESCENA LANDSAT 8 UTILIZADA**



**Fuente:** Guía (Path-Row) Landsat Centroamérica. [http://www.servir.net/images-imageviewer/CA\\_2011/pdf/Guia\\_LANDSAT.pdf](http://www.servir.net/images-imageviewer/CA_2011/pdf/Guia_LANDSAT.pdf) (consultado el 1 de marzo de 2015).

Las bandas utilizadas para el análisis de la cobertura vegetal fueron la banda 4 (rojo) y la banda 5 (infrarrojo cercano) con resolución de 30 metros x 30 metros.

Para identificar la cobertura vegetal se utilizó la imagen *Landsat 8 OLI* (23 de diciembre de 2013). Esta imagen fue seleccionada porque en ella no se tenía ningún rastro de nubes, según la banda de calidad.

La clasificación del tipo de cobertura vegetal se basó en la información radiométrica de la banda 4 (rojo) y banda 5 (infrarojo cercano). Concretamente, se calculó el *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*).

“El Índice de Vegetación Normalizado (*NDVI* por sus siglas en inglés) es el método más conocido para la identificación de zonas de cobertura vegetal; la ecuación está dada por:”<sup>13</sup>

$$NDVI = (IRp - R)/(IRp + R)$$

Dónde: *IRp* es la reflectividad en el infrarrojo cercano (banda 5 de *Landsat 8*) y *R* es la reflectividad en el rojo (banda 4 de *Landsat 8*)

"Entre las variables que se han correlacionado con el índice de vegetación están: índice de área foliar, productividad neta de la vegetación, y la cantidad de lluvia recibida por la vegetación."<sup>14</sup>

Luego de obtener el *NDVI* mediante el uso de la herramienta calculadora *raster* de *ArcMap v10.2* se hizo una reclasificación, ya que el cálculo del índice oscila entre -1 y 1, que es el umbral crítico para delimitar cubiertas vegetales, el agua por ejemplo; muestra valores de -1.

El mapa obtenido muestra las unidades de cobertura vegetal y el potencial teórico de recarga hídrica asociado que puede ser muy alto o muy bajo según las características de cada una.

---

<sup>13</sup>Francisco Alonso Sarría. Herramientas de Teledetección aplicadas a la gestión de los recursos naturales. 2008. <http://ocw.um.es/ciencias/herramientas-de-teledeteccion-aplicadas-a-la> (18 de febrero de 2 015).

<sup>14</sup>*Ibídem*, p 5.

#### d. **Uso del suelo**

“... el uso del suelo es el elemento más cambiante y con mayor influencia de la actividad humana. Un uso inadecuado del suelo puede disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50%.”<sup>15</sup>

Con la identificación en la zona de estudio de este parámetro, se determinó la actividad o cambio de uso del suelo, que influye en su deterioro a través de actividades agrícolas de alto impacto.

Es importante encontrar e identificar el uso del suelo, ya que de acuerdo a sus características puede desarrollar una distinta forma de infiltración.

El reconocimiento de campo fue importante, sin embargo fue base fundamental para esta investigación, el estudio del Ministerio de Agricultura y alimentación (MAGA) publicado en el año 2 006, el cual se realizó mediante una clasificación supervisada utilizando información de campo, imágenes satelitales y algunos otros insumos para crear el mapa semidetallado de toda la República de Guatemala.

Utilizando información disponible para la zona de la subcuenca del río Tzunutz, se hizo una reclasificación del uso de suelo y su potencial de recarga hídrica, basado en características de la unidades de suelo identificadas en el mapa del MAGA.

---

<sup>15</sup>Matus, Oscar. Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2 009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 014).



**CUADRO 4**  
**POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN EL USO DEL SUELO**

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Urbanizaciones: centros poblados, viveros, (unidades permanentes)	Muy baja	1
Tierras con cobertura compuesta por vegetación de gramíneas naturales y hierba (granos básicos, cultivos)	Baja	2
Pasto natural, arbustos y matorrales	Moderada	3
Sistemas agroforestales (bosque conífero)	Alta	4
Bosque donde se dan los estratos de: bosque mixto y latifoliado	Muy alta	5

**Fuente:** Modificada de Matus, Oscar. Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2.009. <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 013).

En el cuadro 4 se muestran las unidades de uso de suelo, su potencial de recarga y la ponderación a cada uno de ellos. Los centros poblados por ejemplo tienen un muy bajo potencial debido a la poca infiltración en el suelo al contrario de los bosques que tienen un potencial más alto.

La actividad antrópica es importante, ya que las zonas de cultivo no siempre se encuentran ubicadas en área de vocación agrícola, sin embargo existen sin aprovechar de manera adecuada el recurso edáfico.

### 1) Mapa temático obtenido

Durante las visitas de campo se comprobaron cada uno de los tipos de uso de suelo en la zona estudiada, propuestos por el MAGA.

Con la base de datos de uso de suelo, realizado por el MAGA en el 2 006, se elaboró el mapa temático para la zona de estudio respaldado por

la supervisión de expertos durante su elaboración con una metodología que incluyó visitas de campo y procesamiento de imágenes satelitales.

Con esta información se obtuvieron las unidades de uso de suelo de la zona estudiada, cada una muestra un potencial de recarga hídrica que puede ser generada a partir de la actividad que desarrolla el suelo, ya sea en su estado natural (bosques) o con la intervención agrícola que se produce.

#### e. **Estructuras geológicas**

Las estructuras geológicas tomadas en cuenta para realizar la estimación de porosidad secundaria fueron los lineamientos, ya que estos rasgos lineales son de una importancia grande ya que delimitan zonas fracturadas que pueden ser zonas de mayor permeabilidad.

Los **lineamientos** son también llamados trazas de fractura, esta estructura geológica se muestra en alineaciones en la topografía y la red de drenaje. Son indicadores de porosidad secundaria en rocas duras.

La **estratificación** es una superficie paralela a la superficie de deposición, es característica de las rocas sedimentarias. Las capas o también llamados estratos se encuentran limitados por planos de estratificación, estos fueron medidos en las visitas de campo y fueron analizados mediante rosetas de rumbo.

Los datos fueron tomados en el campo con el método *dip/dir* (dirección de inclinación), de las estructuras analizadas se tienen fracturas, estratificaciones, fallas y lineamientos; esto últimos interpretados mediante el uso del modelo digital de elevación.

Los datos adquiridos se analizaron mediante rosetas de rumbo, con el *software Stereo32*, que tiene una interfaz que permite ingresar los datos y generar los gráficos de forma fácil para el usuario.

Las **fracturas** constituyen las estructuras geológicas más importantes, desde el punto de vista hidrogeológico, ya que facilitan el almacenamiento, movimiento e infiltración del agua a través de ellas.

Se definen como un plano en donde no se observa un desplazamiento, si uno una rotura causada por tensión en el macizo rocoso.

El análisis de esta estructura planar se realizó utilizando diagramas de rosa, en los que se muestran las orientaciones preferenciales de los datos de campo.

Las **fallas** son estructuras compresivas o distensivas que originan fracturas con movimiento relativo sobre un plano. El movimiento puede ser visto mediante el desplazamiento de capas y tectoglifos.

## 1) Elaboración del mapa temático

Para determinar el potencial de recarga hídrica según la presencia de estructuras geológicas se consideró el análisis específico de los lineamientos. Estos elementos fueron digitalizados a partir de los rasgos de ejes en depresiones kársticas y utilizando también el modelo digital de elevación de la subcuenca (mapa 7).



**Fuente:** investigación de campo, año 2015.

En el mapa 7 se muestra la distribución de lineaciones con una orientación preferencial que ha sido analizada en el capítulo de resultados obtenidos.

El potencial de recarga hídrica del cuadro 5, fue diseñado a partir de la longitud de los lineamientos medidos en el mapa 7, estos rasgos estructurales fueron analizados en una *grid* de 1 Km<sup>2</sup> evaluando de esta forma la mayor permeabilidad generada por esta traza de fractura.

El criterio fue definido a partir de los datos locales, que pueden ser interpretados en toda el área de la subcuenca.

Lineamientos con una longitud menor a 0.3 Km muestran una ponderación de 1, indicando una infiltración secundaria muy baja, en cambio lineamientos >1 Km indicarían una ponderación de 5 (un potencial muy alto) como se muestra en el cuadro 5.

**CUADRO 5**  
**POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN INFILTRACIÓN SECUNDARIA**  
**(A PARTIR DE LINEAMIENTOS)**

Longitud (Km)	Potencial de recarga	Ponderación
<0.3	Muy bajo	1
0.3 – 0.6	Bajo	2
0.6 – 0.9	Moderado	3
0.9 – 1.2	Alto	4
1.2 - 1.5	Muy alto	5

**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

Los datos de estratificaciones, fracturas y fallas no cubren el área total de estudio, ya que durante la recolección de datos, en la etapa de campo se tenían áreas cubiertas por una densa vegetación, accidentes topográficos muy accidentados y la presencia de suelos derivados por la meteorización.

Además se analizó la anisotropía de las estructuras tomadas en cuenta en el análisis estructural, es decir la relación geométrica entre ellas.

Se utilizaron rosetas de rumbo para realizar las interpretaciones de direcciones preferenciales de lineamientos, estratificaciones y fracturas.

#### **f. Depresiones kársticas**

El *karst*, también llamado '*karr, carso*' es un término genérico para referirse a la superficie de la Tierra cuando las calizas u otras rocas solubles, son las dominantes y crean una topografía típica.

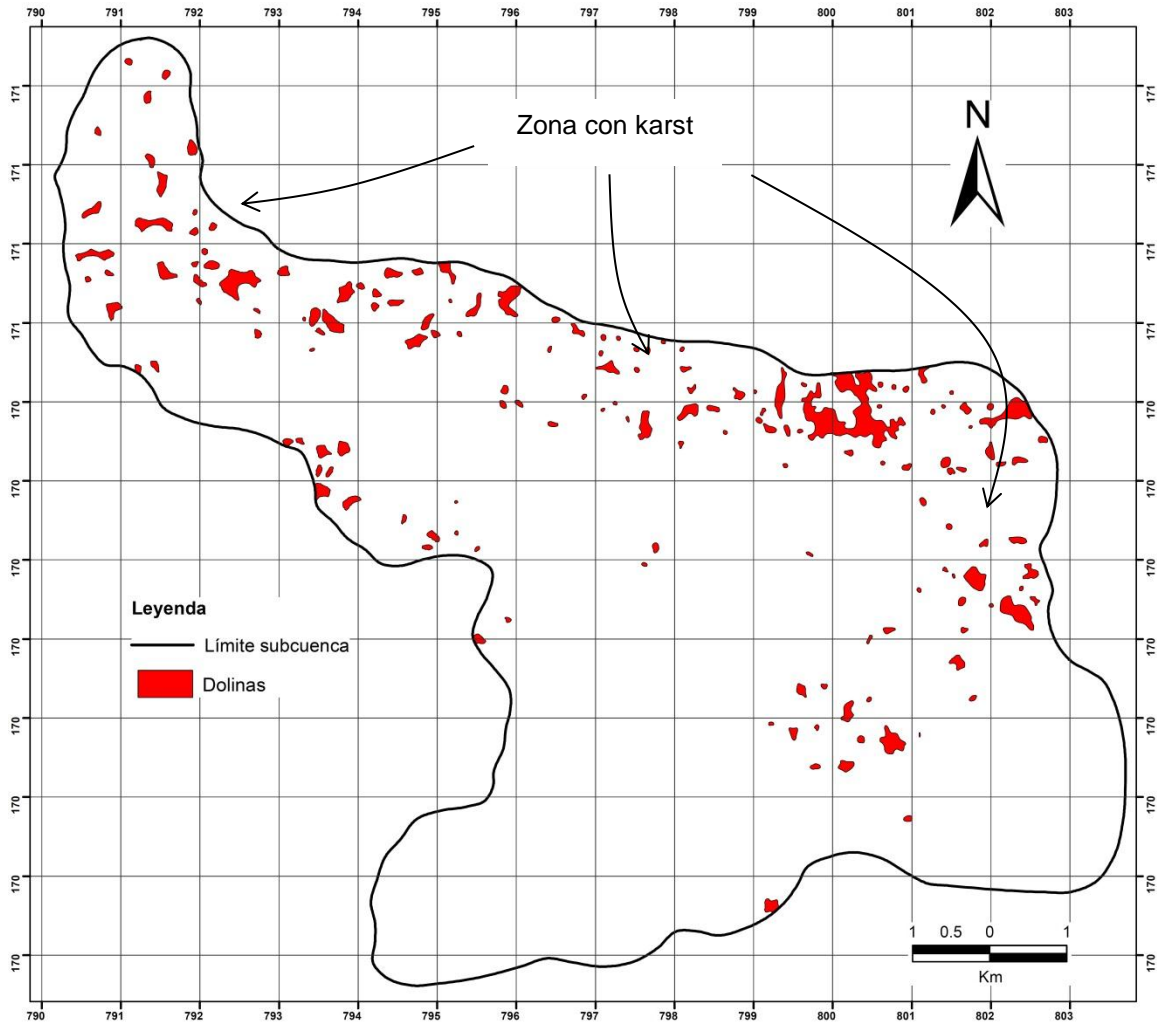
“... la formación del karst se produce por tres factores importantes: el factor litológico, el estructural y el climático. Actualmente se considera importante tomar en cuenta también la vegetación y el tiempo de exposición de la roca al intemperismo”<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup>Fragoso-Servón, Patricia., Et. Al. *Caracterización de las depresiones kársticas: forma, tamaño y densidad*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v31n1/v31n1a10.pdf> (11 de agosto de 2 014).

La presencia de karst se identifica principalmente al área norte de la zona de estudio, esto ha sido propiciado por la presencia de fracturas que aportan una infiltración muy alta en las rocas (mapa 8).

### MAPA 8 DEPRESIONES KÁRSTICAS IDENTIFICADAS



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

Al norte de la zona se muestra una mayor presencia de depresiones kársticas, esto puede indicar un cambio de unidad litológica, esta idea es respaldada por las unidades del mapa geológico de la zona de estudio.

El análisis de estas geoformas no fue caracterizada a detalle, sino más bien en forma general. Se facilita con la utilización de Sistemas de Información Geográfica, que ayuda en la ubicación geográfica de estos elementos geomorfológicos, siendo analizados de forma más puntual; logrando un mejor detalle.

Las **depressiones kársticas** se definen como "áreas con geometría cónica o irregular, pero de planta más o menos circular, paredes escarpadas y fondo plano o en embudo. Conectan aguas superficiales y subterráneas pues, salvo que hayan quedado colgadas, son sumideros de la escorrentía. Las formadas por colapsos suelen tener una morfología irregular (en general subrectangular) y con frecuencia aparecen asociadas a sumideros." <sup>17</sup>

Con la identificación de las depresiones en la zona de la subcuenca, se analizó el potencial de recarga que genera a partir de la ubicación de estos rasgos por cada km<sup>2</sup>.

### 1) **Elaboración del mapa temático**

Las depresiones kársticas identificadas hacen referencia a las que se encuentran en la hoja cartográfica de Cobán (2162 III).

Para realizar el cálculo de la densidad de depresiones por kilómetro cuadrado, se hizo un conteo manual, para luego crear una base de datos en *ArcMap*© v10.2, creando de esta forma el rango de clasificación de acuerdo a la existencia de depresiones en el área. (cuadro 6).

---

<sup>17</sup> *Formas exokársticas*. [http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/geomorfologia/formas\\_exokarsticas\\_destructivas\\_dolinas.htm](http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/geomorfologia/formas_exokarsticas_destructivas_dolinas.htm) (06 de octubre de 2014).



**CUADRO 6**  
**PONDERACIÓN DE LA DENSIDAD DE DEPRESIONES KÁRSTICAS Y EL**  
**POTENCIAL DE RECARGA ASOCIADA**

Densidad (DK/Km <sup>2</sup> )	Posibilidad de recarga	Ponderación
0-2	Muy baja	1
3-4	Baja	2
5-6	Moderada	3
7-8	Alta	4
9-10	Muy Alta	5

**Fuente:** Modificado de: Simón, Jose-Luis. Dolinas en terrazas al oeste de Zaragoza: un analisis empírico de los factores de riesgo. España, 1 991. [http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol5/cuaternario5\(1-4\)\\_12-.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol5/cuaternario5(1-4)_12-.pdf) (04 de septiembre de 2 014).

Una densidad de 3-4 depresiones por km<sup>2</sup> indica un potencial teórico de recarga bajo, en cambio sí existen hasta 10 depresiones (que es número más grande identificado) la recarga hídrica tiene un potencial muy alto ya que se ve favorecida la infiltración en el suelo.

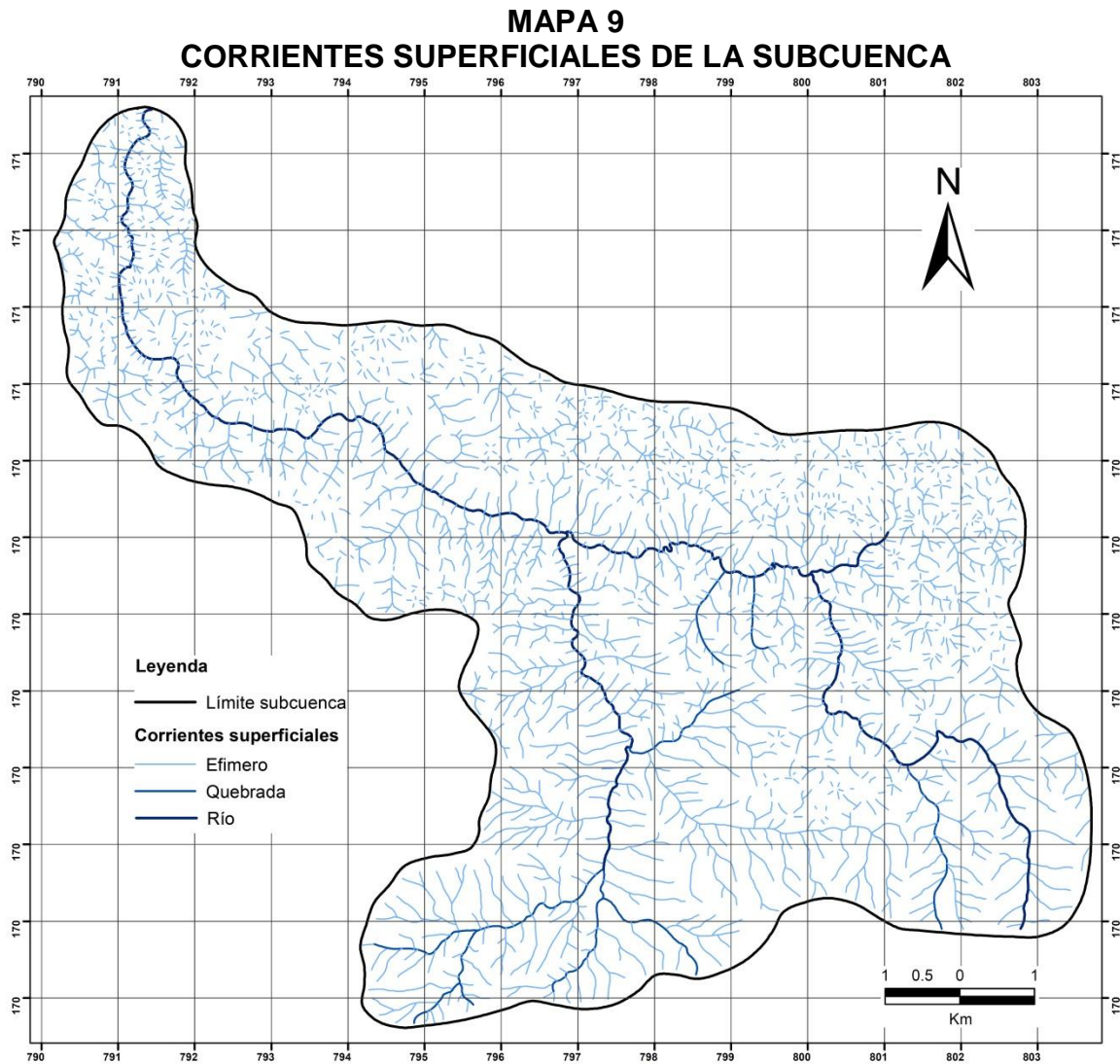
Se determinó además la asociación de ejes de depresiones con lineamientos estructurales, que tienen una relación directa con la infiltración secundaria que generan, debido a las tendencias de rumbo identificadas con cada uno de estos elementos.

#### **g. Corrientes superficiales**

Los patrones de drenaje y la densidad, son algunos de los mayores indicadores de las características hidrogeológicas de la subcuenca.

Por ser una zona con karst existen corrientes características, produciendo un drenaje fantasma donde el flujo tiene un movimiento de forma radial.

El mapa se elaboró mediante el conteo de presencia de corrientes efímeras, intermitentes y permanentes en un kilómetro cuadrado. A partir de esto se diseñó el rango de ponderación, en áreas con karst se alcanzaron a contabilizar hasta 75 corrientes.



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

Al norte de la zona de estudio (mapa 9) se puede observar un fuerte patrón de drenaje fantasma, es decir el que se desarrolla en las depresiones kársticas.

Valores altos en el conteo de corrientes favorecen la escorrentía e indican un alto potencial de recarga y es aún más alto, cuando esto se desarrolla en el karst al zona de la zona de investigación, (cuadro 7).

**CUADRO 7**  
**PONDERACIÓN DE CORRIENTES Y EL POTENCIAL DE RECARGA**  
**ASOCIADO**

No. Corrientes/Km <sup>2</sup>	Posibilidad de recarga	Ponderación
1 - 15	Muy baja	1
16 - 30	Baja	2
31 - 45	Moderada	3
46 - 60	Alta	4
>75	Muy alta	5

**Fuente:** Modificado de. Sener, E. An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations. 2 004. [http://www.academia.edu/5064713/Application\\_of\\_remote\\_sensing\\_and\\_GIS\\_analysis.pdf](http://www.academia.edu/5064713/Application_of_remote_sensing_and_GIS_analysis.pdf) ( 22 de agosto de 2 014).

La evaluación de esta parámetro permitió conocer el impacto del drenaje y la forma en que se desarrolla en la subcuenca y el potencial de recarga que genera, ya que se hayan intrínsecos los factores del tipo de suelo, vegetación, fracturamiento y pendientes.

### 1) Mapa temático de densidad elaborado

El mapa obtenido muestra la densidad de corrientes, utilizando la herramienta *IDW* de *ArcMap*© v10.2. Para la elaboración de este mapa se contabilizaron los tres tipos de corrientes por cada kilómetro cuadrado.

A partir de este conteo se creó un rango de ponderación, del cual se tiene una posibilidad de recarga según el número de corrientes (cuadro 7).

El río Tzunutz y algunas quebradas que drenan la zona de investigación poseen un caudal durante todo el año, en cambio las corrientes efímeras se definen a partir de rasgos topográficos como las curvas de nivel.

Las corrientes efímeras fueron dibujadas utilizando curvas de nivel a cada 20 metros, que fueron de mucha utilidad para el reconocimiento de cada una.

#### **h. Precipitación**

La precipitación es un factor importante en el proceso de recarga hídrica, ya que esta variable es la que suministra el flujo superficial que entra en el sistema.

Esto se ve reflejado a su vez en la capacidad de drenaje de la subcuenca, y las pendientes que permiten la infiltración al subsuelo.

Es considerada como la fuente primordial del agua meteórica precipitada, que permite alimentar las zonas de recarga que va a ser analizada a partir de datos en un periodo de tiempo del que se tenga registro.

Datos publicados en 2 001 por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales presentados en la "Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático" sugieren tres escenarios evaluados, estos fueron denominados "central, optimista y pesimista".

El escenario actual (año 2 001) se basó en datos de precipitación del período 1 961-1 990 del INSIVUMEH.

En el informe se hace mención de un aumento en anomalías negativas de lluvia a partir de la década de los años '70, estas anomalías representan una tendencia significativa de la reducción de los acumulados anuales de lluvias.

"El comportamiento de los totales anuales de lluvia durante el período analizado parece ser el resultado de la reducción que se observa en la precipitación del trimestre junio-agosto. En el trimestre diciembre febrero el comportamiento de las precipitaciones parece está dominado por variaciones de más alta frecuencia."<sup>18</sup>

La reducción de la precipitación es un detalle muy importante que se menciona en el informe de cambio climático del MARN, en donde los mapas y datos disponibles, fue extraída la información para la zona de la subcuenca del río Tzunutz. Entre estos se tienen isoyetas y datos de precipitación local.

---

<sup>18</sup> Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN-. Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático 2 001. Guatemala: Serviprensa, S.A. 2 002. p 34.

## 1) Generalidades

El área cubierta por la subcuenca del río Tzunutz es aproximadamente el 3.55% (aproximadamente 74.46 Km<sup>2</sup>) del área total de la cuenca del río Cahabón.

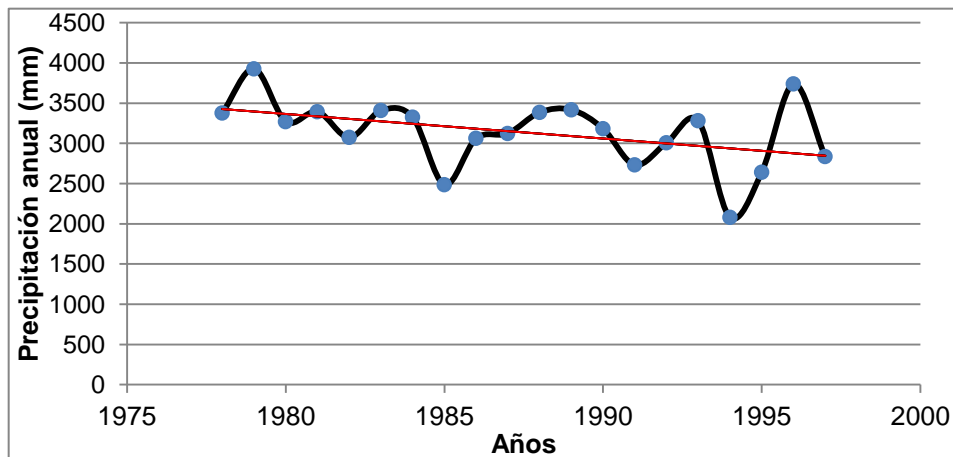
El análisis de datos de registro históricos del INDE (1 978-1 997) muestra que en el año de 1 979 se tuvo la más alta tasa de precipitación anual, con 3,926 mm para la parte alta de la subcuenca y unos aproximadamente 3,081 mm para la parte baja, en ese mismo año.

Las estaciones aquí mencionadas, se encuentran en la zona de investigación, debido a esto se tomaron en cuenta para el análisis de la precipitación local. Las épocas con menor precipitación se dieron en el año 1 990, según los datos del registro de la estación Tzunutz con 822 mm.

Conocer los datos de las lluvias permite diseñar modelos de cambios climáticos, para esta investigación tiene vital importancia, el hecho que sea la fuente primaria de irrigación en la zona de captura.

En la figura 3 se muestra la precipitación anual de la estación Caquipec, la línea de tendencia presenta una pendiente negativa. Para el período de 20 años se puede atribuir al cambio climático la disminución de las lluvias.

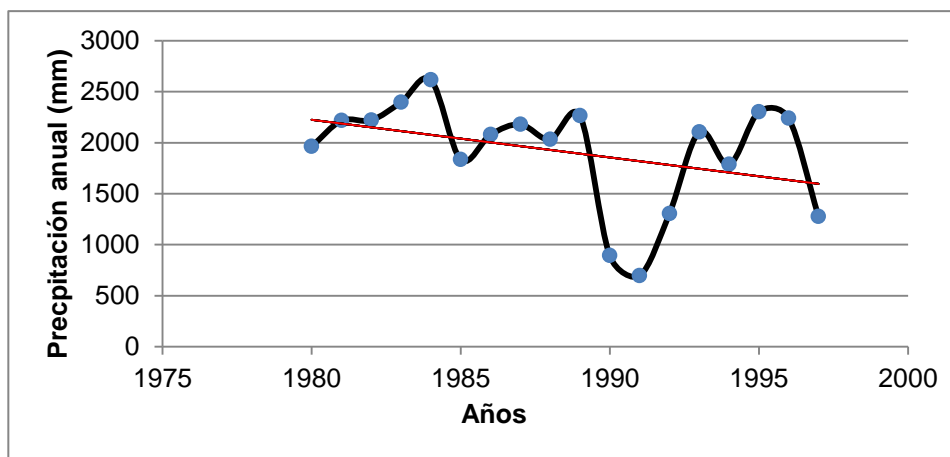
**FIGURA 3**  
**PRECIPITACIÓN ANUAL, ESTACIÓN CAQUIPEC**



**Fuente:** investigación de campo, año 2 014.

De la misma forma, la estación Tzunutz muestra un comportamiento con una disminución de la lámina de precipitación anual (figura 4). Por ser en las dos estaciones una serie de datos en función del tiempo, el registro depende del equipo y recurso humano disponible.

**FIGURA 4**  
**PRECIPITACIÓN ANUAL, ESTACIÓN TZUNUTZ**



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

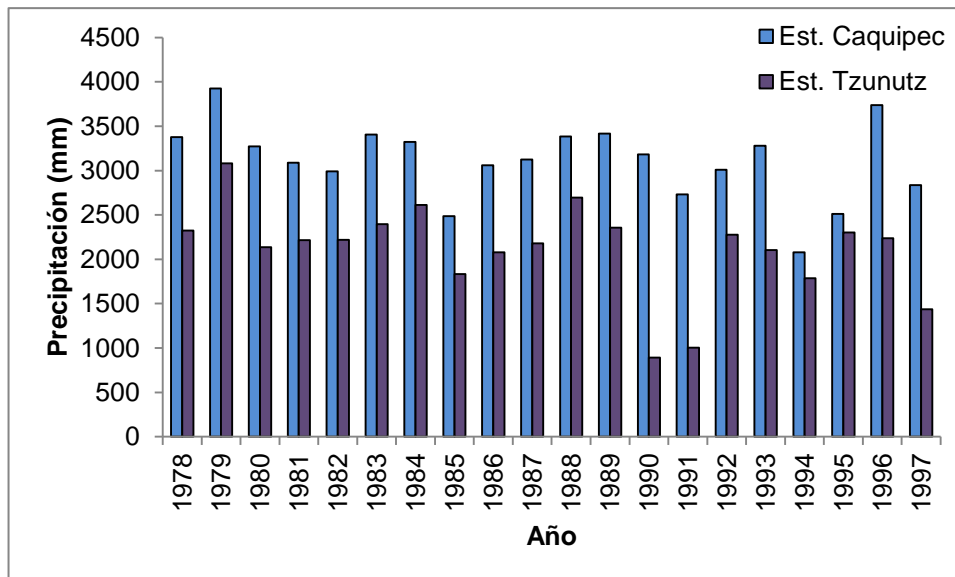
Las estaciones con datos de precipitación utilizadas para el análisis estuvieron en operación a cargo del INDE, ubicadas en las aldeas Caquipec y Tzunutz.

En la figura 5 se muestra el comportamiento anual de la precipitación, donde se observa claramente la diferencia significativa entre la parte alta y la parte baja de la subcuenca, en donde la lluvia disminuye drásticamente.

La precipitación media anual durante el período mencionado, para las dos estaciones es de 3,111 mm y 2,108 mm respectivamente.

Este valor se conoce como el 'módulo pluviométrico anual medio', estimado a partir de la media aritmética de la precipitación anual durante una serie de datos.

**FIGURA 5**  
**PRECIPITACIÓN MULTIANUAL DE LAS ESTACIONES CAQUIPEC Y TZUNUTZ**



Fuente: INDE



## 2) Mapa temático obtenido

Para crear las isoyetas de precipitación que tienen incidencia en la zona de estudio, se elaboraron mediante la interpolación de puntos con la herramienta *IDW* de *ArcMap*© v10.2, específicamente de la base de datos de lluvia promedio anual utilizados en el informe presentado por el MARN en 2 001.

A partir de la información, se analizó el potencial de recarga teórico que puede generar la precipitación, (cuadro 8) a partir de los datos que son de incidencia en la zona estudiada.

**CUADRO 8**  
**PONDERACIÓN DE PRECIPITACION LOCAL Y EL POTENCIAL DE RECARGA ASOCIADO**

Precipitación (mm)	Posibilidad de recarga	Ponderación
1965 – 2257	Muy baja	1
2258 - 2485	Baja	2
2486 – 2709	Moderada	3
2710 – 2890	Alta	4
2891 – 3321	Muy alta	5

**Fuente:** Modificado de. Sener, Earl. An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations. 2 004. [http://www.academia.edu/5064713/Application\\_of\\_remote\\_sensing\\_and\\_GIS\\_analysis.pdf](http://www.academia.edu/5064713/Application_of_remote_sensing_and_GIS_analysis.pdf) ( 22 de agosto de 2 014).

El mapa obtenido se reclasificó para ser exportado en formato *raster*, y poder utilizarlo el proceso de álgebra de mapas.

El rango de precipitación se basó en los datos de las estaciones locales, es decir de los valores máximo y mínimos registrados en la zona de investigación.

### **2.3.2. Modelo propuesto para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica**

Esta investigación proporciona una metodología basada en el proceso de análisis jerárquico (*AHP*), para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz.

La estructura lógica de análisis *AHP* (*Analytic Hierarchy Process* por sus siglas en inglés) es una de las técnicas más utilizadas para abordar un área, considerando las múltiples variables como un sistema compuesto que se interrelaciona entre sí.

La estructura de la jerarquía condujo a la definición de las ponderaciones de cada variable, esto se facilita ya que cada variable se comparó entre sí, para saber su importancia de un elemento sobre el otro.

El método arroja los resultados a partir de la elaboración de una matriz pareada basada en un valor de consistencia.

#### **a. Construcción de la matriz pareada**

La metodología *AHP* involucra los aspectos del proceso de toma de decisiones, el cual busca modelar el problema a través de una estructura jerárquica, utilizando una escala de prioridades basada en la preferencia de un

elemento sobre otro, de este modo se evalúa cada uno de los parámetros y se sintetizan los juicios emitidos mostrando la ponderación o pesos para cada una.

Con esto se ordenó el pensamiento analítico, ya que los elementos de un nivel se compararon uno con el otro en función de un criterio, en este caso fue el potencial de recarga hídrica.

Para la emisión de los juicios y las evaluaciones se utilizó una escala de comparación, en la que la escala verbal es transformada en una escala numérica que sigue un rango de importancia como se muestra en el cuadro 9.

**CUADRO 9  
ESCALA DE COMPARACIÓN**

<b>Escala numérica</b>	<b>Escala verbal</b>	<b>Explicación</b>
1	Ambos elementos son de igual importancia	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3	Moderadamente más importante un elemento sobre otro.	El juicio y la experiencia favorece a un elemento por sobre el otro.
5	Fuertemente más importante un elemento sobre otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más importante un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.

**Fuente:** Saaty, Thomas. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, United States of America: McGraw Hill, 1 980.

La escala de comparación se basó en un estudio psicológico detallado según el autor, el cual determinó que la emisión de juicios son homogéneos en diversas aplicaciones, por ser un modelo matemático.

En el cuadro 10 se tienen los criterios y juicios dados a cada una de las variables, se determinó la importancia relativa (ponderación) de cada elemento conforme la escala predefinida de 1 a 9 (cuadro 9), donde el valor de 1 equivale a una igual importancia y 9 es la máxima importancia de un elemento sobre otro.

**CUADRO 10**  
**MATRIZ PAREADA**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
<b>A</b>	1	2	1/2	2	1	2	3	1/2
<b>B</b>	1/2	1	1/2	1	1/2	3	2	1/2
<b>C</b>	2	2	1	2	1/2	4	2	1/3
<b>D</b>	1/2	1	1/2	1	1/2	3	1	1/3
<b>E</b>	1	2	2	2	1	3	3	1
<b>F</b>	1/2	1/3	1/4	1/3	1/3	1	1	1/5
<b>G</b>	1/3	1/2	1/2	1	1/3	1	1	1/3
<b>H</b>	2	2	3	3	1	5	3	1

A = pendientes, B = tipo de suelo, C = cobertura vegetal, D = uso de suelo, E = estructuras geológicas, F = depresiones kársticas, G = corrientes superficiales, H = precipitación

**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

Una vez realizada la matriz pareada se obtuvieron las ponderaciones a cada uno de los parámetros, el método *AHP* posee un índice de consistencia que permite asegurar la correcta emisión de criterios. Con el cual se logra una mayor fiabilidad de la información evaluada, este debe ser menor al 10%.

En esta investigación se encontró un valor de consistencia (cuadro 11) para las zonas potenciales de recarga hídrica del 3%, este índice encuentra en el rango permitido, por lo que se consideró aceptable el modelo propuesto.

**CUADRO 11  
VALOR DE CONSISTENCIA**

Parámetro	AHP		Consistencia
A	0.139	13.9%	3%
B	0.095	9.5%	
C	0.138	13.8%	
D	0.081	8.1%	
E	0.195	19.5%	
F	0.048	4.8%	
G	0.063	6.3%	
H	0.241	24.1%	

A = pendientes, B = tipo de suelo, C = cobertura vegetal, D = uso de suelo, E = estructuras geológicas, F = depresiones kársticas, G = corrientes superficiales, H = precipitación

**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

#### **b. Ecuación final, aplicada en la zona de investigación**

El modelo propuesto se resume en la ecuación de ZPRH, en ella se describen las variables analizadas y el porcentaje que corresponde a cada una.

La importancia de cada parámetro evaluado denota un porcentaje parcial del total que es el 100%.

La precipitación local tiene un 24.1% de importancia (ZPRH), esto se debe a que es la fuente de irrigación de agua mediante eventos de precipitación esto se pudo analizar mediante el mapa de isoyetas para la zona de estudio.

$$ZPRH = [0.139(PEN) + 0.095(T/SUE) + 0.138(COB) + 0.081(USO) + 0.195(EST) + 0.048(DEP) + 0.063(COR) + 0.241(PRE)]$$

Dónde:

ZPRH = Zonas potenciales de recarga hídrica

PEN= Pendientes

T/SUE= Tipo de suelo

COB= Cobertura vegetal

USO= Uso de suelo

EST= Estructuras geológicas (porosidad secundaria)

DEP = Densidad de depresiones kársticas

COR= Densidad de corrientes superficiales

PRE= Precipitación local

La ecuación obtenida de la evaluación multicriterio indica que las pendientes tienen una importancia del 14% al igual que la cobertura vegetal. El tipo de suelo y el uso guardan una relación del 8%.

La evaluación de sistema estructural y de fracturamiento refleja una importancia del 20% y la presencia de *karst* en áreas específicas es del 5%. Este último parámetro es importante ya que no se tienen depresiones en toda el área de la subcuenca.

De esta forma utilizando el modelo propuesto, se relacionaron los parámetros considerados para esta investigación, obteniendo el mapa con la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica (anexo 2).

## **CAPÍTULO 3**

### **ANALISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1. Generalidades**

De la evaluación de los parámetros que determinaron las zonas potenciales de recarga hídrica y el diseño del modelo de evaluación, se obtuvieron los resultados descritos en este capítulo, utilizando mapas y cuadros en cada caso.

#### **3.2. Pendientes**

La pendiente es un parámetro muy importante para el análisis e identificación de las zonas con potencial recarga hídrica, está directamente relacionada con la escorrentía superficial y el tiempo de absorción del agua de lluvia en el suelo durante una precipitación.

Las pendientes con un bajo porcentaje de 6% al 15% favorecen la infiltración de agua meteórica, mientras que sucede lo contrario con pendientes de algo porcentaje; donde la escorrentía es más rápida, reduciendo la infiltración en el suelo.

Pendientes moderadas están favorecidas con una vegetación herbácea, poco forestada que se complementan luego de analizar todos los parámetros involucrados mediante la utilización de algebra de mapas.

**CUADRO 12**  
**DISTRIBUCIÓN DE LA PENDIENTE Y EL ÁREA OCUPADA EN LA**  
**SUBCUENCA**

Pendiente (%)	Potencial de recarga	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
>65	Muy bajo	2.66	3.57
45 – 65	Bajo	14.0	18.80
15 – 45	Moderado	23.69	31.81
6 – 15	Alto	21.47	28.84
0 – 6	Muy alto	12.64	16.98
<b>TOTAL:</b>		<b>74.46</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Investigación de campo, año 2 014.

En el cuadro 12 se muestran las áreas representativas de cada rango establecido para delimitar las pendientes en la zona de estudio. Se tiene un área cubierta de 12.64 Km<sup>2</sup> con pendientes que oscilan entre los 0% – 6%, que representa un 16.98% del área total de la subcuenca.

Pendientes con un posibilidad de recarga moderada (15% - 45%) son las que ocupan la mayor área dentro de la subcuenca, que se describe como un relieve ondulado/cóncavo.

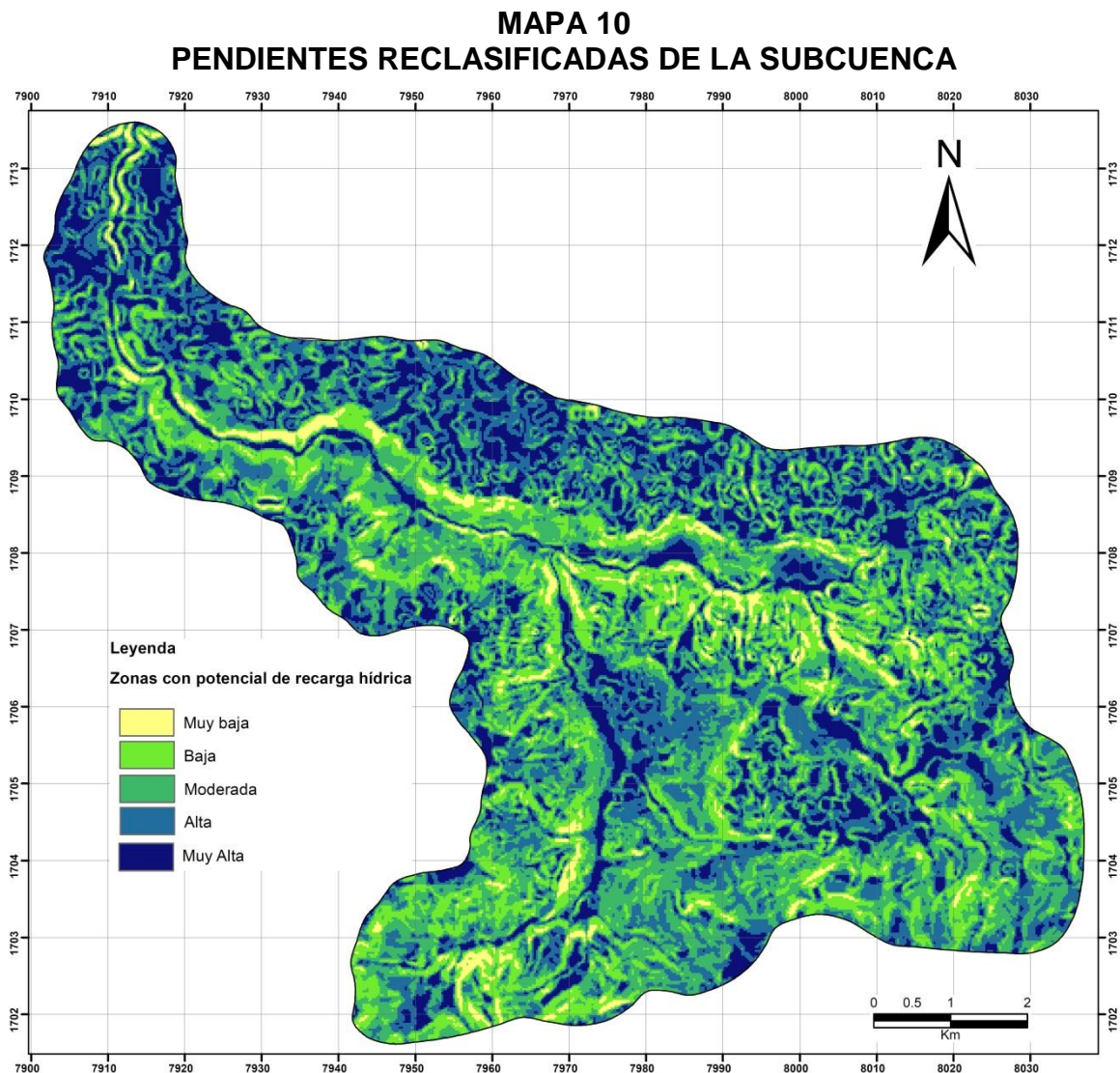
La zona con menos pendiente corresponde a las áreas ocupadas por dolinas y sumideros al noreste y al norte, que favorecen el potencial de recarga ya que se disponen también de suelos con alta permeabilidad.

En el mapa 9 de pendientes, se pueden observar los rangos de pendientes y la ponderación dentro de la zona estudiada. A partir de la utilización del software de *ArcMap*® v10.2 se realizó la reclasificación, estimación de áreas y clasificación de pendientes (cuadro 12).

De acuerdo al tipo de pendiente y a la posibilidad de recarga las zonas con mayor potencial se ubican en zonas planas a casi planas, donde la pendiente es muy baja.



En el mapa 10 se te tienen las pendientes dentro del rango de clasificación en la zona de investigación, cambios en la topografía muestran distintos tipos.



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

El mapa de pendientes obtenido muestra en un color azul fuerte, las zonas con mayor potencial de recarga, esta se da en pendientes de 0% a 6% de inclinación en la topografía, las pendientes de mayor inclinación se encuentran en menor proporción, estas han sido generadas por la erosión de las corrientes de un caudal permanente.

En la fotografía 1 se muestra un área con cultivos, se sitúan en pendientes que limitan hasta la cota del río Tzunutz (1,360 msnm), al centro se observa un cerro mostrando cambios en la topografía. Para acceder a estas áreas solamente se puede hacer uso de veredas

### FOTOGRAFÍA 1 ACCIDENTES TOPOGRÁFICOS



Tomada por: Marlon Joaquín Coy Figueroa, año 2 015.

### 3.3. Análisis del tipo de suelo

Para realizar el mapa de tipo de suelo, se analizó la textura de muestras tomadas en campo, mediante el uso de una *grid* de 4 Km<sup>2</sup>, durante la recolección se observó que generalmente se originan por meteorización en rocas calizas.

Se utilizó el método de *Bouyoucos* para determinar la textura del suelo en la etapa de análisis en laboratorio, este ensayo da mayor grado de certeza en los resultados, ya que este método estima la densidad del suelo en suspensión, permitiendo la cuantificación de las partículas primarias, los resultados se muestran en el cuadro 13.

Luego de análisis en el laboratorio de cada una de las muestras, se determinó su textura, los resultados individuales se muestran en el cuadro 13. Se detallan los datos de las comunidades cercanas a la toma de la muestra, la elevación, coordenadas y la textura.

Las texturas obtenidas tienen una relación con la capacidad de infiltración que generan, creando de esta forma un parámetro del tipo de suelo, que indicó zonas de recarga hídrica basados en la permeabilidad, según algunas otras características implícitas como lo son el espacios entre partículas, compacidad y fracturamiento de los agregados.

En el cuadro 13 se describen los datos de las muestras obtenidas, como la altitud, las coordenadas UTM, ubicación y clase textural definida.

**CUADRO 13**  
**RESUMEN DE MUESTRAS ANALIZADAS**

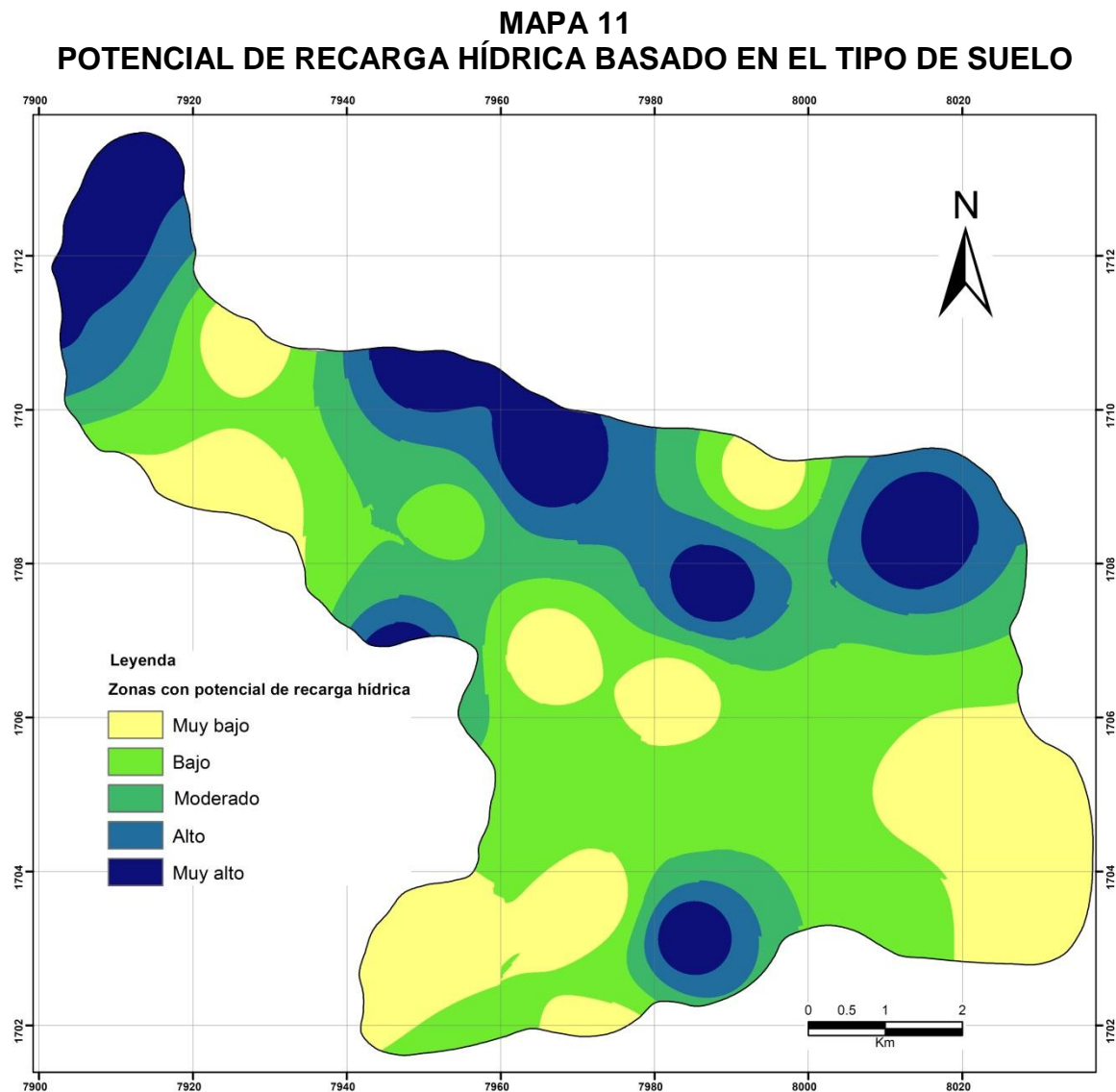
Número de muestra	Altitud (msnm)	Coordenadas (UTM WGS84 15P)		Ubicación/lugar	Clase textural
		Este	Norte		
1	1360	790540	1711901	Aldea Chacsaguil, SPC	Franco arenoso
2	1775	799399	1709165	Aldea Chinasis, SPC	Arcilla
3	1720	799129	1706205	Aldea Chirrecob, SPC	Franco arcillosa
4	1740	798225	1706294	Aldea Chineocob, SJC	Arcilla
5	1704	798751	1707707	Aldea Lamá, SJC	Franco arenosa
6	1420	795371	1708602	Aldea Tzuemayá, SPC	Franco arcillosa
7	1980	803346	1704433	Aldea Sequilá, SPC	Arcilla
8	1880	801733	1705160	Aldea Secochoy, SPC	Arcilla
9	1685	801348	1708345	Aldea Chirrucbiquim, SPC	Franco arenosa
10	1390	792670	1710959	Aldea Chisón, SPC	Arcilla
089	1521	796621	1706854	Aldea Catzinaj, SJC	Arcilla
090	1526	797193	1703630	Aldea Granadilla, SJC	Arcilla
091	1859	798445	1703023	Aldea San J. Cherecoral, SJC	Franco arcillosa
092	1936	797320	1701766	Aldea Chamisún, SJC	Arcilla
093	1897	798679	1701812	Aldea San Miguel, SJC	Franco arenosa
094	1999	795807	1701786	Aldea Santo Tomas, SJC	Franco arcillosa
095	1908	794788	1703243	Aldea Chitix, SJC	Arcilla
096	2002	796447	1704621	Aldea Canasec, SJC	Franco arcillosa
097	1670	792747	1707404	Aldea Papá, SJC	Arcilla
098	1743	794694	1706664	Aldea Sacquib, SJC	Franco arenosa
099	1385	790232	1711077	Aldea Sequib, SPC	Franco
100	1506	790730	1708703	Aldea Chiquic, SPC	Arcilla
102	1423	791750	1707886	Aldea Chajaneb, SJC	Arcilla
103	1558	792570	1708790	Aldea Sactzinil, SJC	Arcilla
104	1623	798568	1705611	Aldea Sesarb, SJC	Franco arcillosa
105	1665	796564	1709358	Aldea Chitepey, SPC	Franco arenosa
106	1595	795021	1710691	Aldea La Esperanza, SPC	Franco arenosa

SPC =San Pedro Carchá, SJC= San Juan Chamelco (ambos municipios de Alta Verapaz, Guatemala)

**Fuente:** investigación de campo, año 2015.

Los suelos con una textura arcillosa producen una lenta infiltración, por lo que la permeabilidad no se ve favorecida; definiendo zonas con un potencial de recarga hídrica: muy bajo. Suelos menos compactos, con más espacios entre las partículas (franco arenosos) crean una mejor infiltración. Estos se hayan al norte de forma predominante, produciendo zonas con un alto potencial de recarga.

El mapa 11 representa el tipo de suelo de la zona de investigación, utilizando una interpolación del potencial que genera cada clase textural.



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

En la fotografía 2 se pueden observar, parte de las muestras analizadas, la cristalería y algunos otros instrumentos utilizados. En el anexo 1 se muestran los resultados en porcentaje de las partículas que determinaron el tipo de textura.

### FOTOGRAFÍA 2 TUBOS DE SEDIMENTACIÓN CON MUESTRAS



**Tomada por:** Marlon Joaquín Coy Figueroa, año 2 015.

#### 3.4. Cobertura vegetal

Con la utilización de imágenes satelitales fueron identificadas las unidades correspondientes al tipo de cobertura vegetal en la zona de estudio, que permitió conocer su potencial de recarga hídrica basados en las unidades identificadas.

El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres, para este caso las unidades de cobertura vegetal en la zona estudiada; el índice muestra valores según su salud vegetativa, esto se basa en la actividad fotosintética de matorrales, arbustos y bosque natural (mixtos, latifoliados y de coníferas).

La cobertura vegetal tiene una relación directa con la posibilidad de recarga ya el crecimiento de cada unidad parte de áreas con una buena infiltración de agua, que podrían ser suelo más permeables. En el cuadro 14 se tienen los datos de las unidades de cobertura vegetal, la ponderación y el área que ocupa cada una de ellas.

**CUADRO 14**  
**DISTRIBUCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA ESTUDIADA**

Potencial	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
Muy bajo	1.78	2.39
Bajo	10.31	13.84
Moderado	22.31	29.96
Alto	24.98	33.55
Muy alto	15.08	20.26
<b>TOTAL:</b>	<b>74.46</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Investigación de campo, año 2 014.

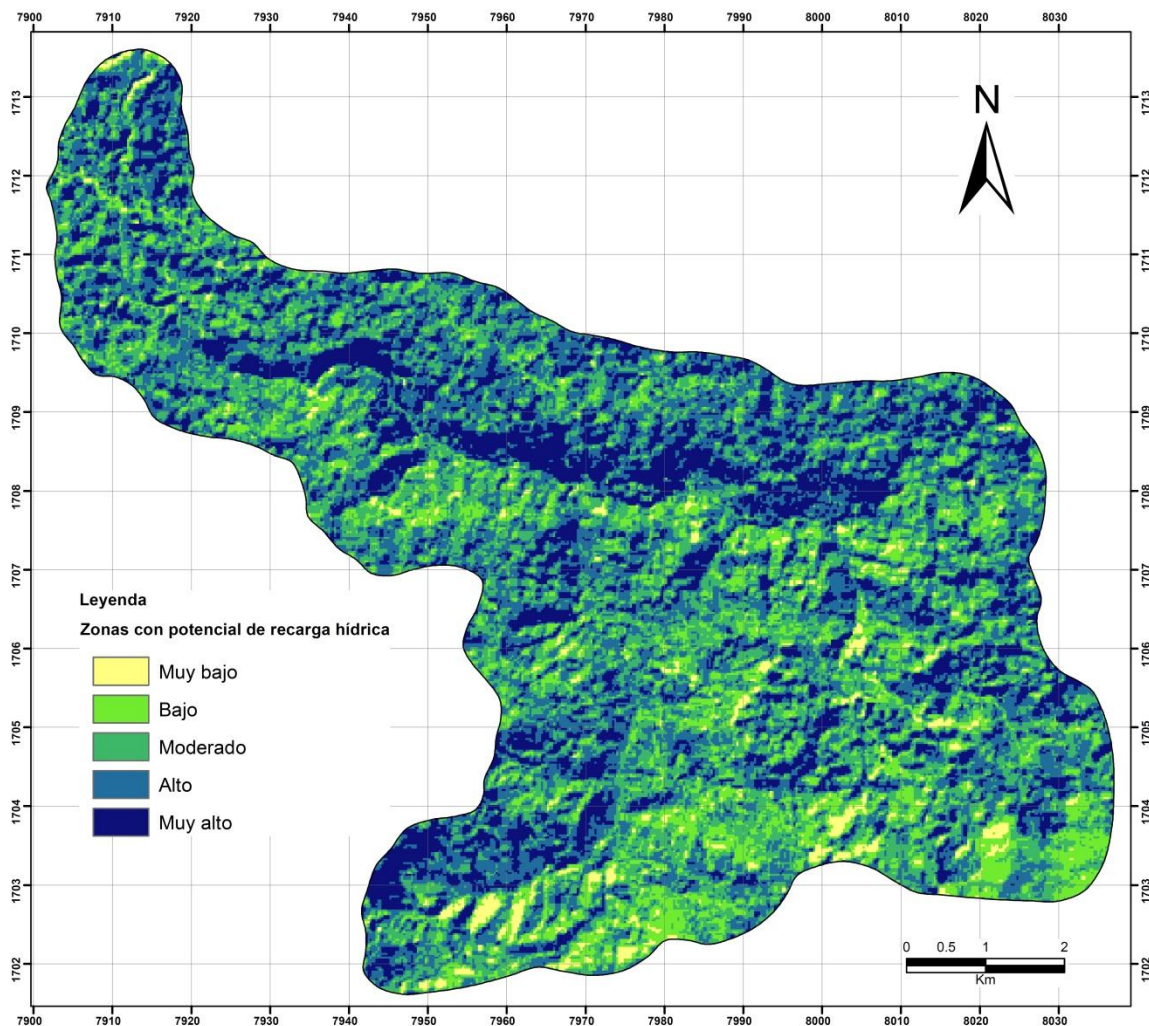
La vegetación más densa se encuentra en pendientes de un porcentaje alto, específicamente en laderas adyacentes al caudal del río Tzunutz.

Para las áreas con un potencial moderado se tiene un área de 22.31 Km<sup>2</sup> esto representa un 30% del área de la subcuenca. Mientras que zonas con un potencial muy alto poseen 15.08 Km<sup>2</sup> que son importantes cuando se da una precipitación, ya que permite un mayor contacto con el suelo y por consiguiente una mayor infiltración.

En el mapa 12 se pueden observar las unidades de cobertura vegetal y el potencial que generar cada una. El tamaño de celda es de 25 pixeles, que es lo idóneo para la escala de trabajo.



## MAPA 12 POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

Con la información de la banda satelital (denominada LC80200492013338LGN00) del día 4 de diciembre de 2 013 se determinó la presencia de nubes en un 0% (esto se determinó utilizando la banda de calidad) en el área de la subcuenca. Por lo que la operación utilizada para obtener el Índice Normalizado de Vegetación fue bastante consistente.

La utilización de la información satelital se realizó únicamente para el análisis del potencial de recarga hídrica, sin profundizar en el cambio de esta información a lo largo de los años de registros.

La humedad del suelo tiene una relación directa con la cobertura vegetal que se pueda desarrollar en el sustrato, ya que proporciona el agua necesaria para el desarrollo de las plantas, esta agua es retenida por la atracción entre las partículas de arcilla, arena y limos.

En la fotografía 3 se puede observar un bosque conífero, este es parte de un proyecto de reforestación (PINFOR) impulsado en el municipio de San Pedro Carchá.

### **FOTOGRAFÍA 3 BOSQUE CONÍFERO, EN ALDEA SEMESCHÉ**



**Tomada por:** Marlon Joaquín Coy Figueroa, año 2 015.

Se tienen algunos otros programas de reforestación impulsados por el INAB, que sin embargo para varias de las aldeas de San Juan Chamelco tienen un alto impacto ya, que en el municipio se desarrolla una explotación forestal desorbitante.

### **3.5. Uso de suelo**

El mapa que se elaboró para identificar el uso de suelo en la zona de la subcuenca del río Tzunutz, está basado en la memoria técnica del informe "Uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de



Guatemala" que detalla los tipos de uso del suelo en bosques, arbustos, pastos naturales, agricultura y otros.

En el cuadro 15 se muestra el área ocupada por cada tipo de uso de suelo y su potencial de recarga hídrica. En el caso de los centros poblados y otras urbanizaciones el potencial de recarga es de 1, mientras que hay un potencial moderado con áreas de pasto natural, arbustos y matorrales.

**CUADRO 15**  
**DISTRIBUCIÓN DEL USO DE SUELO**

<b>Potencial de recarga</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Muy bajo	0.04	0.05
Bajo	34.61	46.48
Moderado	20.84	27.98
Alto	2.55	3.44
Muy alto	16.42	22.05
<b>TOTAL:</b>	<b>74.46</b>	<b>100</b>

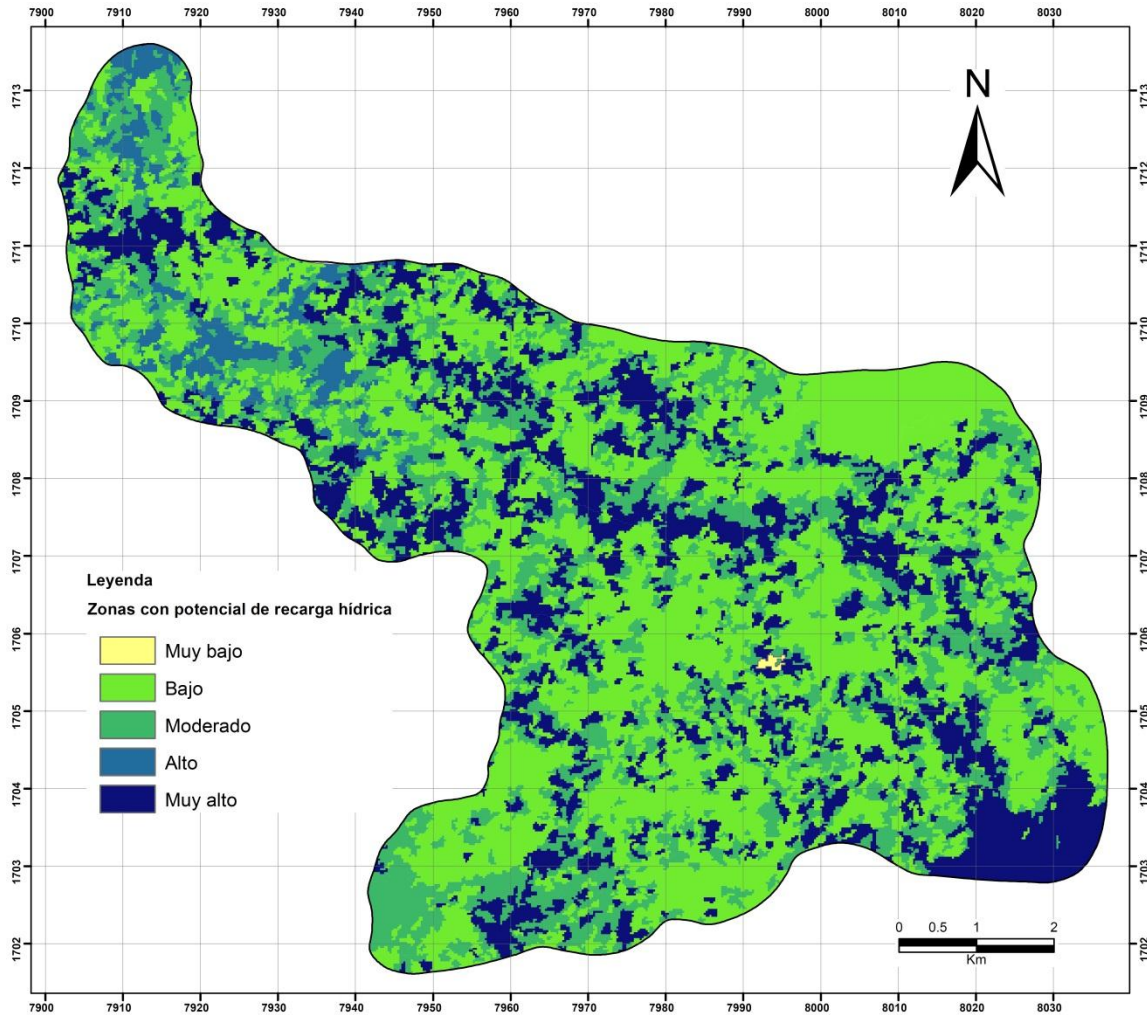
**Fuente:** Investigación de campo, año 2 014.

Áreas con un potencial muy alto (bosque mixto y latifoliado) tiene un área de 16.42 Km<sup>2</sup> esto corresponde a un 22.05% del área total de la subcuenca (mapa 13).

Los sistemas agroforestales y el bosque mixto son unidades muy características del departamento de Alta Verapaz, donde las condiciones climáticas y la diversidad de especies forman parte de los ecosistemas de montaña.

Cultivos perennes como café fueron actualizados al año 2 005, siguiendo una comparación de imágenes de satélite basados en la consulta de expertos en el área. Con la utilización de la base de datos del MAGA, el mapa de uso de suelo esta estandarizado para la escala de trabajo, debido a esto se tiene una mayor fiabilidad del mapa elaborado.

### MAPA 13 POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN USO DE SUELO



**Fuente:** modificado de MAGA, año 2 015.

Se puede determinar que existe un cierto balance en el uso de suelo, con zonas de un potencial moderado a muy alto, esto para el año 2 006 de cual se tiene la información disponible.

Áreas con cultivos perenes y zonas urbanizadas cubre un 0.05% del porcentaje total de la cuenca. El porcentaje es bajo, sin embargo se tiene un área del 46% aproximadamente con un potencial bajo, que puede ser recuperado mediante programas que impulsen una agricultura responsable.

### **3.6. Estructuras geológicas**

El análisis estructural de la subcuenca del río Tzunutz se realizó desde dos puntos de vista, por un lado examinando y evaluando el conjunto de lineamientos observados a partir de los ejes de depresiones kársticas y en el modelo de elevación digital; por el otro, analizando los comportamientos de fracturas y estratificaciones observadas y medidas en el campo.

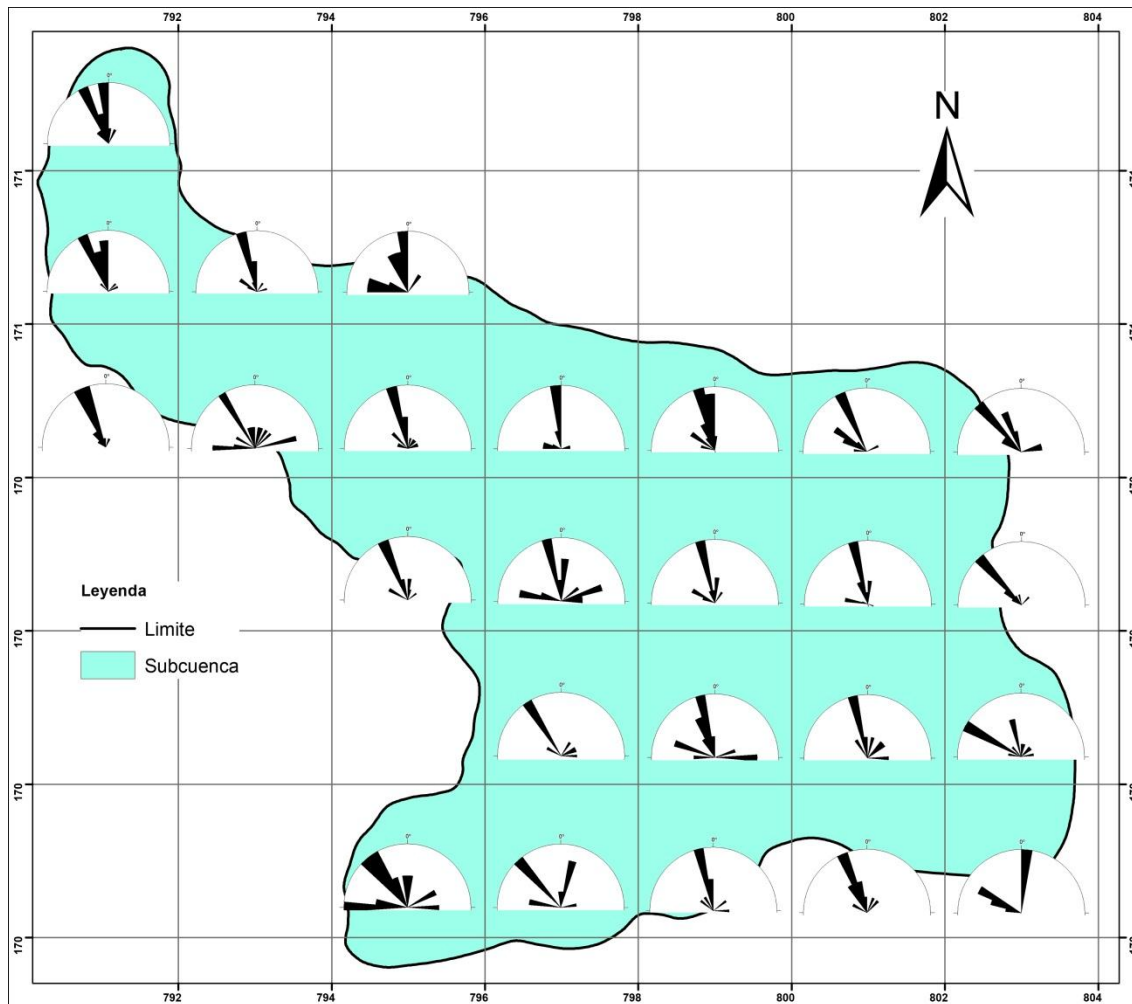
Los lineamientos fueron reconocidos y medidos (azimut y longitud) utilizando un modelo de elevación digital generado a partir de curvas de nivel a cada 20m. Los lineamientos, muestran una distribución bimodal con un rumbo de orientación N302°. Esta orientación representa la estructuración principal, que para esta investigación da una referencia de la porosidad secundaria.

#### **3.6.1. Lineamientos**

Para determinar las áreas potenciales de recarga hídrica, en base al parámetro de las estructuras geológicas, se analizaron específicamente los lineamientos. Estas estructuras lineales permitieron diseñar un rango que representa la infiltración secundaria en la zona de investigación, según un patrón de fracturamiento.

En el mapa 14 se tienen diagramas de rosa construidos a partir del análisis de subáreas de 2x2 Km. En este se muestra un sistema homogéneo, ya que los rumbos no difieren en forma drástica, en cambio se pueden observar orientaciones preferenciales, que gradúan sin perder la relación entre ellas.

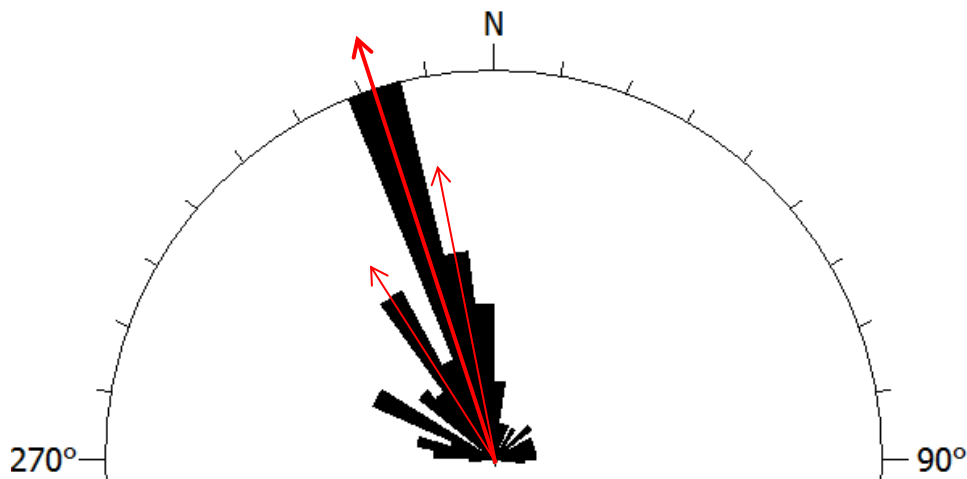
### MAPA 14 DIAGRAMAS DE ROSA DE LOS LINEAMIENTOS EN LA SUBCUENCA



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

En la figura 6 se tiene el diagrama de roseta de la totalidad de lineamientos identificados (260), estas estructuras fueron analizadas a partir ejes de depresiones kársticas y del modelo de elevación digital (*hillshade*).

**FIGURA 6**  
**ROSETA DE RUMBOS PARA LINEAMIENTOS**



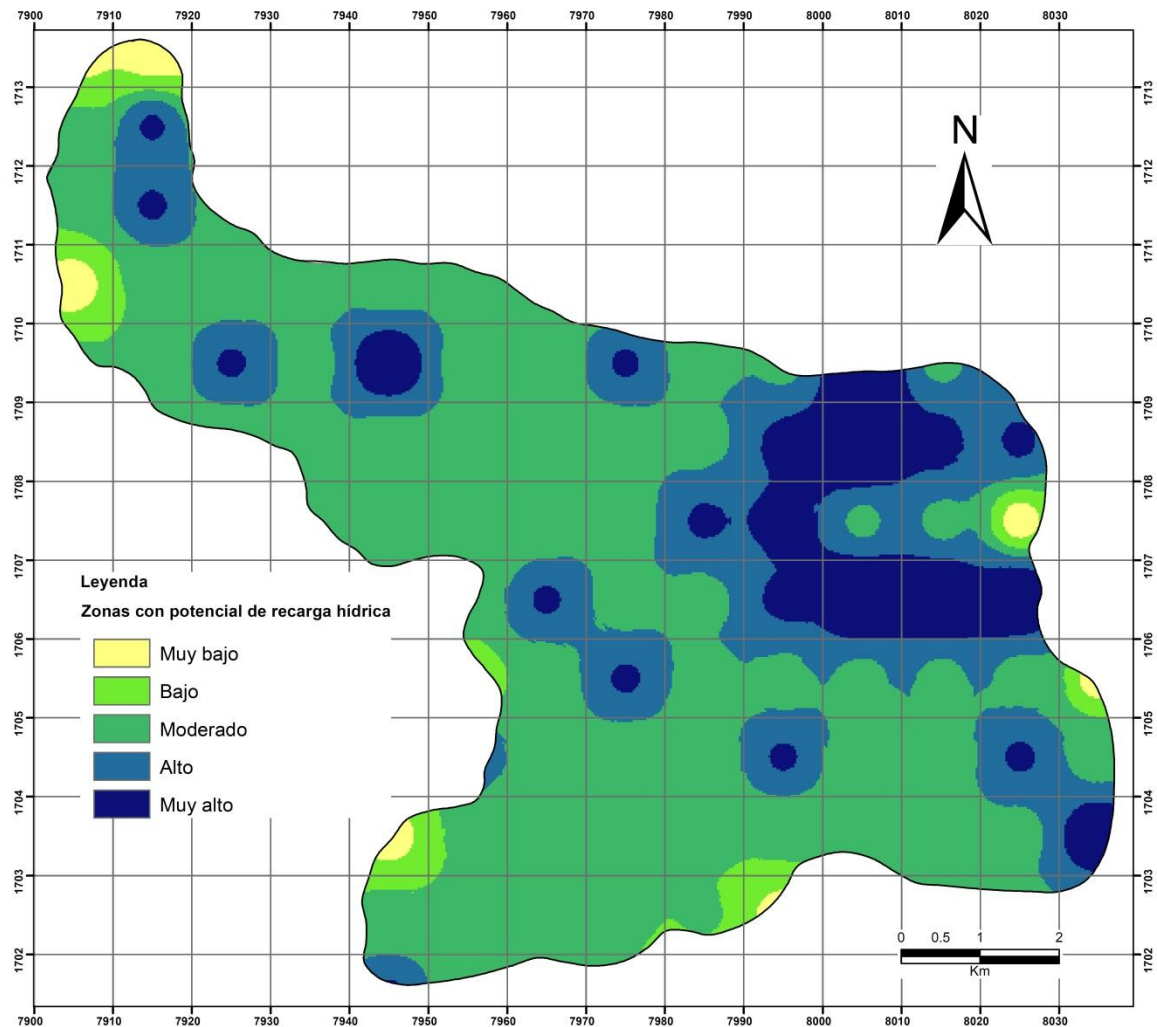
**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

Los rumbos de los lineamientos muestran tres orientaciones preferenciales: N342°, N350°, N328°. De las orientaciones se puede deducir un posible fracturamiento con rumbo *NNW*, con relación directa a la dirección del río Tzunutz.

Los rumbos preferenciales se muestran con flechas de color rojo y negro, el de mayor importancia tiene una dirección N342°, con buzamiento al norte. (Figura 6).

En el mapa 15 se muestra el potencial de recarga hídrica basado en los lineamientos y su longitud, que revelan la porosidad secundaria según las trazas de fractura que estos representan.

### MAPA 15 POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA BASADO EN LOS LINEAMIENTOS



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

El potencial de recarga en su mayoría es moderado, zonas con potencial muy alto son producto de fuertes presencia de lineamientos con longitud mayores a 1 Km de longitud, esto representa una alta infiltración secundaria.

Las estratificaciones medidas en campo fueron analizadas según su rumbo y buzamiento, guardando un tendencia global de buzamiento al *NNW* y *NNE* entre los  $N340^\circ$  y  $N035^\circ$ .

Los datos fueron analizados mediante subareas de 4x4 Km que facilito el análisis de los datos recolectados. Se interpretaron mediante diagramas de rosa, que mostraron las orientaciones preferenciales, la más importante es N296°, siguiendo con las de N072°, N055° y N281°.

Las estratificaciones favorecen la infiltración cuando presentan fracturas y discontinuidades verticales, ya que estas aberturas crean una superficie por la cual el movimiento del agua meteórica alimenta el manto acuífero, si y solo sí esta red de fracturamiento esté presente en las capas subyacentes.

Las fracturas son importantes, ya que son en estas aberturas en donde empieza la infiltración, produciendo la disolución de las rocas calizas en este caso.

Los rumbos de las fracturas tomadas en campo, principalmente tienen 4 orientaciones preferenciales. Estas son: N295°, N090°, N045° y N005°.

La orientación preferencial dominante es de N295°, que tiene una relación con los planos de estratificación y los lineamientos. El *trend* principal de los lineamientos es de N302°, esto rectifica la idea de un sistema de fracturamiento *NNW*.

### **3.7. Depresiones kársticas**

Las depresiones kársticas identificadas de la hoja cartográfica de Cobán (2162 III) fueron utilizadas para el análisis de densidad, se utilizó esta base topográfica ya que facilitó el trabajo de ubicación del karst en el área cubierta de la zona de investigación.

Para realizar el cálculo de la densidad de depresiones kársticas por kilómetro cuadrado, se determinó el centroide de cada una de estas geoformas, luego se realizó un conteo manual del cual se diseñó un rango de existencia y el potencial de recarga hídrica al que se asocia.

En el cuadro 16 se muestra el potencial de recarga en función de la densidad de depresiones y el área ocupada del total de la subcuenca, el potencial de recarga “muy bajo” es el de mayor porcentaje, ya que no existe karst en toda la zona de investigación.

**CUADRO 16**  
**DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD DE DEPRESIONES KÁRSTICAS EN LA ZONA Y SU POSIBILIDAD DE RECARGA**

Potencial de recarga	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
Muy bajo	37.62	50.52
Bajo	13.77	18.49
Moderado	15.48	20.78
Alto	6.12	8.21
Muy alto	1.47	2.33
<b>TOTAL:</b>	<b>74.46</b>	<b>100</b>

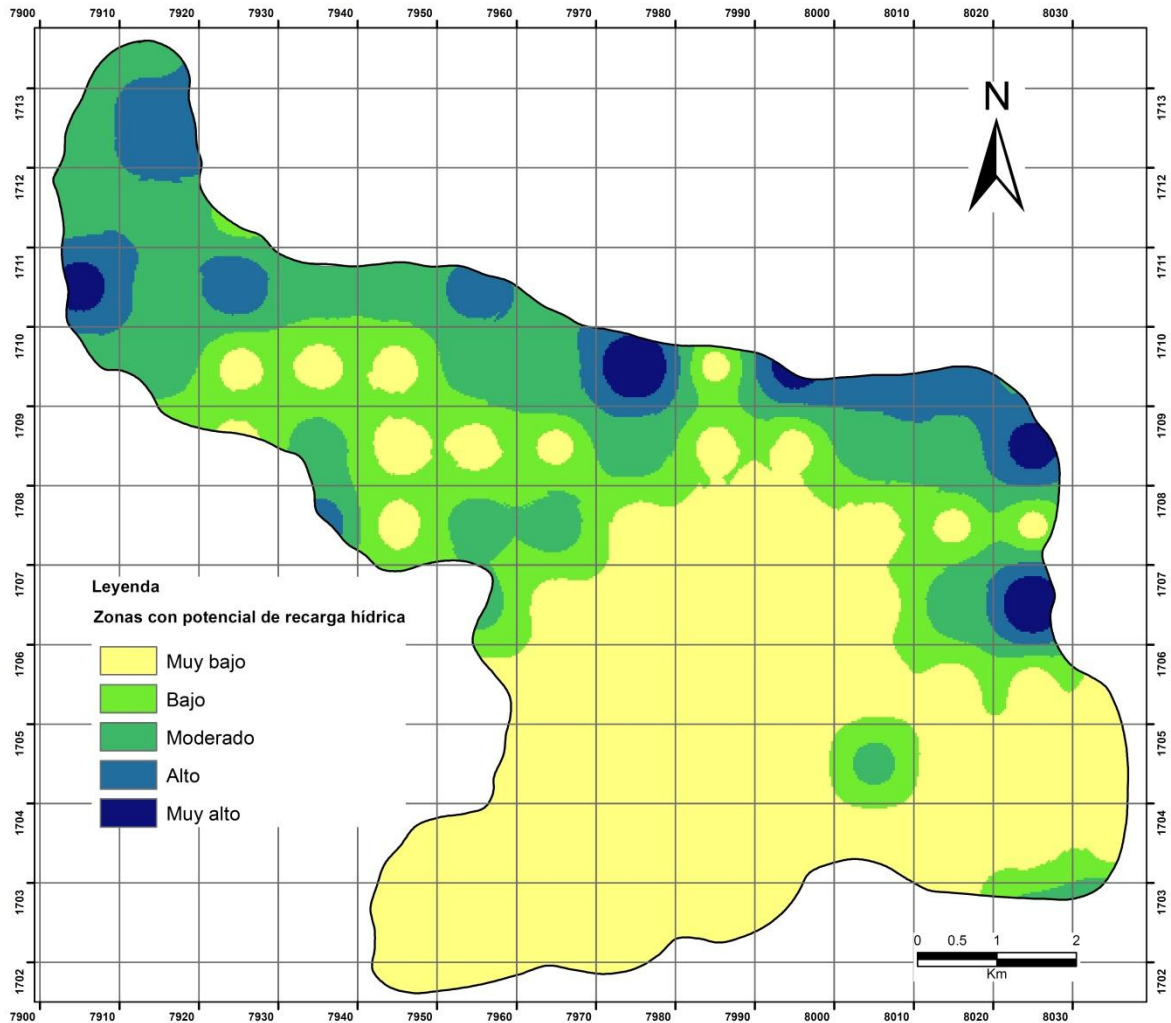
**Fuente:** Investigación de campo, año 2 014.

Zonas con potencial muy bajo ocupa el mayor porcentaje del área (50.52%) con una posibilidad de recarga muy baja; mientras que tan solo el 2.33% tiene una posibilidad muy alta.

En el mapa 16 se muestra la densidad de depresiones analizadas mediante una *grid* de 1x1 Km, una alta existencia de estas geoformas refleja un potencial de recarga muy alto ya que desarrollan un drenaje radial, alimentando flujos de agua subterránea.



### MAPA 15 DENSIDAD DE DEPRESIONES KÁRSTICAS



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

Al sur de la zona de investigación no se identificaron depresiones, lo que indica que el fracturamiento local es más fuerte al norte, también se puede atribuir a otra unidad litológica, que en su mineralogía es más resistente a la disolución esto, es normal en rocas con un contenido más alto de magnesio.

Las depresiones kársticas son posiblemente los mejores ejemplos de puntos de infiltración, ya que conducen la escorrentía hacia un nivel más bajo, creando conductos o sistemas subterráneos que transportan los flujos de agua hacia surgencias y manantiales que se hayan a una cota más baja.

### **3.8. Corrientes superficiales**

Las corrientes tributarias fueron analizadas para determinar el mapa temático de densidad, estos son todos los canales que drenan al agua al momento de un evento de precipitación, incluido el río Tzunutz, que es la corriente principal, con 23 Km de largo aproximadamente.

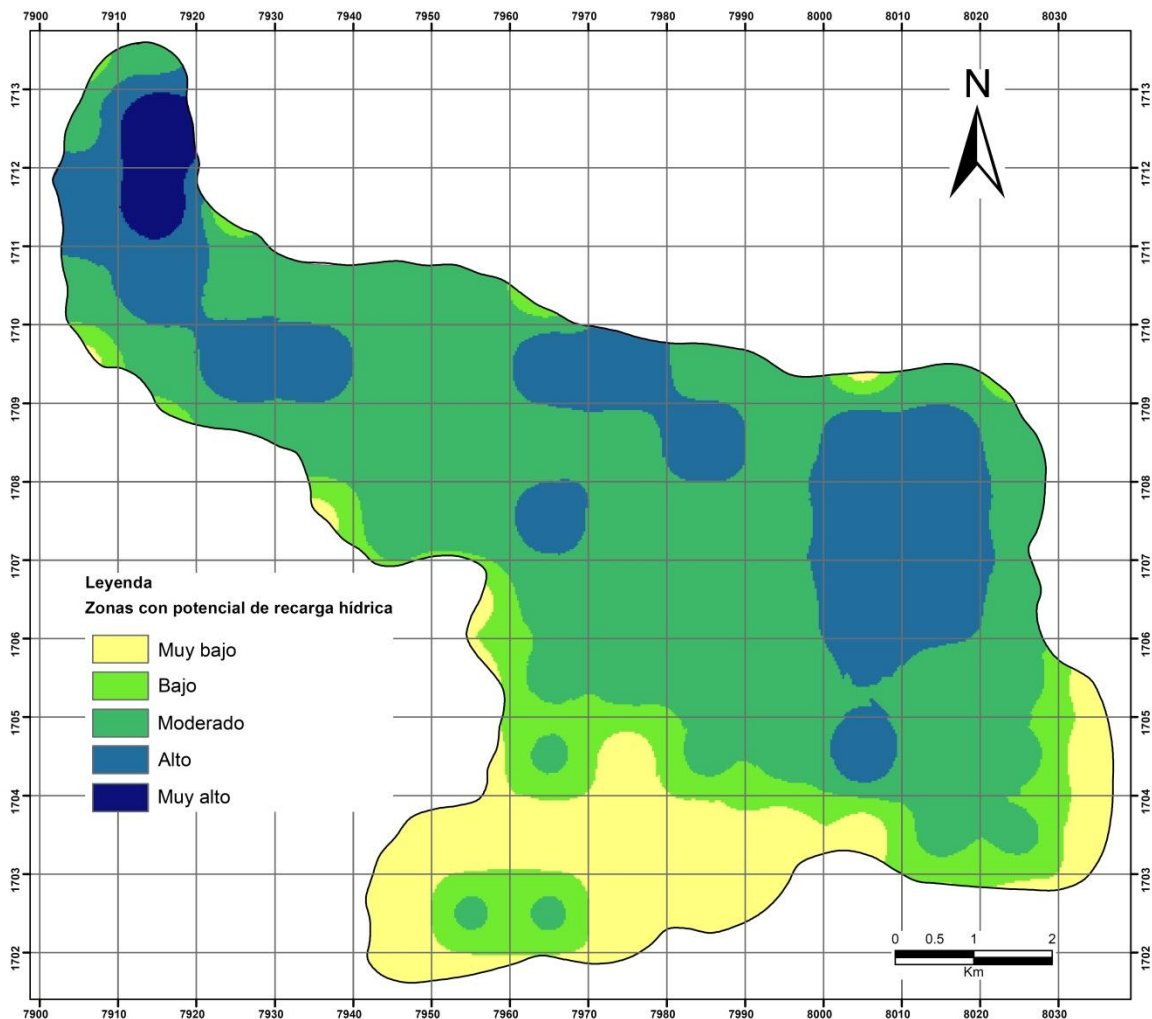
Una densidad de corrientes alta muestra un potencial de recarga bajo, debido a que el agua precipitada se drena rápidamente, en cambio una densidad de corrientes baja permite que una mayor absorción de la precipitación en el suelo.

Para la elaboración del mapa de densidad de corrientes se analizaron los tres tipos de corrientes (efímeras, intermitentes y permanentes). En el mapa 16 se puede observar las zonas potenciales de recarga hídrica según este parámetro hidrológico.

En áreas con karst se llegaron a contabilizar hasta 75 corrientes efímeras por kilómetro cuadrado, representando un potencial muy alto de recarga.

El color azul intenso muestra las áreas con una densidad de corrientes baja, que genera una mejor infiltración en el suelo despreciando la textura del medio, el fisuramiento y la permeabilidad.

### MAPA 17 POTENCIAL DE RECARGA SEGÚN CORRIENTES SUPERFICIALES



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

La zona de investigación muestra en su mayoría un potencial moderado (cuadro 17), esto representa una infiltración media de la lluvia, que depende de la capacidad de absorción del suelo, las capas litológicas y el fracturamiento durante eventos de precipitación de corta y larga duración.

**CUADRO 17**  
**POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN LAS CORRIENTES**

<b>Potencial de recarga</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Muy bajo	11.16	14.98
Bajo	8.66	11.63
Moderado	37.01	49.70
Alto	16.17	21.71
Muy alto	1.46	1.96
<b>TOTAL:</b>	<b>74.46</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Investigación de campo, año 2 014.

El potencial de recarga hídrico dominante en la zona es moderado, cubriendo un 49.70% del área total de la subcuenca, (cuadro 17).

Áreas con karst crean un patrón de drenaje fantasma, que es característico en esta geomorfología, donde las corrientes efímeras forman un drenaje radial.

El drenaje también refleja el cambio en la unidad litológica al sur, ya que se desarrolla un drenaje dendrítico a diferencia de la región norte que es diferente.

### **3.9. Precipitación**

La precipitación pluvial forma parte de los procesos de transferencia del ciclo hidrológico, al igual que la infiltración; definiendo de mejor forma las zonas potenciales de recarga del acuífero.

La lluvia alimenta las corrientes superficiales que drenan el área y crean susceptibilidades de infiltración según sea el tipo de suelo y el estrato rocoso subyacente, que define la velocidad de infiltración. Esto está también definido por la infiltración secundaria que pueda existir.

Este parámetro establece dos áreas principalmente, resalta un potencial de recarga moderada y en menor proporción un potencial de recarga baja, según la interpolación realizada con datos presentados en el informe de cambio climático del MARN. El análisis de esta información se hizo a partir de isolíneas que fueron reclasificadas para obtener la información en formato *raster*.

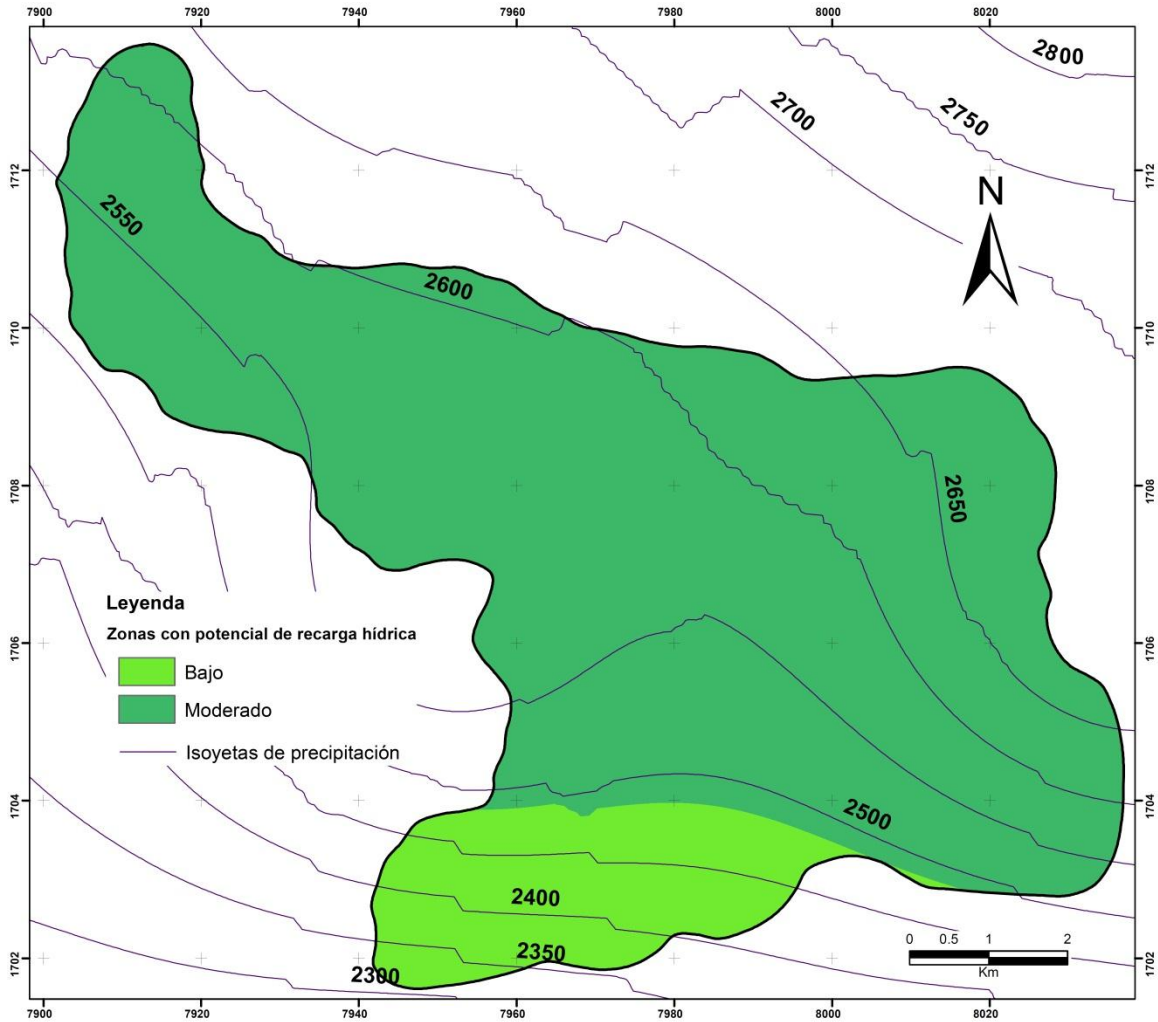
Se tienen una precipitación anual que oscila entre los 2,700 mm y 2,380 mm, estos se muestran con isoyetas en el mapa 17 que fueron el punto de partida para el diseño de ponderación de este parámetro, muy importante en el sistema de recarga hídrica.

La información de las estaciones sirvió de base, para conocer la precipitación promedio en un período de 19 años, que facilitó la interpretación de las isoyetas del modelo de cambio climático del MARN.

En el mapa 18 se muestran las áreas con el potencial de recarga hídrica que puede generar la precipitación a partir de la evaluación de la lámina precipitada.

En este mapa no toma en cuenta si el evento es de corta o larga duración, para determinar la infiltración y transmisibilidad del fluido; ya que estas características dependerán de la erodabilidad del suelo, la tasa de erosión y algunos otros factores más específicos

### MAPA 18 POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA SEGÚN LA PRECIPITACIÓN



**Fuente:** modificado MARN.

Las isoyetas mostradas en el mapa 18, corresponden al modelo de precipitación presentado por el MARN, el cual muestra una disminución en la lámina de lluvia. Esto también coincide con las estaciones dentro de la zona de investigación (Caquipec, Tzunutz).

### **3.10. Zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz**

#### **3.10.1. Generalidades**

La evaluación de los parámetros descritos y la utilización del método *AHP* fueron determinantes para la identificación de los distintos tipos de zonas en la subcuenca del río Tzunutz.

El análisis jerárquico determinó una importancia del 24.1% para la precipitación, del 20% para las estructuras geológicas y un 5% para las depresiones kársticas. Estos son tres de los 8 parámetros evaluados, que fueron considerados como base fundamental para esta investigación. La información de cada porcentaje se detalla en la ecuación final, del modelo propuesto.

En el mapa 19 se ven 3 grandes áreas estas se pueden describir de forma general como zonas con un potencial de recarga hídrica: muy alto (color azul, al norte), el potencial moderado se tiene en la región central con una orientación *NW*; al sur se puede observar un potencial de recarga bajo y muy bajo (color amarillo y verde respectivamente) en menor proporción.

Un área de 9.40 Km<sup>2</sup> corresponde a un potencial de recarga hídrica muy alto, 21.57 Km<sup>2</sup> a un potencial moderado y 8.59 Km<sup>2</sup> a un potencial de recarga hídrica muy bajo, como se muestra en cuadro 18.

**CUADRO 18**  
**POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA ESTUDIADA**

<b>Potencial de recarga</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Muy bajo	8.59	11.54
Bajo	17.76	23.85
Moderado	21.57	28.96
Alto	17.14	23.03
Muy alto	9.40	12.63
<b>TOTAL:</b>	<b>74.46</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Investigación de campo, año 2 014.

### 3.10.2. Síntesis

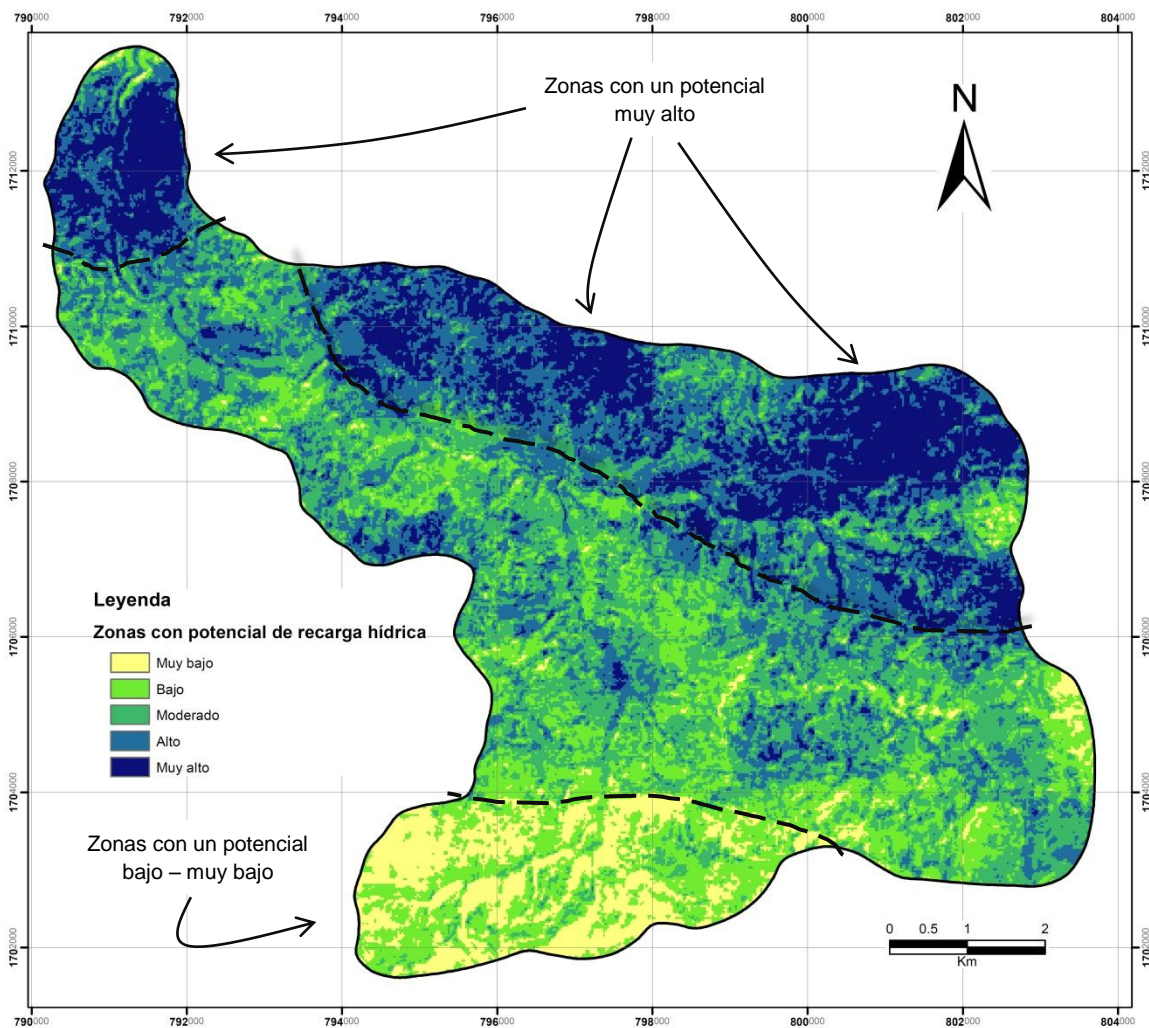
Las pendientes al norte del río Tzunutz muestran áreas más o menos planas con porcentajes de 0% al 15%. Estas favorecen la recarga hídrica por lo que muestran un alto potencial. El tipo de suelo favorece de igual forma el potencial de recarga, ya que predominan suelos francos y franco arenosos donde las partículas que los componen, generan una alta permeabilidad.

Se identificaron arcillas y suelos franco arcillosos que representan un potencial bajo, ya que ralentizan la infiltración que es inversamente proporcional al drenaje superficial y a la pendiente.

La cobertura vegetal en zonas con pendientes del 15% y 45% al norte del río principal, muestran áreas con bosques naturales y unidades arbustivas de un potencial de recarga muy alto según este parámetro. Al sur se muestra un bajo potencial, ya que destacan tierras cultivadas en pendientes que superan el 45% con suelos arcillosos.



## MAPA 19 ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

En áreas con moderado y alto potencial de recarga, se tienen unidades de pastos naturales, sistemas agroforestales, de bosque mixto y latifoliado. Predominan áreas con un potencial bajo al sur de la zona de investigación, que forman parte de cultivos de granos básicos.

En lo que respecta al análisis de las estructuras geológicas, en el mapa 18 se muestra al NE un área de aproximadamente 9 Km<sup>2</sup> con un potencial de recarga muy alto, esto se ve influenciado por la existencia de un sistema alineado de depresiones kársticas casi en toda la zona norte, que producen lineamientos con una orientación *NNW*.

La presencia de lineamientos de más de 1 Km de longitud fue el parámetro en el cual se basó la ponderación por km<sup>2</sup>, deduciendo que a partir de una fractura de falla mayor, se tiene una mayor infiltración secundaria; que en algunos casos fueron verificados mediante la obtención de datos de fallas y fracturas.

Al sur de la subcuenca (mapa 15), se tienen pocos rasgos kársticos, es decir, una menor densidad de depresiones, que produce menos focos de infiltración, menos lineamientos estructurales (menores a 900 metros) y un drenaje más superficial; donde la infiltración al manto subterráneo es menor según el medio de suelo por el que se desarrolle.

Como se puede observar en el mapa 18, al norte del área de investigación se tiene un potencial de recarga muy alto, que se puede constatar en el mapa 15 de depresiones kársticas. En estas áreas se tienen pendientes de 0% a 30% que son favorecidas con corrientes efímeras que drenan de forma radial el agua meteórica, creando de esta forma focos de infiltración directa al manto acuífero.

Asimismo se puede ver el contraste de la poca y nula existencia de karst, que se traduce en un potencial de recarga hídrica muy bajo.

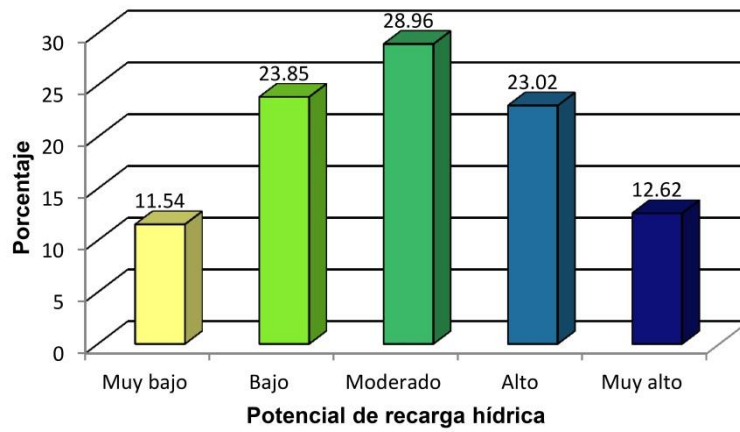
Se tuvieron áreas con presencia de hasta 10 depresiones por Km<sup>2</sup> lo que proporciono el rango diseñado para la zona de estudio, que representan los índices más altos de recarga como se puede observar en el mapa 18.

Para analizar la densidad de corrientes por Km<sup>2</sup> se tomó en cuenta, que las depresiones kársticas crean una red de corrientes efímeras importantes, ya que drenan la lluvia hacia estos elementos geomorfológicos que son considerados para esta investigación, como importantes. Esto se puede observar al norte, en el mapa 15 en donde existe un potencial moderado; mientras que al sur se tiene un potencial más bajo.

Los datos utilizados para el análisis de la precipitación fueron isoyetas con las cuales se estableció el rango de lámina precipitada para la zona de investigación. Estos datos se presentaron en el primer Comunicado de Cambio Climático, publicado por el MARN en el año 2 002. Con esta información se generaron los mapas para realizar el proceso de algebra de mapas obteniendo las zonas potenciales de recarga de área de investigación.

La figura 9 representa el porcentaje de cada uno de las zonas identificadas en la subcuenca, mostrando un potencial moderado que es el 28.96% del área total y un 35.64% entre un potencial alto y muy alto (aproximadamente unos 26.54 Km<sup>2</sup>).

**FIGURA 7**  
**PORCENTAJE DE LAS ZONAS POTENCIALES IDENTIFICADAS**



**Fuente:** investigación de campo, año 2 015.

## CONCLUSIONES

### a. General

Las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz fueron identificadas mediante la evaluación de: las pendientes, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, el uso de suelo; la densidad de estructuras geológicas, de depresiones, corrientes y la precipitación local. Que permitieron delimitar en forma teórica las zonas identificadas.

### b. Específicas

Las pendientes de la subcuenca muestran variaciones que oscilan entre el 0% y 65%. Este parámetro representa el potencial de recarga hídrica teórico muy bajo, cuando las pendientes superan el 65% de inclinación; mientras que sin son de entre el 0% y 15% el potencial es muy alto, ya que la topografía permite una mejor infiltración.

Los tipos de suelo son de textura arcillosa, franco arenosa y franco arcillosa; que según su capacidad de infiltración y espacio entre partículas generan distintos potenciales de recarga en la zona de investigación. Al norte se tiene una mayor permeabilidad según estas características.

La cobertura vegetal fue reconocida en el área utilizando imágenes satelitales. Con esta información se identificaron unidades vegetativas como lo son: zonas forestadas, de vegetación herbácea y de bosques naturales.

El uso de suelo muestra un porcentaje del 46.48% para uso agrícola, con cultivos y granos básicos que representan un potencial de recarga hídrica bajo.

El análisis de los lineamientos como estructuras geológicas predominantes en el área de la subcuenca determinó un patrón de fracturamiento con rumbo N342°. La porosidad secundaria se determinó con el estudio de la longitud de estas estructuras por Km<sup>2</sup>.

Las depresiones kársticas fueron identificadas en su mayoría al norte de la zona de investigación produciendo un alto potencial de recarga según la densidad, que en algunos casos fue de hasta 10 depresiones por Km<sup>2</sup> esto contrasta al sur, con la inexistencia de karst que podría atribuirse a una variación de la unidad litológica predominante en el área (calizas).

Por otro lado, el drenaje fue analizado mediante el conteo de corrientes por Km<sup>2</sup>; el drenaje fantasma fue característico en zonas de karst (al norte); mientras que al sur el patrón de drenaje es dendrítico. La precipitación ha venido disminuyendo según los datos analizados.

Otro de los objetivos principales permitió elaborar un modelo de evaluación, mediante una ecuación que engloba la importancia de cada parámetro determinando de esta forma la relación interactiva entre cada uno.

El mapa obtenido representa los tipos de potencial de recarga hídrica a escala 1: 50 000, ubicando de forma espacial las zonas mediante un sistema georeferenciado; que será de utilidad para el aprovechamiento, recuperación y conservación en zonas con potencial hídrico alto, bajo y moderado respectivamente.

## RECOMENDACIONES

- a. Elaborar un plan de manejo de la subcuenca, que implemente procesos participativos de desarrollo local, en los cuales se involucren a los integrantes de las comunidades, COCODES y otras formas de organización social.
- b. Crear proyectos de abastecimiento de agua para consumo humano, con la implementación de pozos mecánicos en las zonas con mayor potencial de recarga hídrica.
- c. Realizar análisis químicos de aguas superficiales y subterráneas, evaluando su calidad para consumo humano.
- d. Instalar una red de estaciones pluviométricas, o recuperar las existentes para tener una base de datos más consistente que se pueda utilizar para estudios a futuro.
- e. La utilización de la metodología considero parámetros locales, que fueron analizados por ser muy característicos en la zona; como es el caso de las depresiones kársticas, por lo que la utilización de este proceso metodológico debe ser considerado para el análisis de otra zona de investigación.





## BIBLIOGRAFÍA

- Cruz S. Jorge René de la. *Clasificación de las zonas de vida en Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala: Instituto Nacional Forestal, 1 982.
- Definiciones de SIG*. <http://www.unalmed.edu.co/~janaya/clase2/clase2.htm> (5 de abril de 2 015).
- Formas exokársticas*. [http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/geomorfologia/formas\\_exokarsticas\\_destructivas\\_dolinas.htm](http://www.redes-cepalcala.org/ciencias1/geologia/geomorfologia/formas_exokarsticas_destructivas_dolinas.htm) (06 de octubre de 2 014).
- Fragoso-Servón, Patricia., Et.Al. *Caracterización de las depresiones kársticas: forma, tamaño y densidad*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v31n1/v31n1a10.pdf> (11 de agosto de 2 014).
- Instituto Geográfico Nacional –IGN-. *Hoja topográfica Cobán (2162 III)*. Guatemala: IGN., Escala 1: 50 000 color.
- . *Mapa geológico Cobán (2162 III)*. Guatemala: IGN., Escala 1: 50 000 color.
- . *Red vial de la república de Guatemala*. <http://www.siinsan.gob.gt/portals/0/pdf/RedVial.pdf> (07 de junio de 2 014).
- Matus, Oscar. Et.Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2 009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974E.pdf> (10 de octubre de 2 013).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. *Mapa de cuencas hidrográficas a escala 1: 50 000, república de Guatemala*. 2 009. [http://www.sigmaga.com.gt/pdfs\\_sigmaga/MEMORIA%20CUENCAS\\_50000.pdf](http://www.sigmaga.com.gt/pdfs_sigmaga/MEMORIA%20CUENCAS_50000.pdf) (07 de mayo de 2 014).
- . *Mapa fisiográfico-geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1: 250,000*. Guatemala: MAGA., 2 001.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. 2 011. [http://www.sia.marn.gob.gt/Documentos/Cuencas\\_hidrograficas.pdf](http://www.sia.marn.gob.gt/Documentos/Cuencas_hidrograficas.pdf) (11 de julio de 2 014).

----- *Informe ambiental del estado de Guatemala*. 2 009. <http://www.marn.gob.gt/documentos/novedades/geo.pdf> (17 de junio de 2 014).

*Modelos de superficie e interpolaciones*. <http://inisig.com/modelos-de-superficie-interpolaciones-2/> (5 de abril de 2015).

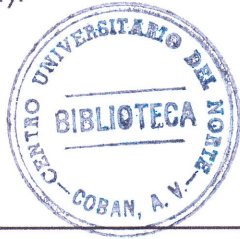
----- *Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático 2 001*. Guatemala: Serviprensa, S.A. 2 002.

Ruiz, Armando. *Determinación de la textura del suelo*. Centro Universitario del Norte- Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz. Guatemala: Carrera de Agronomía. 2 013.

Saaty, Thomas. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, United States of America: McGraw Hill, 1 980.

Sener, Earl. *An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations*. 2 004. [http://www.academia.edu/5064713/Application\\_of\\_remote\\_sensing\\_and\\_GIS\\_analysis.pdf](http://www.academia.edu/5064713/Application_of_remote_sensing_and_GIS_analysis.pdf) (22 de agosto de 2 014).

Simón, Jose-Luis. *Dolinas en terrazas al oeste de Zaragoza: un análisis empírico de los factores de riesgo*. España, 1 991. [http://tierra.rediris.es/Cuaterna\\_rioyGeomorfologia/images/cuaternario5\(1-4\)\\_12-.pdf](http://tierra.rediris.es/Cuaterna_rioyGeomorfologia/images/cuaternario5(1-4)_12-.pdf) (04 de septiembre de 2 014).



V.ºB.º  
*[Handwritten signature]*

---

Adán García Véliz  
Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa  
Bibliotecario

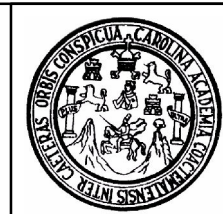
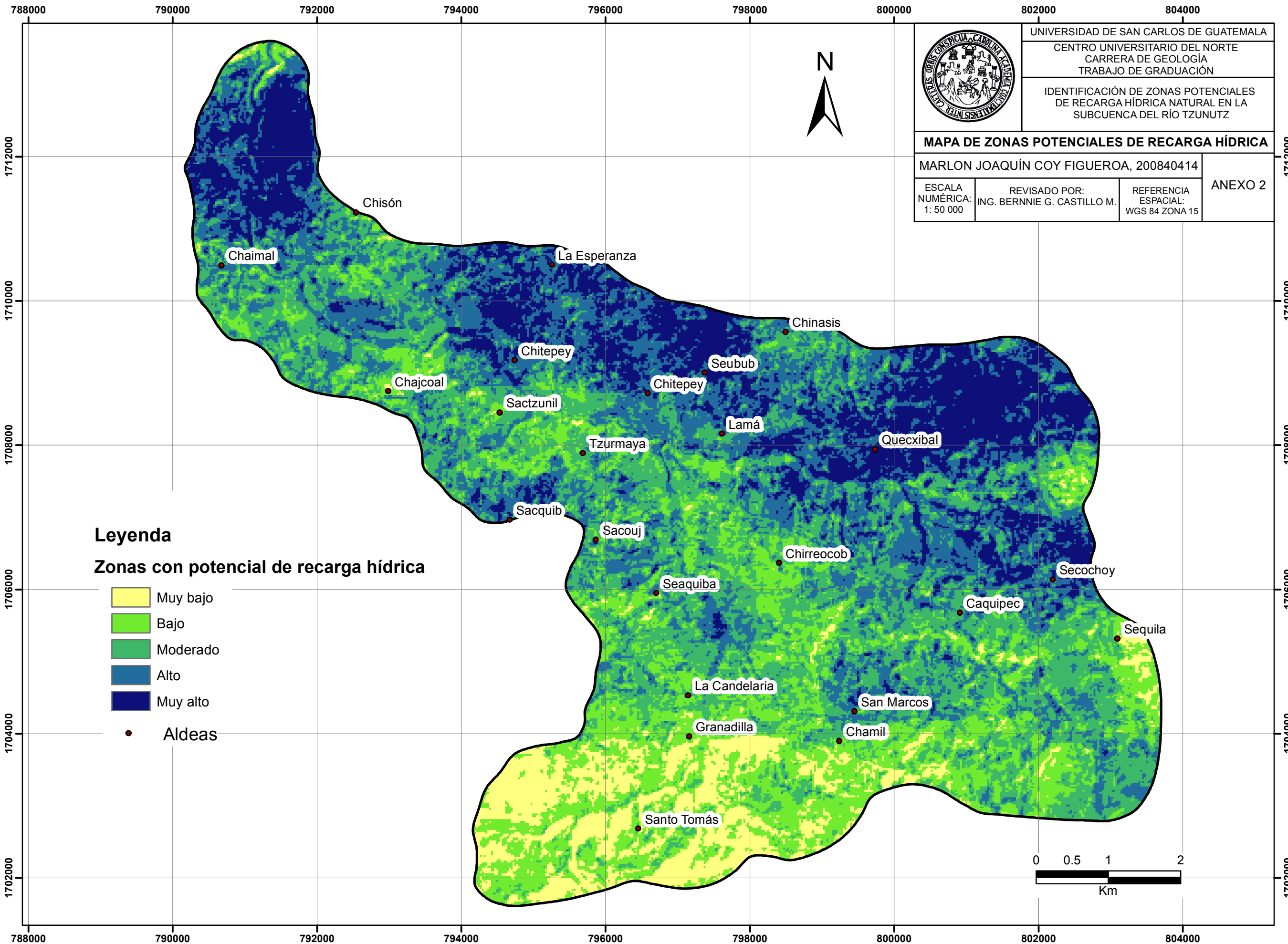


## ANEXO 1

## TABLA RESUMEN

Número de muestra	Altitud (msnm)	Coordenadas (UTM WGS84 15P)		Partículas (%)			Clase textural
		Este	Norte	Arcilla	Limo	Arena	
1	1360	790540	1711901	12.00	22.58	65.42	Franco arenoso
2	1775	799399	1709165	65.10	23.04	11.85	Arcilla
3	1720	799129	1706205	36.34	11.74	51.91	Franco arcillosa
4	1740	798225	1706294	54.73	19.23	26.05	Arcilla
5	1704	798751	1707707	12.85	20.35	66.80	Franco arenosa
6	1420	795371	1708602	28.60	19.33	52.07	Franco arcillosa
7	1980	803346	1704433	58.07	14.19	27.75	Arcilla
8	1880	801733	1705160	55.12	23.38	21.49	Arcilla
9	1685	801348	1708345	11.74	29.13	59.13	Franco arenosa
10	1390	792670	1710959	78.29	6.44	15.27	Arcilla
089	1521	796621	1706854	62.19	14.56	23.25	Arcilla
090	1526	797193	1703630	60.36	18.18	21.47	Arcilla
091	1859	798445	1703023	38.60	15.33	46.97	Franco arcillosa
092	1936	797320	1701766	56.07	16.19	27.74	Arcilla
093	1897	798679	1701812	13.21	4.32	82.48	Franco arenosa
094	1999	795807	1701786	38.23	29.47	32.29	Franco arcillosa
095	1908	794788	1703243	49.81	20.04	26.15	Arcilla
096	2002	796447	1704621	35.60	10.33	54.97	Franco arcillosa
097	1670	792747	1707404	60.49	29.27	10.24	Arcilla
098	1743	794694	1706664	13.33	23.82	62.85	Franco arenosa
099	1385	790232	1711077	22.72	32	45.28	Franco
100	1506	790730	1708703	50.67	7.78	41.56	Arcilla
102	1423	791750	1707886	47.25	21	31.78	Arcilla
103	1558	792570	1708790	67.05	11.90	21.05	Arcilla
104	1623	798568	1705611	10.72	20	69.28	Franco arcillosa
105	1665	796564	1709358	11.24	2.70	86.05	Franco arenosa
106	1595	795021	1710691	14.55	11.27	74.18	Franco arenosa





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
 CARRERA DE GEOLOGÍA  
 TRABAJO DE GRADUACIÓN

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES  
 DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA  
 SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ

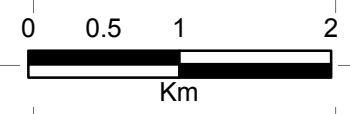
**MAPA DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA**

MARLON JOAQUÍN COY FIGUEROA, 200840414

ESCALA NUMÉRICA: 1: 50 000	REVISADO POR: ING. BERNNIE G. CASTILLO M.	REFERENCIA ESPACIAL: WGS 84 ZONA 15	ANEXO 2
----------------------------------	--	---	---------

**Leyenda**  
**Zonas con potencial de recarga hídrica**

- Muy bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto
- Muy alto
- Aldeas





# CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15145

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos, luego de conocer el dictamen de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

## Geología

Al trabajo titulado:

**"Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz"**

Presentado por el (la) estudiante:

**Marlon Joaquín Coy Figueroa**

Autoriza el

**IMPRIMASE**

*"Id y enseñad a todos"*

  
Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovanni Macz Choc  
DIRECTOR



Cobán, Alta Verapaz octubre del 2015