



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

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO DE  
LA MICROCUENCA DEL RÍO IXTACAPA, CUENCA ALTA  
DEL RÍO NAHUALATE, SOLOLÁ**

**JOSÉ JUAN OCHOA QUEZADA**

**COBÁN, ALTA VERAPAZ, JULIO 2017**

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO E HIDROGEOQUÍMICO DE  
LA MICROCUENCA DEL RÍO IXTACAPA, CUENCA ALTA  
DEL RÍO NAHUALATE, SOLOLÁ

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO  
DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR  
JOSÉ JUAN OCHOA QUEZADA  
200915637

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO

COBÁN, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2017

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

### **RECTOR MAGNÍFICO**

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

### **CONSEJO DIRECTIVO**

PRESIDENTE: Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
SECRETARIO: Lcda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj  
REPRESENTANTE DE DOCENTES: Ing. Geól. César Fernando Monterroso Rey  
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES: Br. Fredy Enrique Gereda Milián  
PEM. César Oswaldo Bol Cú

### **COORDINADOR ACADÉMICO**

Ing. Francisco David Ruiz Herrera

### **COORDINADOR DE LA CARRERA**

Ing. Geól. Sergio David Morán Ical

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

COORDINADOR: Ing. Geól. Ricardo Enrique Milián de la Cruz  
SECRETARIO: Ing. Geól. Silvia Friné Cortez Bendfeldt  
VOCAL: Ing. Geól. Luis Alfonso Laj Hun

### **REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO**

Ing. Civil *Msc* Julio Enrique Reynosa Mejía

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

Ing. Geól. Claudia Patricia Muñoz Castro

### **ASESOR**

Ing. Geól. *MSc* Osmín Jared Vásquez Hernández

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX: 79 566 600 Ext. 209  
Guatemala, C. A.  
c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

Ref. 15-CG-01/2017  
16 de enero de 2017

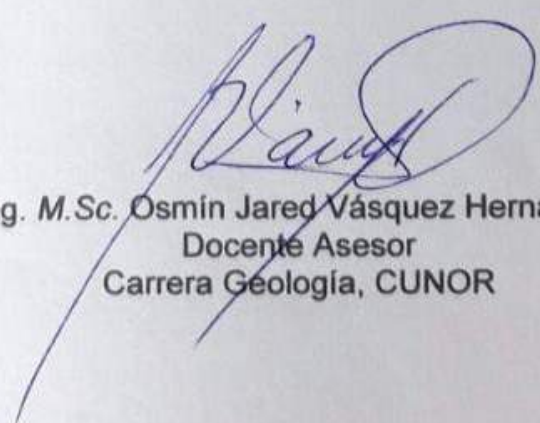
Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEÓL. JOSÉ JUAN OCHOA QUEZADA**, carné n.º **200915637**, titulado: **"ESTUDIO HIDROGEOLOGÍCO E HIDROGEOQUÍMICO DE LA MICROCUECNA DEL RÍO IXTACAPA, CUENCA ALTA DEL RÍO NAHUALATE, SOLOLÁ"**, 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. Osmin Jared Vásquez Hernández  
Docente Asesor  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Ref. 15-CG-172/2017  
29 de mayo de 2017

**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX: 79 566 600 Ext. 209  
Guatemala, C. A.  
c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

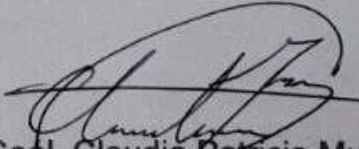
Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEÓL. JOSÉ JUAN OCHOA QUEZADA**, carné n.º **200915637**, titulado: **“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO E HIDROGEOQUÍMICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO IXTACAPA, CUENCA ALTA DEL RÍO NAHUALATE, SOLOLÁ”**, 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. Claudia Patricia Muñoz Castro  
Docente Revisora  
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

PBX: 79 566 600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

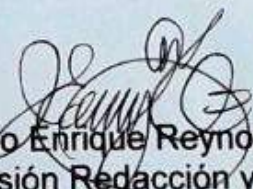
Ref. 15-CG-197/2017  
04 de julio de 2017

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: **“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO E HIDROGEOQUÍMICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO IXTACAPA, CUENCA ALTA DEL RÍO NAHUALATE, SOLOLÁ”**, realizado por el T.U. GEÓL. JOSÉ JUAN OCHOA QUEZADA, carné n.º **200915637**, 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”**

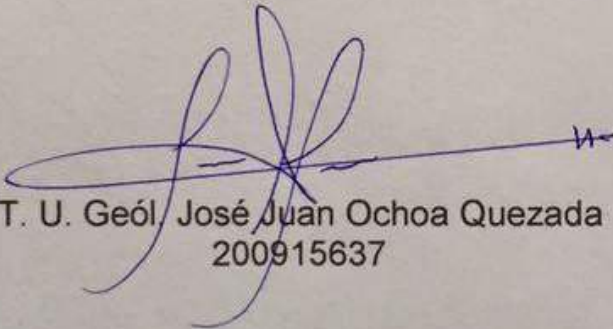
  
Ing. Julio Enrique Reynosa Mejía  
Comisión Redacción y Estilo  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

## HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por el estatus de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO E HIDROGEOQUÍMICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO IXTACAPA, CUENCA ALTA DEL RÍO NAHUALATE, SOLOLÁ, como requisito previo a optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.



T. U. Geól. José Juan Ochoa Quezada  
200915637



## **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** Ser Supremo que me dio la vida, sabiduría y entendimiento para vencer cada obstáculo que en el camino encontré; y finalmente alcanzar una de las metas más soñadas.
- MI MADRE** Enma Quezada, por ser ese ejemplo de lucha, valentía y superación, que con su gran esfuerzo supo enseñarme que la vida se trata de perseverar y nunca rendirse. Que, a pesar del cansancio, los problemas o el trabajo siempre estas a mi lado apoyándome. ¡Gracias MAMI!
- MI PADRE** Hugo Ochoa, que a pesar de la distancia que nos separa siempre estás apoyándome en cualquier momento y hoy te digo misión cumplida. Gracias Pelón.
- MIS HERMANOS** Yensi, Alejandro y Milton, por ser el modelo a seguir, y apoyarme en todo momento.
- MIS TIOS** Chony, Guiller, Menchy, Horacio y Francis. Muy especialmente a Tía Chany, por ser una segunda madre para mí, ayudarme y apoyarme en todo momento; su cariño es incomparable. Gracias por brindarme su hogar durante mis estudios.
- MI SOBRINA** Alejandrita, que me ha convertido en un tío consentidor. Te quiero mucho.
- MIS PRIMOS** Muy especialmente a Claudia, Alejandra y Allan por ese apoyo incondicional que me brindaron siempre.
- Y** LA GLORIOSA Y TRICENTENARIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Mi Alma Mater Y AL CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

Mis amigos y compañeros quinto año 2015, especialmente a los mejores amigos Pablo, Dulce, Guayo, Renato, Quiroa, Cesar, Kevin y Charo, gracias por su amistad, apoyo incondicional y por culminar este viaje de la mejor manera.

Los Ingenieros de la carrera, por compartirme su conocimiento y amistad, en especial a mi asesor Ing. Osmín Vásquez.

Doctor Paul Carrión y Cristhian Sánchez por el apoyo brindado en las revisiones del informe final. Que la distancia no fue impedimento para recibir cada corrección desde Ecuador. Gracias.

Las familias Quezada Aguilar, Cabrera Quezada y Fetzer Leal, por el apoyo y amistad recibida.

Familia Barrios Ramos, Tía Edna y Estuardo por siempre apoyarme e incentivar a seguir adelante.

Mi ECO PC por la hermandad y apoyo. Se les aprecia mis hermanos. Y a EPJ por formar parte de mi vida.

Asociación Vivamos Mejor, por el apoyo incondicional en la realización de este trabajo de investigación realizado en el departamento de Sololá. Muy especialmente a Iván, María, Mateo, Samuel, Chepe y las personas que laboran en Bocacosta por esa amistad que hoy sigue adelante.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	v
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
 <b>CAPÍTULO I</b> <b>INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Justificación	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Variables	4
1.4.1 Dependientes	4
1.4.2 Independientes	4
1.5 Antecedentes	4
1.6 Objetivos	5
1.6.1 General	5
1.6.2 Específicos	6
1.7 Ubicación y extensión del área de estudio	6
1.8 Accesos	8
1.9 Marco geológico regional	8
1.9.1 Estratigrafía	8
1.9.2 Geología estructural	13
1.10 Marco teórico	15
 <b>CAPÍTULO II</b> <b>METODOLOGÍA</b>	
2.1 Marco metodológico	21
2.1.1 Fase de recopilación y análisis bibliográfico	21
2.1.2 Fase de campo	21
2.1.3 Fase de laboratorio	22
2.1.4 Fase de gabinete	22
2.2 Hidrogeoquímica	22
2.3 Hidrogeología	25
2.4 Recarga acuífera	25

### **CAPÍTULO III**

#### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

3.1	Hidroggeoquímica	33
3.1.1	Facies sulfatada cálcica	37
3.1.2	Facies sulfatada cálcica magnésica	37
3.1.3	Facies sulfatada cálcica sódica potásica	38
3.2	Calidad de agua	38
3.2.1	Análisis bacteriológico	39
3.2.2	Análisis geoquímico	40
3.3	Hidrogeología	41
3.3.1	Acuífero A	43
3.3.2	Acuífero B	45
3.3.3	Acuífero C	46
3.4	Recarga acuífera	47
3.4.1	Cálculo del balance hídrico	47
a.	Precipitación	48
b.	Reserva útil	53
c.	Evapotranspiración	55
d.	Excedente	58
3.4.2	Cálculo del coeficiente de infiltración	59
a.	Componente por efecto de pendiente	59
b.	Componente por efecto de cobertura vegetal	60
c.	Componente por efecto de tipo de suelo	61
d.	Coeficiente de infiltración	62
3.4.3	Cálculo de la recarga acuífera	63
3.5	Sistema de abastecimiento para las comunidades	63
3.6	Discusión de resultados	64
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA	73
	ANEXOS	77

### **ÍNDICE DE TABLAS**

		<b>Página</b>
1.	Metodología para cada parámetro	24
2.	Porcentaje de peso en suelo seco	28
3.	Profundidad de raíces	28
4.	Factor pendiente	30
5.	Factor cobertura vegetal	30
6.	Factor tipo de suelo	31
7.	Datos de laboratorio según análisis bacteriológico	40
8.	Concentración de sulfatos en muestra IX-04	41

9.	Clasificación de las unidades hidrogeológicas en base a la permeabilidad	42
10.	Características del acuífero A	44
11.	Características del acuífero B	46
12.	Características del acuífero C	47
13.	Datos precipitación estación Atilán	49
14.	Datos precipitación estación Labor Ovale	49
15.	Datos precipitación estación Mazatenango	50
16.	Datos promedio de las estaciones reales y el factor Pk	51

## ÍNDICE DE FIGURAS Y MAPAS

	<b>Página</b>	
1.	Localización de la microcuenca del río Ixtacapa	7
2.	Secuencia litoestratigráfica de la microcuenca Ixtacapa	9
3.	Mapa del área de Zunil, mostrando los principales volcanes	14
4.	Metodología resumida para el mapa de recarga acuífera	32
5.	Mapa hidrogeoquímico con diagramas de <i>Stiff</i>	35
6.	Diagrama de <i>Piper-Hill-Langelier</i>	36
7.	Balance general hídrico	48
8.	Mapa de estaciones ficticias	52
9.	Mapa de precipitaciones del mes de junio	53
10.	Mapa de reserva útil	54
11.	Diagrama de gradiente térmico	55
12.	Mapa de temperatura	56
13.	Mapa de temperatura reajustado (ETP)	57
14.	Mapa de excedente	58
15.	Mapa de pendientes	59
16.	Mapa de cobertura vegetal	60
17.	Mapa de tipo de suelo	61
18.	Mapa de coeficiente de infiltración	62

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Página</b>	
1.	Recipientes para la toma de muestras	39
2.	Estructura de un tanque de captación	63
3.	Estructura de un tanque de distribución	64



## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

°C	Grados centígrados
°C/m	Grados centígrados por metro
CC	Capacidad de campo
Ci	Coeficiente de infiltración
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
Da	Densidad aparente
ETP	Evapotranspiración potencial
Exc	Excedente
GARICLA	Gestión Ambiental y de Riesgos en la Cuenca del Lago Atitlán
g/cm <sup>3</sup>	Gramo por centímetro cúbico
gal/s	Galones por segundo
i	Índice de calor
IGN	Instituto Geográfico Nacional de Guatemala
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
Kfc	Factor tipo de suelo
Kp	Factor pendiente
Kv	Factor cobertura vegetal
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
m/s	Metro por segundo
ml/s	Mililitro por segundo
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NE	Noreste
OMS	Organización Mundial de la Salud



P	Precipitación
PMP	Punto de marchitez permanente
Pr	Profundidad en raíces
Q	Caudal
RA	Recarga acuífera
RU	Reserva útil
UTM	<i>Universal Transversal Mercator</i>

## RESUMEN

El presente informe contiene la investigación realizada en el departamento de Sololá y da a conocer el estudio efectuado sobre hidrogeología, hidrogeoquímica y recarga acuífera de la microcuenca del río Ixtacapa. Con el fin de determinar las facies hidrogeoquímicas, las zonas de mayor recarga hídrica y las unidades hidrogeológicas.

Se decidió trabajar con las características hidrológicas de una microcuenca, debido a la importancia de conocer cada uno de los parámetros tanto físicos como químicos que posee el agua, todo ello para analizar el tipo de agua y determinar si es apta para el consumo humano o para cualquier otra actividad antropogénica. Además, con las características hidrogeológicas, se puede determinar si la interacción del agua con las rocas proporciona algún cambio químico en la composición del líquido.

Las zonas de recarga hídrica dependen del excedente (balance hídrico) y del coeficiente de infiltración, lo que quiere decir es que se hace una comparación entre los factores que hacen que el agua se infiltre y los que evaporan el agua. Todo ello para realizar un contraste y conocer la cantidad exacta de agua que hay dentro de la microcuenca.

Las facies hidrogeoquímicas identificadas en la microcuenca son tres. Una facies sulfatada cálcica que abarca aproximadamente el 70 % de la superficie total, se ubica al lado oeste de la microcuenca, atravesándola de forma transversal; principalmente en el nacimiento del río Ixtacapa, así como también en los alrededores de las aldeas Palacal, La Ceiba, Pacamaché y Pajocá.

Una facies sulfatada cálcica sódica potásica en un 15 % de la superficie, se ubica espacialmente dentro de la microcuenca al noreste, en las cercanías de las

aldeas Chuituj y Pacanal II, dichos nacimientos abastecen tanto a las comunidades de la microcuenca Ixtacapa como la microcuenca Masá.

La superficie restante pertenece a la facies sulfatada cálcica magnésica, se ubica al sureste de la microcuenca, exactamente en los nacimientos que abastecen a las aldeas Pacanal y Xejuyub; dichas comunidades se encuentran en el límite de las microcuencas de los ríos Ixtacapa y Masá.

Para determinar las unidades hidrogeológicas se observó el tipo y grado de permeabilidad de la roca con respecto a cierta cantidad de agua, se diferencian cuatro grados de permeabilidad: alto, medio, medio-bajo y bajo. Además, se definieron tres tipos de permeabilidad: poroso, fisural y poroso/fisural.

En donde se observa que las unidades que son porosas y con alto grado de permeabilidad se presentan en depósitos aluviales y coluviales, en las zonas con permeabilidad porosa/fisural y de grado bajo se presenta en las unidades riolíticas o andesíticas, que son las unidades más antiguas de la microcuenca.

## **INTRODUCCIÓN**

El trabajo de investigación que se presenta tiene por título ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO IXTACAPA, CUENCA ALTA DEL RÍO NAHUALATE, SOLOLÁ.

El principal objetivo de realizar el trabajo de investigación fue determinar las facies hidrogeoquímicas, así como los ambientes hidrogeológicos y la cantidad de recarga acuífera dentro de la microcuenca mencionada. Todo ello para establecer la calidad de agua con la que las personas de las comunidades se abastecen para sus necesidades básicas; que resultaron ser aguas de tipo sulfatada con variaciones en los cationes siendo cálcicas, cálcicas magnésicas y cálcicas sódico potásicas. Así como también unidades hidrogeológicas de permeabilidad alta, media, media baja y baja.

En el desarrollo se presenta la parte conceptual, donde se especifica el problema, objetivos, justificación, antecedentes y la hipótesis de trabajo con el fin de conocer la problemática del área. Además, la descripción general del área, que incluye la información geográfica y la geológica.

Así también se presentan las actividades realizadas y la metodología utilizada para determinar cada uno de los parámetros requeridos.



# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Planteamiento de problema**

¿Cuáles son las características hidrológicas de la microcuenca del río Ixtacapa y cuál es la calidad del agua de la misma para su posible aprovechamiento?

### **1.2 Justificación**

Debido a que las personas que habitan en las partes bajas de la microcuenca, se abastecen en su totalidad por los ríos Ixtacapa y La Cal, la investigación se centralizó en este punto y debido a que en las observaciones realizadas en el diagnóstico demuestran que no existe un buen uso ni gestión del recurso hídrico.

Las fuentes de abastecimiento del recurso hídrico se encuentran lejos de las comunidades y se necesita mucha inversión económica para distribuir el agua y no se sabe con certeza la calidad que puede tener ésta, esto hace que las comunidades no sean conscientes del valor que tiene ni mucho menos de las consecuencias de la contaminación de las fuentes de abastecimiento.

Con esta investigación se pretendió conocer la situación real, así como también incentivar el estudio de la calidad de agua de los principales afluentes cercanos.

### **1.3 Hipótesis**

En la microcuenca del río Ixtacapa se encuentran unidades hidrogeológicas de permeabilidad por fisuración y permeabilidad por

porosidad granular; y se considera que según el análisis hidroquímico, el agua para uso humano necesita tratamientos previos.

## **1.4 Variables**

### **1.4.1 Dependientes**

Las principales variables, se encuentran definidas por hidrología (calidad del agua e hidrogeología) e hidrogeoquímica (hidráulica y geoquímica).

### **1.4.2 Independientes**

Las variables que se encuentran en este apartado son: litología, clima, geología estructural, química y bacteriología.

## **1.5 Antecedentes**

Por el encuadre geoestructural regional donde se localiza la microcuenca Ixtacapa ha sido incluida en distintas investigaciones relacionadas a la zona de falla Zunil, Caldera Tzanjuyub y Caldera Quetzaltenango.

En 1977, el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) realizó un Informe Preliminar Geológico y Vulcanológico enfocado a la exploración geotérmica a cargo de Edgar Tobías Gutiérrez en el cual se describe el complejo Volcánico Cuaternario. Este informe resalta que Sapper (1925) clasifica los picos Zunil y Santo Tomás como volcanes por su morfología; sin embargo H. Williams (1960) expone ciertas contradicciones y sugiere que solo son formaciones de rocas volcánicas terciarias erosionadas ya que no poseen la forma de un volcán como tal, pese a guardar un patrón de lineaciones con otras estructuras en el cinturón de fuego.<sup>1</sup>

Un año más tarde (1978), Hughes J. realiza la tesis Geología y Petrología de la Caldera Tzanjuyub, en la cual se expone una datación

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Electrificación -INDE-. Proyecto Zunil, estudio de factibilidad preliminar geológico y vulcanológico. Guatemala: Unidad de Planificación Geológica, 1977.

al NE de la microcuenca y caracteriza el Pico Zunil como un domo de Riolita-obsidiana con una edad de 84 068 años  $\pm$  8 871 años. Así mismo describe una serie explosiones durante el Pleistoceno tardío que generarían consigo coladas de lava compuestas por riolitas, dacitas.<sup>2</sup>

En 1980, S. Bonis compiló el mapa geológico Sololá (Hoja 1960 II) a escala 1:50 000 en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala (IGN) y estudiantes del *Dartmouth College*.<sup>3</sup>

En el año 2012 como parte del proyecto Gestión Ambiental y de Riesgos en la Cuenca del Lago Atitlán (GARICLA) L. Nuñez y V. Martínez realizan el “Informe Complementario de la cartografía geológica y geomorfológica (1: 25 000) en la cuenca del Lago de Atitlán”; delimitaron y describieron las unidades que serían más adelante la línea base, para la realización de trabajos como el Informe de la Cartografía geológica y geomorfológica de la microcuenca del río Masá por A. Reiche (2014) que abarca 52 km<sup>2</sup> de área y en su extremo norte se encuentra la Caldera Tzanjuyub, que colinda al NE con la microcuenca Ixtacapa y Caracterización geotemática de la microcuenca Tzozomá por Sergi Paricio (2014) que abarca 45,98 km<sup>2</sup> de superficie.<sup>5</sup>

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 General

Evaluar las características hidrológicas y geoquímicas de las aguas superficiales dentro de la microcuenca Ixtacapa.

---

<sup>2</sup> Hughes, J. *Geology and petrology of Caldera Tzanjuyub, western Guatemala*. New Hampshire, United States of America: Harcourt Brace College Publishers, 1978.

<sup>3</sup> Bonis, S. Mapa geológico de Sololá. (Hoja 1960 II). Escala 1: 50 000 Color.

<sup>4</sup> Nuñez, L., Martínez, V. Informe complementario de la cartografía geológica y geomorfológica (1: 25 000) de la cuenca del lago Atitlán (Guatemala). Sololá, Guatemala: Geólogos del Mundo, 2012.



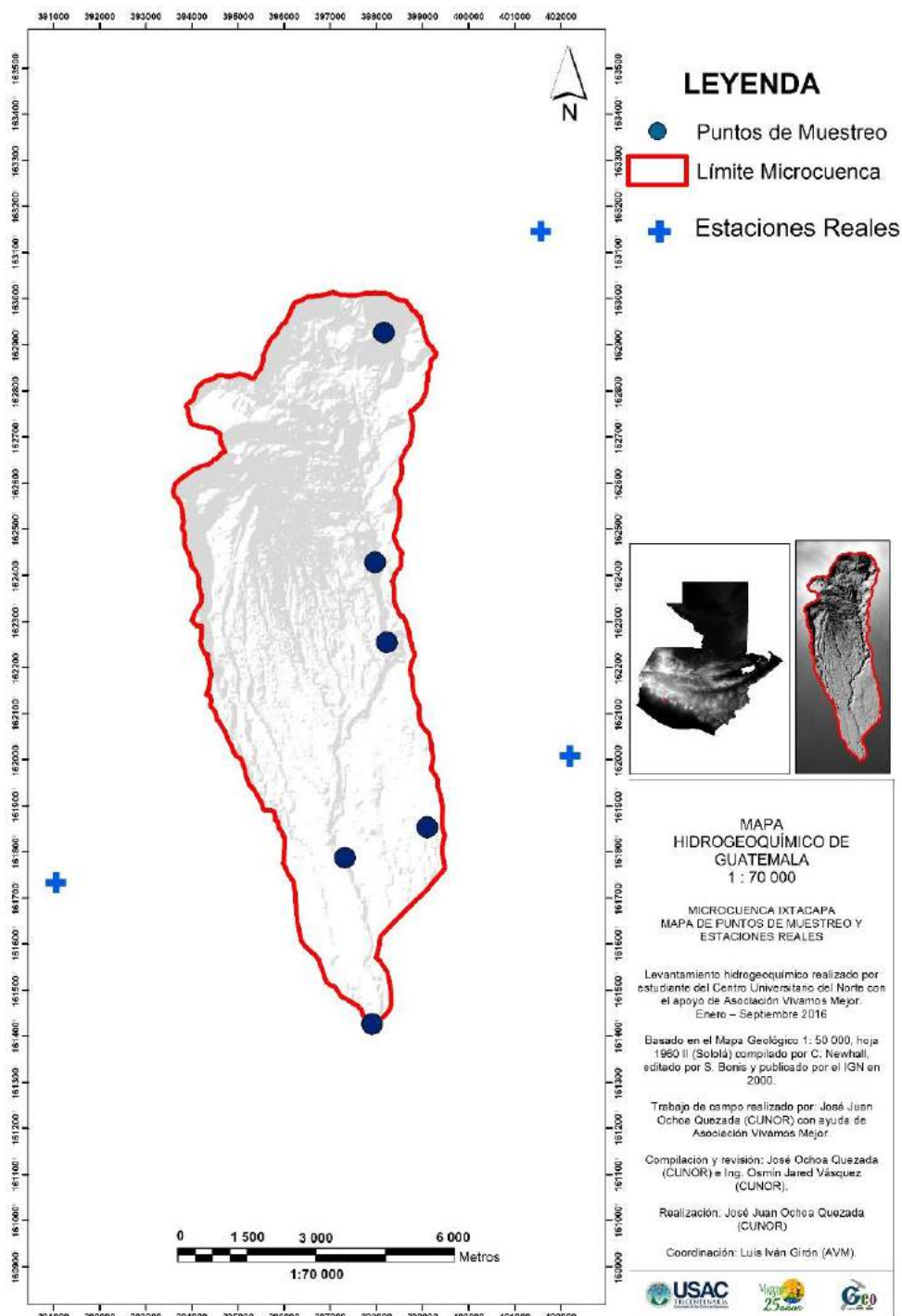
### **1.6.2 Específicos**

- a. Determinar los parámetros físico-químicos del agua que consumen las comunidades dentro de la microcuenca, para establecer si el agua es apta para el consumo humano, según la COGUANOR.
- b. Delimitar las unidades hidrogeológicas para identificar posibles zonas de recarga acuífera.
- c. Establecer el balance hídrico de la microcuenca.
- d. Proponer un sistema de abastecimiento de agua ideal para las comunidades de la microcuenca del río Ixtacapa.

### **1.7 Ubicación y extensión del área de estudio**

La microcuenca posee aproximadamente una superficie de 58 km<sup>2</sup> y varía desde los 680 msnm a los 3 542 msnm. Esta microcuenca forma parte de la vertiente del Pacífico (Figura 1).

**FIGURA 1**  
**LOCALIZACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO**  
**IXTACAPA**



Fuente: Investigación de campo, 2016.

## 1.8 Accesos

Para ingresar al área de estudio se puede realizar específicamente por el municipio de Santo Tomas La Unión; desde este municipio se pueden visitar las comunidades en la microcuenca.

En general, la red vial es escasa y está compuesta principalmente por caminos de segundo orden de terracería que conectan a la mayoría de las comunidades con las poblaciones importantes de flujos económicos. La zona no cuenta con carreteras asfaltadas.

## 1.9 Marco geológico regional

### 1.9.1 Estratigrafía

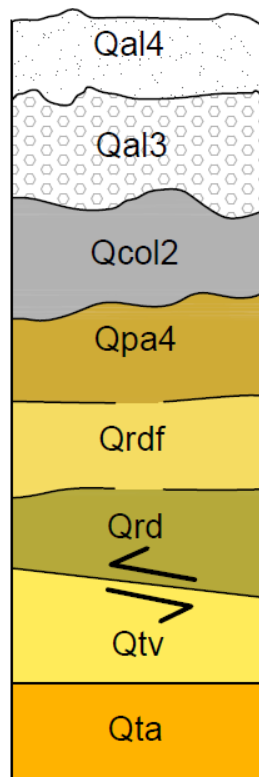
Las características geológicas de la microcuenca Ixtacapa evidencian una secuencia volcánica bien distribuida producto del vulcanismo Terciario y Cuaternario, la cual se encuentra conformada según Bonis S. *et. al.* (1960) por: Depósitos post-erupción Los Chocoyos que en su mayoría afloran al sur, flujos de lavas, lodos y piroclásticos andesíticos que se distribuyen al centro y norte, y depósitos aluviales y coluviales a lo largo del cauce de los ríos Ixtacapa y La Cal.

El arreglo litoestratigráfico de las unidades, incluye la nomenclatura propuesta por Bonis S. *et. al.* (1970), como parte de la correlación litológica de Guatemala.<sup>5</sup> (Figura 2)

---

<sup>5</sup> Bonis, S. Mapa geológico de Sololá. (Hoja 1960 II). Escala 1: 50 000 Color.

**FIGURA 2**  
**SECUENCIA LITOSTRATIGRÁFICA DE LA**  
**MICROCUENCA IXTACAPA**



**Fuente:** modificado de Informe de la cartografía geológica y geomorfológica de la microcuenca del río Ixtacapa, Vivamos Mejor, 2015.

A continuación, se describen las unidades anteriormente identificadas.

**a. Unidades asociadas a depósitos cuaternarios o terciarios no divididos**

Son depósitos compuestos por lavas andesíticas, los cuales han sido producto de fases constructivas del aparato volcánico; dichas lavas suelen ser muy viscosas, con una mineralogía compuesta por plagioclasas, biotita, piroxeno, hornblenda y una matriz de vidrio.

Las andesitas poseen fenocristales en desequilibrio que implican una mezcla de magmas silíceos y máficos. Contienen

abundantes xenolitos de gabros de hornblenda y piroxenos; algunos xenolitos de grano fino y leucogranitos. Se dice que los magmas andesíticos o basálticos han tenido un largo tiempo de residencia en los reservorios (Newhall, 1986).<sup>6</sup>

#### **b. Depósitos volcánicos no divididos (Qtv)**

Son fragmentos volcánicos que según Newhall la describe como una alternancia de depósitos de lava que tienen una composición dacito-andesítica con coladas de lodo y brechas piroclásticas. Las edades de estos materiales son Terciarias y Cuaternarias. No siguen un patrón diferenciado, por lo que se han agrupado como no divididos.<sup>7</sup>

#### **c. Depósitos de domo de Riolíta (Qrd)**

Hughes J. caracterizó el Pico Zunil como un domo de Riolíta, con una edad de 84 068 años  $\pm$  8 871 años, como resultado de las coladas de lava compuestas de riolítas y dacitas dieron lugar a la generación de los depósitos de obsidiana.<sup>8</sup>

Un domo es una estructura volcánica en forma de cúpula que incrementa su tamaño a medida que aumenta la presión interna de los gases, surge como producto de la acumulación de lavas muy viscosas que se emplazan sobre los conductos de emisión de los volcanes.

#### **d. Depósitos volcánicos de domo de lava riolítica (Qrdf)**

Las lavas forman extrusiones que se encuentran en cráteres formados por grandes erupciones explosivas, de coladas riolíticas; es frecuente la presencia de un tipo de lava característico que contiene

---

<sup>6</sup> Newhall, C. G. *Geology of the lake Atitlan area, Guatemala. Dartmouth College, Hanover, United States of America: Harcourt Brace College Publishers, 1980.*

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> Hughes, J. *Geology and petrology of Caldera Tzanjuyub, western Guatemala. New Hampshire, United States of America: Harcourt Brace College Publishers, 1978.*

obsidiana. Se trata de vidrio volcánico con fractura de tipo concoideo de borde muy cortante. (Gutiérrez, M. 2008).<sup>9</sup>

Las lavas riolíticas son muy viscosas por tener un alto contenido de sílice y materiales volátiles, como consecuencia, la lava poco fluida, escurre a través la topografía y alcanza poca distancia; genera así, depósitos de domo que cubre la mayoría de rocas terciarias.

#### **e. Depósitos piroclásticos de caída post-Los Chocoyos (Qpa4)**

Estos depósitos son formados a partir de fragmentos expulsados por erupciones volcánicas, los cuales alcanzan grandes alturas y luego depositados con trayectorias diferentes.

Al ser expulsados, los fragmentos piroclásticos adquieren un movimiento con componente horizontal producto del transporte eólico, el mecanismo es el siguiente: a) Colapso gravitacional simple de un domo o colada sobre un volcán. b) Rotura explosiva de un domo de lava en crecimiento. c) Colapso de la columna de erupción que provoca un relleno topográfico dado a que los flujos tienden a seguir valles o zonas bajas de la topografía.<sup>10</sup>

#### **f. Depósitos coluviales asociados al piedemonte de las laderas (Qcol2)**

Se trata de materiales que se encuentran pobremente clasificados y que a su vez no se encuentran estratificados. Su formación se asocia a la erosión de rocas que se depositan al pie de las laderas, ubicándose en zonas que poseen pendiente entre 10° y

---

<sup>9</sup> Gutiérrez, M. Geomorfología. Madrid, España: Prentice- Hall. 2009.

<sup>10</sup> Hughes, J. *Geology and petrology of Caldera Tzanjuyub, western Guatemala. New Hampshire, United States of America: Harcourt Brace College Publishers, 1978.*

30°. Pueden estar conformados por bloques, cantos, arenas y cenizas.<sup>11</sup>

Estas estructuras de piedemonte se asocian a la unidad de depósitos coluviales, en pendientes aproximadas no mayores a 20°.

**g. Depósitos de terrazas actuales, formados por arcillas, limos, arenas, gravas, cantos y bloques poligénicos (Qal3)**

Las terrazas son plataformas construidas en un valle fluvial a partir de los sedimentos propios del río, estos se depositan a ambos lados del cauce en las zonas donde la pendiente disminuye, con lo que su capacidad de arrastre también disminuye.

Según el mecanismo de sedimentación de las rocas se clasifican en: a) Depósitos en base a terrazas apareadas, se generan cuando la sedimentación se da en ambos lados del cauce; b) Terraza no apareada, donde los materiales sedimentados (Aluvión) no se depositan de forma equitativa ya que depende de la velocidad del cauce, por tanto se deposita en diferentes partes del río, c) Sedimentación en base a la terraza simétrica, este tipo de depósitos son similares a los del inciso a y se depositan de una forma equitativa; d) Sedimentación asimétrica, no se realiza la sedimentación de forma pareja, depende de la topografía.<sup>12</sup>

**h. Depósitos asociados a llanuras de inundación y depósitos de canal reciente (Qal4)**

Su origen se atribuye al crecimiento y decrecimiento de las corrientes de cauces de ríos actuales. Por lo que la erosión hídrica es el factor desencadenante que da lugar a la acumulación del material.

---

<sup>11</sup> Paricio, Sergi. Caracterización geotemática de la microcuenca de Tzozomá. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.

<sup>12</sup> Ibíd.

El aluvión se encuentra asociado a llanuras de inundación que se ubican a lo largo de los bordes de los afluentes, zonas relativamente planas. Los ríos principales que se encuentran en la microcuenca son los ríos La Cal e Ixtacapa.<sup>13</sup>

### 1.9.2 Geología estructural

La microcuenca Ixtacapa se encuentra limitada en su margen noreste por la zona de Falla Zunil y la Caldera Quetzaltenango y en su margen noreste por la Caldera Tzanjuyub.<sup>14</sup>

La zona de falla Zunil, posee tendencias N30°E con predominio *strike-slip* sinistral, se cree que esta zona representa un segmento de la zona de subducción de la placa de Cocos (Stoiber y Carr, 1973).

Esta no es una zona de falla individual sino una familia de fallas de aproximadamente 30 km de ancho, estas fallas están concentradas a lo largo del río Samalá (Figura 3).

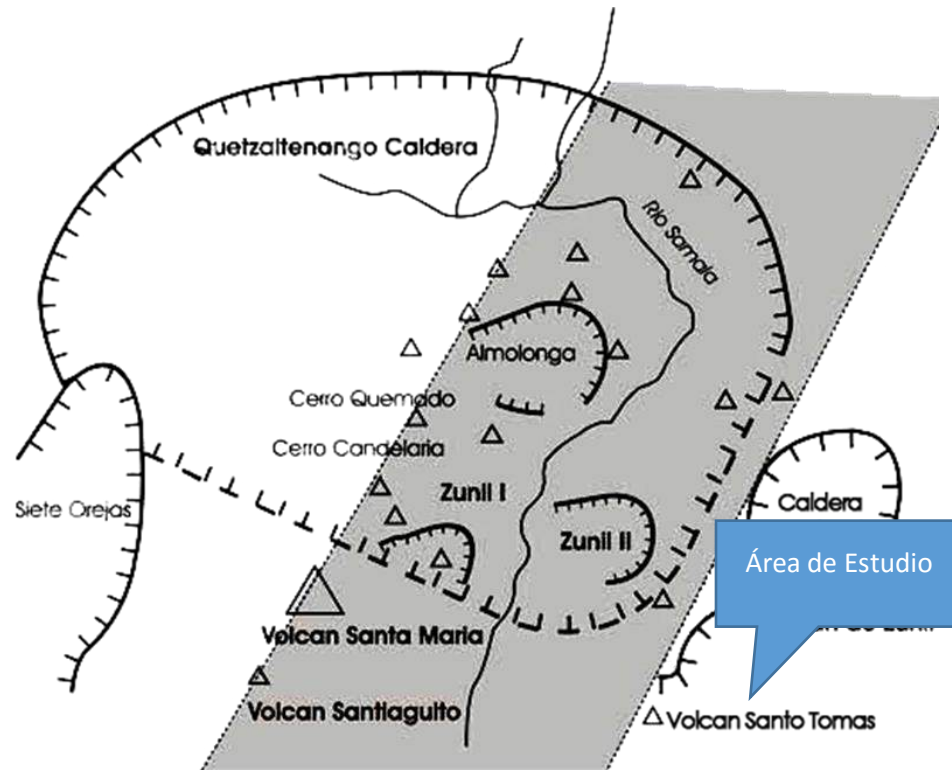
---

<sup>13</sup> Paricio, Sergi. Caracterización geotemática de la microcuenca de Tzozomá. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.

<sup>14</sup> Rose, W. *Et. Al. Quaternary silic pyroclastic deposits of Atitlan caldera, Guatemala. United States of America: Williams and M.J. Carr, 1987.*



**FIGURA 3**  
**MAPA DEL ÁREA DE ZUNIL, MOSTRANDO LOS**  
**PRINCIPALES VOLCANES**



Fuente: Modificado de Asturias. F (2003).

Stoiber y Carr (1973) indican que la Caldera Tzanjuyub es una depresión circular de 4 km de diámetro y se encuentra localizada en la zona límite intersegmentada entre el oeste y centro de la placa segmentada de Guatemala, adyacente a la zona de falla Zunil.

Se considera que los flujos iniciales del pre-colapsado volcán Tzanjuyub, fueron basálticos, a medida que el volcán evolucionó, grandes volúmenes de lavas andesíticas de composición uniforme fueron extruidos, luego del colapso se produjeron una serie de fallas que rodean al volcán, estas son visibles al norte y occidente de la caldera.<sup>15</sup> (Hughes J. 1978)

<sup>15</sup> Hughes, J. *Geology and petrology of Caldera Tzanjuyub, western Guatemala*. New Hampshire, United States of America: Harcourt Brace College Publishers, 1978.

### 1.10 Marco teórico

Para analizar los factores hidrogeológicos de la microcuenca del río Ixtacapa, se necesitan conocer los términos bases a utilizar. Son términos que refieren al estudio de cada una de las características principales correspondientes a la hidrogeología.

**a. Acuífero:** Los acuíferos abastecen a la mayoría de las pequeñas comunidades, proporcionan agua potable. Los acuíferos se caracterizan por contener minerales naturales a concentraciones moderadas a bajas. Los regímenes de circulación del agua subterránea son lineares y el flujo a través de un medio poroso es análogo a la transferencia de calor a través de un medio sólido. Y se le llama así al cuerpo de agua subterránea que acumula y discurre.<sup>16</sup>

**b. Agua:** El agua es uno de los elementos más comunes en la Tierra, no es coincidencia que también se le llame el planeta azul: en estado líquido se halla en lagos, ríos y presas. A su vez en depósitos subterráneos que ocupa los mares y océanos circundantes; en estado gaseoso se presenta como vapor de agua en la atmósfera; en estado sólido cubre las regiones polares y las montañas más altas en forma de hielo o nieve.<sup>17</sup>

• **Aguas superficiales:** Se originan en los acuíferos y manan directamente del suelo.<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Russell, David L. Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico. Barcelona, España: Reverte S.A., 2006.

<sup>17</sup> UNESCO. Agua para Todos, Agua para la Vida. Paris: Primer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2003.

<sup>18</sup> Russell, David L. Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico. Barcelona, España: Reverte S.A., 2006.

• **Aguas pluviales:** Se compone de lluvia, nieve fundida, granizo y otros tipos de precipitaciones atmosféricas.<sup>19</sup>

**c. Campo de velocidad:** Cuando una corriente de fluido se mueve en bloque sobre una pared sólida, el fluido se adhiere al sólido en la interface real existente entre el sólido y el fluido. La adherencia es el resultado de los campos de fuerza.<sup>20</sup>

**d. Conductividad hidráulica:** Es el coeficiente que de manera dependiente afecta la permeabilidad de la capa rocosa.<sup>21</sup>

**e. Hidrología:** Según Dingman (1994), se le llama así a la ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, predice las variaciones espaciales del movimiento del agua en la superficie terrestre. Incluye procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria.<sup>22</sup>

**f. Hidrogeología:** Es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, la circulación y la distribución de las aguas subterráneas, relacionadas con la parte geológica de la región.<sup>23</sup>

**g. Permeabilidad:** Es la capacidad que tiene una roca de permitir el movimiento de fluidos a través de sus poros interconectados. Por lo

---

<sup>19</sup> Russell, David L. Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico. Barcelona, España: Reverte S.A., 2006.

<sup>20</sup> McCabe Warren L. Operaciones básicas de ingeniería química. España: Madrid. Editorial McGraw-Hill, 1985.

<sup>21</sup> Werner, Joerg. Introducción a la Hidrogeología. Nuevo México, México: Facultad de Ciencias de la Tierra, 1996.

<sup>22</sup> Breña Puyol, Agustín. Principios y fundamentos de la hidrología superficial. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2006.

<sup>23</sup> Universidad Politécnica de Cataluña, 2008.

que si los poros de la roca no se encuentran interconectados no puede existir permeabilidad.<sup>24</sup>

**h. Porosidad:** Es la medida donde se toma en cuenta la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee una roca. Y se define como la fracción del volumen total de la roca que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos.<sup>25</sup>

**i. Unidades hidrogeológicas:** Es un cuerpo de roca de extensión considerable que forma parte de un esquema geológico con un sistema hidrológico distintivo, y como unidad fundamental para describir sistemas hidrogeológicos en el campo basada en las propiedades de las rocas que afectan las condiciones del agua subterránea.<sup>26</sup>

Para la hidrogeoquímica, se utilizaron términos que están relacionados con propiedades físicas y químicas de las aguas, así como también de los materiales geológicos que la transportan. Se trata del comportamiento del contacto con otras sustancias. Los principales conocimientos son:

**a. Anión:** Es un ión con carga negativa.

**b. Cation:** Es un ión con carga positiva.

**c. Conductividad eléctrica:** Es la capacidad que posee un cuerpo, en este caso el agua, de dejar pasar la electricidad. Esto se debe al porcentaje de salinidad.

---

<sup>24</sup> Werner, Joerg. Introducción a la Hidrogeología. Nuevo México, México: Facultad de Ciencias de la Tierra, 1996.

<sup>25</sup> *Ibíd.*

<sup>26</sup> *Ibíd.*

- d. Hidrogeoquímica:** Es la disciplina que estudia las características químicas del agua superficial o subterránea en contacto con un medio geológico.<sup>27</sup>
- e. Ion:** Es un átomo o un grupo de átomos que ya sea por la circunstancia de haber perdido o ganado electrones se sumaron una carga eléctrica.<sup>28</sup>
- f. pH:** Es un coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.<sup>29</sup>
- g. Temperatura:** La temperatura es una medida del calor o frío de un objeto. De hecho, la temperatura es una propiedad física que determina la dirección del flujo de calor. El calor siempre fluye de manera espontánea de una sustancia de mayor temperatura, hacia otra de menor temperatura. De este modo se siente el influjo del calor cuando se toca un objeto caliente y se establece que ese objeto está a mayor temperatura que la mano, por ejemplo.<sup>30</sup>
- h. Mapas hidrogeoquímicos:** Consisten en trazar isolíneas sobre los valores de un ión determinado colocados sobre un mapa. También pueden representarse los mapas de isolíneas de alguna relación hidrogeoquímica.<sup>31</sup>

---

<sup>27</sup> Fagundo, Juan. Hidrogeoquímica. La Habana, Cuba: Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional, 2005.

<sup>28</sup> Brown, Theodore. Química, la ciencia central. México: Pearson Educatio, 2009.

<sup>29</sup> Ibíd.

<sup>30</sup> Ibíd.

<sup>31</sup> Fagundo, Juan. Hidrogeoquímica. La Habana, Cuba: Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional, 2005.

Para el balance hídrico de la microcuenca, se deben conocer diferentes parámetros a tomar en cuenta en la investigación. Los términos que mejor refieren el balance de la microcuenca y que son de gran importancia para el conocimiento de la misma son:

- a. Balance:** Es un equilibrio.<sup>32</sup>
- b. Balance hídrico:** Es un análisis de los aportes y pérdidas de agua para un periodo determinado de tiempo que toma en cuenta la constitución de reservas y las extracciones posteriores a estas. Por lo tanto, se considera que la cantidad de entradas y salidas de aguas es igual al incremento del almacenamiento de agua.<sup>33</sup>
- c. Evapotranspiración potencial:** Es definida como el poder de la atmósfera de evaporar, lo que depende en primer lugar de la temperatura. Se calcula en base a parámetros climáticos.<sup>34</sup>
- d. Hietograma:** Es la representación en barras de la variación de la altura de lluvia o de la intensidad de la lluvia en el tiempo.<sup>35</sup>
- e. Infiltración:** Es la cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno por unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo.<sup>36</sup>
- f. Precipitación:** Desde el punto de vista de la meteorología, se le llama a la caída de agua sólida o líquida debido a la

---

<sup>32</sup> Paricio, S. Informe hidrogeológico y de recarga acuífera de la microcuenca de Tzozomá (Guatemala). Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.

<sup>33</sup> *Ibíd.*

<sup>34</sup> Werner, Joerg. Introducción a la Hidrogeología. Nuevo México, México: Facultad de Ciencias de la Tierra, 1996.

<sup>35</sup> Breña Puyol, Agustín. Principios y fundamentos de la hidrología superficial. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2006.

<sup>36</sup> *Ibíd.*

condensación del vapor sobre la superficie de la corteza terrestre.<sup>37</sup>

**g. Transmisividad hidráulica:** Se le llama así al caudal de agua, que pasa por la unidad de anchura del acuífero bajo un gradiente unitario y describe propiedades tanto de la fase sólida como de la fase líquida del acuífero.<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> Breña Puyol, Agustín. Principios y fundamentos de la hidrología superficial. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2006.

<sup>38</sup> Werner, Joerg. Introducción a la Hidrogeología. Nuevo México, México: Facultad de Ciencias de la Tierra, 1996.

## CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Marco metodológico

#### 2.1.1 Fase de recopilación y análisis bibliográfico

Se llevó a cabo previo al inicio de la investigación para conocer sobre el tema y situaciones relacionadas con el área de trabajo. Los materiales usados para esta fase fueron: estudios hidrogeológicos, geológicos y geomorfológicos anteriores realizados en la cuenca o cuencas cercanas. Así como también mapa geológico de microcuenca Ixtacapa (1:25 000), mapa geomorfológico (1:25 000), mapa topográfico de microcuenca Ixtacapa, modelo digital del terreno de microcuenca Ixtacapa, ortofotos a escala 1:10 000 y anáglifos.

#### 2.1.2 Fase de campo

Para la fase de campo se inició con el inventario de puntos de agua esto con la coordinación de técnicos de campo y líderes de las comunidades para el acompañamiento en campo a los puntos y nacimientos de agua (6 puntos). Así también se realizó la visita; y se inició con la recolección de parámetros y datos físico-químicos *in situ*. Luego se elaboró la *check list* de puntos de agua con las características básicas de cada uno, para el inventariado. Se llevó a cabo la digitalización y georeferenciación de la información de las fichas de puntos de agua y elaboración de *shapes* para manejo de dicha información en Sistemas de Información Geográfica.



### **2.1.3 Fase de laboratorio**

Para la fase de laboratorio, ya que se trataban de muestras de agua para conocer la calidad de las mismas, se enviaron a ECOQUIMSA, para el análisis de los parámetros indicados en la tabla 1.

### **2.1.4 Fase de gabinete**

En ésta se procedió con la organización, estructuración e interpretación de los datos obtenidos. Con ellos se construyeron tres mapas diferentes: hidrogeoquímica, hidrogeología y de recarga acuífera.

Con base a la recarga acuífera, se realizaron diferentes mapas temáticos para llegar a los resultados finales.

Con el fin de encontrar el coeficiente de infiltración y el excedente de humedad se obtuvieron mapas de temperatura promedio, precipitación promedio, uso del suelo, taxonomía de los suelos, geología y pendientes.

Con extensiones de ArcGIS se definió el modelo final de recarga acuífera, se localizaron así los lugares óptimos para la recolección de agua. Ya sea con pozos artesanales o pozos con bomba de agua para abastecer a las comunidades aledañas.

## **2.2 Hidrogeoquímica (Metodología GARICLA, Geólogos del Mundo)**

Se realizó la planificación de la campaña de muestreo de aguas superficiales en función de los siguientes criterios: número de muestras representativas en cada unidad hidrogeológica, distancia entre las muestras (otorgando separaciones mínimas entre ellas, mediante una distribución que cubran representativamente cada unidad), nacimientos más representativos o característicos en cada unidad, caudal (cantidad

de agua por un tiempo definido), uso (se priorizan los nacimientos para abastecimiento), posibilidad y acceso para la toma de muestra, etc.

Luego se realizó la coordinación con los técnicos de campo y líderes de la comunidad para el acompañamiento durante el trabajo de campo a los puntos y nacimientos de agua.

Se realizó la medición de aquellos parámetros en campo (*in-situ*) que pueden sufrir variación desde la toma de la muestra hasta su entrega en laboratorio: temperatura, pH, conductividad eléctrica con multímetro proporcionado por Asociación Vivamos Mejor.

Toma de muestras. Las muestras se recolectaron en envases nuevos de polietileno, con tapa y contratapa; brindados por ECOQUIMSA, laboratorio donde se realizó el análisis. Durante la toma de la muestra se enjuagó el envase con agua del punto a muestrear (un mínimo de tres veces) y se procedió al etiquetado (código de tres letras seguido de tres números consecutivos, según el orden de muestreo), con el fin de llevar un control sistemático del muestreo. Al finalizar la recolección de cada muestra, se guardó en una hielera portátil a una temperatura menor a 4 °C, antes de transcurridas 24 h desde su recolección.

Los procedimientos de análisis de laboratorio, cumplen con las normas del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012 (APHA, AWWA, WEF)*. En la tabla 1 se presenta la metodología utilizada por el laboratorio para cada una de las muestras de agua a recolectar.

**TABLA 1**  
**METODOLOGÍA PARA CADA PARAMETRO**

<b>Parámetro</b>	<b>Metodología</b>
<b>Parámetros físico-químicos</b>	
<b>Iones fundamentales</b>	
Calcio	STM-3111B
Sodio	STM 3111 B
Magnesio	STM 3111 B
Potasio	Preparación: STM 3030 E Preparación: STM 3111 B
Cloruros	<i>Spectroquant</i> ® Merck 14897 ~ STM 4500 CL-E
Sulfatos	<i>Spectroquant</i> ® Merck 14789
Bicarbonatos	STM 2320 B
Nitratos	<i>Spectroquant</i> ® Merck 14773
<b>Iones menores</b>	
Hierro	STM 3111 B
Aluminio	<i>Spectroquant</i> ® Merck 14825
Amonio	<i>Spectroquant</i> ® Merck 14752
Nitritos	<i>Spectroquant</i> ® Merck 14776
Fosfatos	<i>Spectroquant</i> ® Merck 14848
<b>Características físicas</b>	
Conductividad	STM 2510 B
Color	STM 2120 B
Dureza	STM 2340 B
Olor	Organoléptico
pH	STM 3210 A
Turbiedad	STM 2130 B
<b>Parámetros microbiológicos</b>	
Coliformes totales	STM 9222 B
Escherichia coli	STM 9222 B

**Fuente:** Laboratorio ECOQUIMSA-cotización EQ160237-A, 2016.

Por último, se realizó el tratamiento e interpretación de los resultados de los análisis físico-químicos (elaboración de diagramas de *Piper-Hill-Langelier* diagramas de *Stiff, shapes*) y la elaboración de mapa isoquímico.

### 2.3 Hidrogeología (Metodología GARICLA, Geólogos del Mundo)

Para la caracterización hidrogeológica de los materiales se realizó la localización en el contexto geológico y morfoestructural de la microcuenca. Para ello se hizo un análisis estructural: estudio de fallas (lineamientos), zonas de fractura, zonas de desgaste y estructura de la microcuenca. Se hizo la agrupación de litofacies geológicas en las cuales tienen propiedades hidrogeológicas similares.

Se realizó el análisis e interpretación de toda la información; desde la fase de recolección bibliográfica hasta los últimos resultados obtenidos en el laboratorio en contraste con la geología de la región.

Para complementar la hidrogeología se procedió a realizar una prueba de filtración, se tomó 1 L de agua y se vertió en la unidad litológica para determinar el tiempo en la cual la roca absorbía el líquido. A su vez se observó la forma en como el agua se filtraba en la roca. Se basó en la [metodología utilizada en el modelamiento geoestadístico de los depósitos fluviales de la Zona C-Formación Mugrosa del Campo La Cira la cual fue modificada por](#) Laura Nuñez (Geólogos del Mundo, 2012) en el informe hidrogeológico y de recarga acuífera de la microcuenca de la cuenca del lago Atitlán, como complemento a los datos teóricos.

Ya que los datos obtenidos fueron en base a la geología de la región en relación a tablas de datos teóricos, se procedió a utilizar la metodología presentada anteriormente, como fundamento para aceptar los datos teóricos y tener una mejor descripción de los acuíferos dentro de la microcuenca.

Luego de tener los datos finales se hizo la transferencia de datos a una base topográfica digital. Se elaboró así, la cartografía hidrogeológica.

## **2.4 Recarga acuífera (Metodología GARICLA, Geólogos del Mundo)**

Esta se determinó a partir de la variabilidad espacial y los parámetros meteorológicos. Para su cálculo se deben obtener los valores de excedente de agua mensual, a partir del balance hídrico de la microcuenca y los del coeficiente de infiltración del terreno. El balance hídrico se desarrolló según la metodología de Thornthwaite (1955). El cálculo del coeficiente de infiltración se calculó según la metodología de Schonsinsky y Losilla (2000) modificada por FORGAES (MARN 2006; El Salvador).

Para el cálculo del balance hídrico se requirió la precipitación, la reserva útil, la evapotranspiración y el excedente. Para la precipitación se utilizaron los datos de la estación de Vivamos Mejor en Santo Tomas La Unión. Así como también las estaciones meteorológicas Labor Ovalle, Santiago Atitlán y Mazatenango (INSIVUMEH).

Se obtuvo el mapa de isoyetas de precipitación media anual, para realizar su cálculo es necesario disponer de una serie de estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio o en sus proximidades con un registro lo más extenso y completo posible; sobre ellas se crearon estaciones ficticias (que se obtienen de la interpolación de las tres principales estaciones con datos reales) y los valores fueron tomados desde que la estación empezó a funcionar. Se obtuvieron los valores de precipitación media y el factor mensual (Pk).

La metodología de sobre las estaciones ficticias se obtuvo de una modificación realizada de La Evaluación de los Recursos en el Libro Blanco del Agua en España (Teodoro Estrela Monreal) adaptada para el informe hidrogeológico y de recarga acuífera de la microcuenca de Tzozomá realizado por Sergi Paricio en el año 2013.

Dichas estaciones ficticias se obtienen para tener un mejor registro de la precipitación dentro de la microcuenca debido a que en el

área no existe una estación real como tal. Además, sirve para dar una idea de la distribución tanto de las isoyetas como los datos que se manejan en el INSIVUMEH y como se encuentran proyectadas por toda el área de estudio.

La cantidad de estas estaciones depende del área de la microcuenca, así como también de la perspectiva de la persona que realiza el estudio.

Se obtuvieron los valores de precipitación media y el factor mensual (Pk), como se indicó anteriormente y se tomó mayo de ese año pues hubo mayor precipitación.

Debido a que la recarga acuífera depende de valores importantes como la precipitación, se recomienda trabajar con el valor más alto para ver la capacidad máxima de infiltración y de excedente de humedad (factores de ganancia y pérdida de humedad). Todo ello permite recrear en los mapas los valores de pendientes de dicho valor.

El valor Pk se obtiene de:

$$Pk = \frac{\text{Precipitación media mensual}}{\text{Precipitación anual total}}$$

Finalmente, el factor Pk mensual obtenido es multiplicado por el valor de precipitación media anual de cada isoyeta para obtener un valor de precipitación mensual para cada estación ficticia.

Para la reserva útil se realizó mediante el cálculo siguiente:

$$RU = \frac{(CC - PPM)}{100} * Da * Pr * 10$$

Donde RU es la reserva útil, CC es la capacidad de campo, en porcentaje por peso de suelo seco; PMP es el punto de marchitez permanente, en porcentaje por peso de suelo seco, Da es la densidad aparente y Pr es la profundidad de las raíces.

El valor de la reserva útil es complejo obtener y, dentro de los cálculos realizados, es el dato de mayor debilidad debido a la ausencia de información de calidad en lo que respecta a las características de los suelos de la zona de estudio. Se cuenta con los datos de CC y PMP obtenidos del Estudio Semidetallado de Suelos de Sololá (MAGA-IGAC; 2013).

Una vez correlacionados los valores con la textura de los suelos de la microcuenca estos se han contrastado con valores teóricos encontrados (ver tabla 2).

**TABLA 2**  
**PORCENTAJE DE PESO EN SUELO SECO**

TEXTURA DE SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	PMP (%)	CC (%)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Arenosa	2-6	6-12	1,55-1,80
Franco-arenosa	4-8	10-18	1,40-1,60
Franca	8-12	18-26	1,35-1,50
Franca-arcillosa	11-15	23-31	1,30-1,40
Arcillo-arenosa	13-17	27-31	1,25-1,35
Arcillosa	5-19	31-39	1,20-1,30

**Fuente:** Valores Bibliográficos, Grassi; 1976.

La profundidad de las raíces también es un dato complejo de obtener. En este caso también se tomaron datos bibliográficos en función del tipo de uso de suelo (ver tabla 3).

**TABLA 3**  
**PROFUNDIDAD DE RAÍCES**

USO DE SUELO	Profundidad de raíces (cm)
Bosque	200
Bosque-cultivos anuales	75
Pasto	40
Cultivos anuales y hortalizas	40
Matorrales	75
Bosque- café	75

**Fuente:** Valores Bibliográficos, Grassi; 1976.

Para la evapotranspiración se utilizó la expresión siguiente:

$$ETP = 16 * \left( \frac{N}{12} \right) * \left( \frac{d}{30} \right) * \left( \frac{10t}{1} \right)^a$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial en mm; N es el número máximo de horas reales de sol en función de la latitud en horas; d es el número de días del mes; t es la temperatura media mensual en grados centígrados.

Los valores correspondientes al número máximo de horas reales de sol se extrajeron del Estudio Hidrogeológico y de Recarga realizado por Geólogos del Mundo en el año 2013.

Para calcular el excedente se aplicó la siguiente fórmula:

$$Exc = P - ETP - \Delta RU$$

Donde Exc es el excedente hídrico (balance hídrico) en mm; P es la precipitación en mm; ETP es la evapotranspiración potencial y RU es el incremento de la reserva útil en mm.

Para el cálculo del coeficiente de infiltración se necesitaron obtener tres capas diferentes de la microcuenca. Se inició por la capa de pendientes, luego la capa de cobertura vegetal y finalmente la capa de geología. Estas capas deben de sumarse para obtener el mapa de coeficiente de infiltración. Cada una de las fórmulas a utilizar fueron obtenidas del informe hidrogeológico y de recarga acuífera de la microcuenca de Tzozomá y de la cuenca del lago Atitlán propuesto por Geólogos del Mundo (Sergi Paricio y Laura Nuñez).

Con respecto a la capa de pendientes se realizó en base al modelo de elevación digital y se clasificó en 6 rangos diferentes establecidos en la tabla 4. Seguidamente se le asoció el valor correspondiente de factor pendiente (Kp).



**TABLA 4**  
**FACTOR PENDIENTE (Kp)**

Pendiente (%)	Factor Kp
0 – 1	0,40
1 – 15	0,15
15 – 30	0,10
30 – 50	0,07
50 – 70	0,05
> 70	0,01

**Fuente:** Hernández M.A. *et al.*; 2013

Con respecto a la cobertura vegetal se calculó en función del mapa de usos del suelo del departamento de Sololá elaborado por MAGA en el año 2010. A cada uso de suelo se le ha asignado un valor de factor cobertura vegetal (Kv).

En la tabla 5 se presenta el tipo de cobertura vegetal y su respectivo valor.

**TABLA 5**  
**FACTOR COBERTURA VEGETAL (Kv)**

Tipo de cobertura vegetal	Factor Kv
Pasto natural, zonas urbanas discontinuas, caña, granos básicos.	0,10
Coníferas, palmeras, zona urbana verde.	0,15
Vegetación arbustiva, platanales.	0,18
Bosque de café y banano.	0,19
Bosque.	0,20

**Fuente:** Modificado de Hernández M.A. *et al.*; 2013.

Para el factor tipo de suelo se calculó en función de la textura del suelo y de la geología. La textura del suelo se determinó para los primeros 30 cm de profundidad, al ser este espesor el que tiene una mayor incidencia en la capacidad de infiltración durante la lluvia. En la tabla 6 se presenta el factor tipo de suelo y su valor factor tipo de suelo (Kfc).

**TABLA 6**  
**FACTOR TIPO DE SUELO (Kfc)**

Tipo de suelo / Geología	Factor Kfc
Suelos arcillosos, latosoles de altura, zonas urbanas, suelos o rocas compactas e impermeables	0,10
Suelos de combinación de limo y arcilla. Litosoles y regosoles de valle.	0,15
Suelos arenosos recientes, suelos de cauces de ríos, suelos no muy compactos, zonas con muchas fallas	0,20

**Fuente:** Hernández M.A. et al.; 2013.

Para calcular el coeficiente de infiltración se calcula a partir de la suma de los tres factores determinantes. La fórmula del cálculo es la siguiente.

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

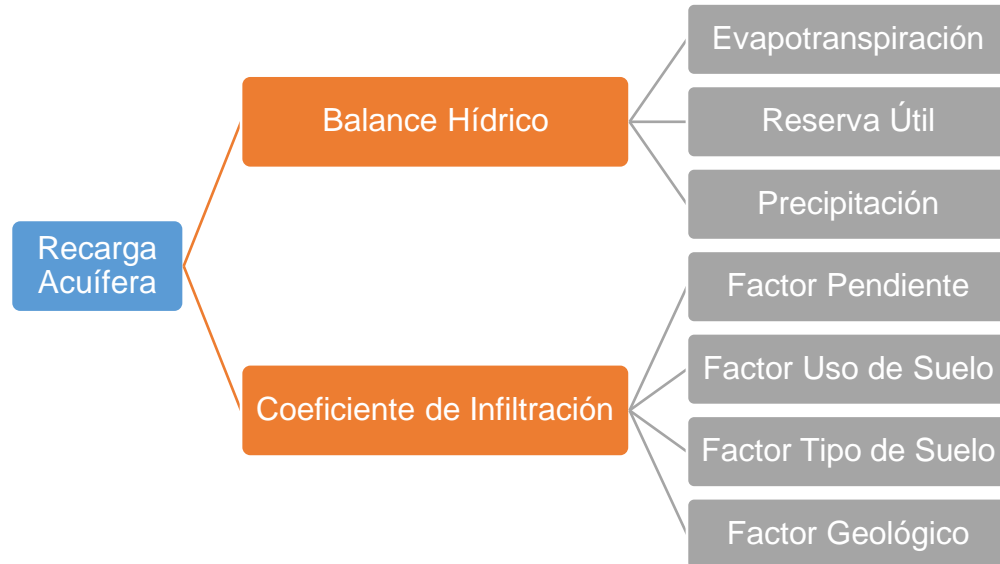
Donde  $C_i$  es el coeficiente de infiltración;  $K_p$  componente por efecto de la pendiente;  $K_v$  componente de la cobertura vegetal y  $K_{fc}$  componente del tipo de suelo.

Por último, el mapa de recarga acuífera se generó a partir de la suma del coeficiente de infiltración y el balance hídrico de la microcuenca, mediante la fórmula siguiente:

$$RA = Exc * C_i$$

Donde RA es la recarga acuífera en mm; Exc se define como el excedente en mm y  $C_i$  es el coeficiente de infiltración. Para resumir de una mejor manera se presenta la figura 4.

**FIGURA 4**  
**METODOLOGÍA RESUMIDA PARA EL MAPA DE**  
**RECARGA ACUIFERA**



**Fuente:** Elaboración de campo, 2016.

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1 Hidrogeoquímica**

La caracterización hidrogeoquímica tiene como objetivo determinar la relación entre el medio geológico y el agua que circula por cada unidad. Por tanto, el análisis físico-químico del agua permite conocer el comportamiento del flujo en el subsuelo, también la interacción con los elementos geológicos, así como las áreas de recarga, descarga y tránsito de las mismas en toda el área (Paricio, S. 2014).<sup>39</sup>

En este aspecto, se debe considerar que las condiciones químicas naturales pueden verse modificadas por las actividades antrópicas que se desarrollen dentro del área de estudio.

Los principales factores que pueden condicionar la composición del agua subterránea son: la naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, así como en la superficie y duración del contacto (tiempo de interacción), temperatura, presión, presencia de gases y grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables, entre otros factores.

Aunque la composición promedio del agua subterránea suele considerarse como invariable en un acuífero, no se debe olvidar que las interacciones agua-medio, que determinan la composición, son procesos dinámicos que se desarrollan a diferente ritmo, tanto en el espacio como en el tiempo.

---

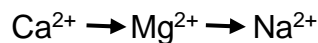
<sup>39</sup> Paricio, Sergi. Caracterización geotemática de la microcuenca de Tzozomá. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.

En el informe de la cartografía hidrogeológica y de recarga presentada por Sergi Paricio en el año 2013 presenta que la composición del agua debe contemplarse la variación espacio-temporal. El agua que circula a nivel regional presenta una mayor mineralización que una específica, al saturarse en los diferentes iones.



La secuencia indica que las aguas que circulan menos tiempo circulando en el acuífero son, generalmente, bicarbonatadas y que, mientras más tiempo permanece en contacto, se vuelven aguas más salinas y por tanto, son cloruradas.

En cuanto a los cationes, la secuencia no es tan específica y es mayor el número de excepciones, pero en general la secuencia es la siguiente:



Se debe considerar que la secuencia anterior puede ser afectada por diferentes factores, tales como fenómenos sucesivos de precipitación-disolución, así como también los efectos de intercambio iónico, la reducción de sulfatos y por supuesto la influencia de la litología predominante (geología). La secuencia inicial es calcio luego magnesio y por último sodio.<sup>40</sup>

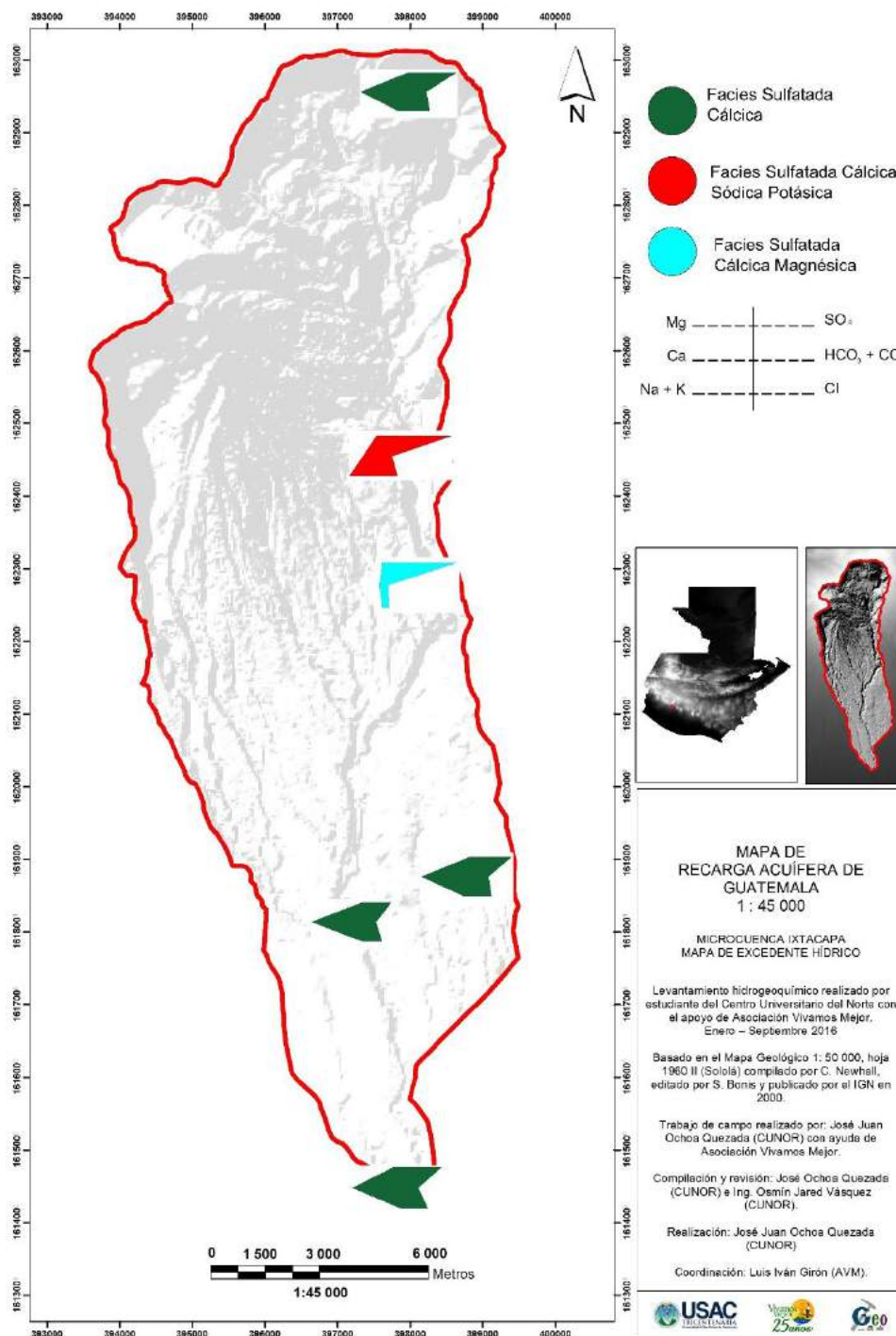
La determinación de las propiedades físico-químicas del agua en la microcuenca del río Ixtacapa, constituye una herramienta indispensable y de gran importancia para el estudio hidrogeológico de la misma. Dicha caracterización proporciona la información básica sobre las condiciones naturales por donde circula el agua subterránea, así como la relación entre ambos.

---

<sup>40</sup> Breña Puyol, Agustín. Principios y fundamentos de la hidrología superficial. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2006.

En la figura 5 se presenta el mapa de la microcuenca Ixtacapa con cada uno de los diagramas de *stiff* correspondientes a las muestras tomadas en campo.

**FIGURA 5**  
**MAPA HIDROGEOQUÍMICO CON DIAGRAMAS DE STIFF**



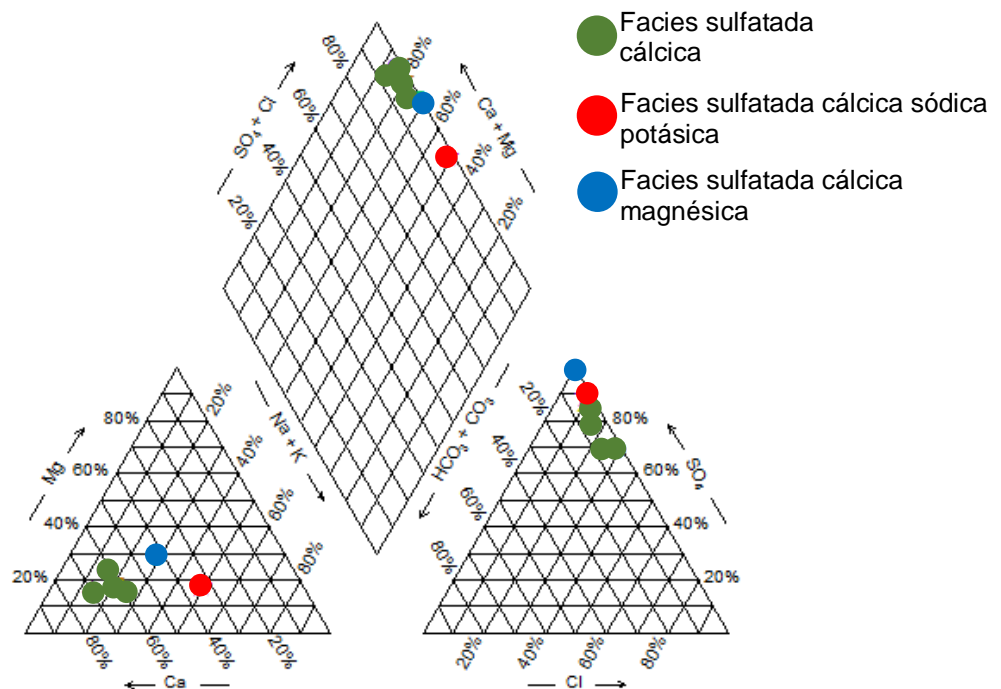
Fuente: Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

La variedad de los componentes y las características fisicoquímicas del agua de la microcuenca del río Ixtacapa exige su clasificación en diferentes facies, esto con el fin de obtener una información breve y sencilla sobre la composición química y su comportamiento a lo largo de la microcuenca.

En general, se observa que las diferentes unidades hidrogeológicas dan lugar a diferentes tipos de aguas. Éstas se pueden agrupar en 3 facies de aguas que poseen características hidrogeoquímicas similares y que, por tanto, pueden ser asociadas a un mismo acuífero.

En la figura 6 se presentan los tipos de agua que existen en la microcuenca, en base a todas las características químicas medidas respectivamente para cada muestra.

**FIGURA 6**  
**DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LAGELIER**



**Fuente:** Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

A continuación, se describe las características de estos grupos de aguas:

### **3.1.1 Facies sulfatada cálcica**

Se trata de aguas tipo sulfatadas del sur de la microcuenca, sobre la unidad de depósitos volcánicos no divididos de la parte baja. Se localizan en la zona de recarga hídrica de la parte sur de la microcuenca; son, por tanto, aguas procedentes de un acuífero local fisurado, el cual posee un corto recorrido subterráneo, por lo que han permanecido poco tiempo en contacto con la unidad litoestratigráfica con la que se relaciona, dando como resultado aguas con bajos contenidos en sales (Paricio, S. 2014).<sup>42</sup> En este grupo se distinguen:

Aguas sulfatadas cálcicas que provienen de la acumulación de las aguas que poseen más tiempo de estar acumuladas en profundidad, pero que al presentar mayor tiempo de recorrido en contacto con la roca se han cargado ligeramente de sales y evolucionó según la secuencia iónica natural.

Aguas tipo sulfatadas cloruradas con un pequeño porcentaje de contenido en cloruros en relación a las otras 2 muestras de la microcuenca, lo que se puede explicar un proceso de afección por abonos agrícolas.

### **3.1.2 Facies sulfatada cálcica magnésica**

Se trata de las aguas procedentes del acuífero aluvial (lluvias en la región) superficial de la zona noroccidental de la microcuenca.

Estas aguas poseen concentraciones relativamente altas en sales, ya que se trata de aguas que han sufrido un largo tiempo de recorrido en contacto con la roca. Son aguas muy similares a las del

---

<sup>42</sup> Paricio, Sergi. Caracterización geotemática de la microcuenca de Tzozomá. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.



grupo anterior; sin embargo, por el mayor recorrido de éstas ha conducido el proceso catiónico natural hasta la fase magnésico-cálcico (Paricio, S. 2014)<sup>43</sup>.

Es donde descargan todas las aguas de la microcuenca y se encuentran conectadas con un acuífero profundo, por lo que esta masa de agua posee una mezcla de todas las aguas anteriores. Al ser aguas con un largo recorrido presentan altos contenido en sales.

### **3.1.3 Facies sulfatada cálcica sódica potásica**

Se trata de aguas de tipo sulfatada cálcica sódica las cuales atraviesan las formaciones andesíticas ubicadas al norte y parte central de la microcuenca a través de fisuras.

Estas aguas son muy poco salinas y en ellas predomina el sodio. En general, las aguas que provienen de estos ambientes tienen bajo contenido en cloruros y sulfatos; sin embargo, las aguas procedentes de estos ambientes son aguas tipo sulfatadas. El alto contenido en sulfatos se puede explicar ya que existe oxidación en algunos minerales (Paricio, S. 2014).<sup>44</sup>

## **3.2 Calidad de agua**

Se refiere a todas las características que engloba el agua, incluye los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y biológicos.

Para la determinación de la calidad se visitaron los puntos de agua donde se obtuvieron las muestras. En la fotografía 1 se observa la forma y recipientes donde se recolectaron las muestras de agua para su análisis.

---

<sup>43</sup> Paricio, Sergi. Caracterización geotemática de la microcuenca de Tzozomá. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.

<sup>44</sup> *Ibíd.*

## FOTOGRAFÍA 1 RECIPIENTES PARA LA TOMA DE MUESTRAS



Tomada por: Jose Juan Ochoa Quezada, 2016.

### 3.2.1 Análisis bacteriológico

La determinación de la calidad bacteriológica del agua para el consumo humano reviste gran importancia en el ámbito de la salud pública ya que garantiza la inocuidad del agua y evita epidemias gastrointestinales específicamente en niños de las comunidades de la microcuenca Ixtacapa.

Según la guía para la calidad de agua potable que la OMS publicó en el año 2006, informa que el total de las bacterias coliformes que se encuentran pueden incluir una gran variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, las cuales incluyen especies fecales y ambientales. Detalla que los organismos pueden sobrevivir y proliferarse en el agua, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero para lo que si pueden utilizarse es como indicador de la eficacia en los tratamientos de agua para evaluar la limpieza en los sistemas de su distribución.

Para establecer la calidad del agua según los resultados de los parámetros bacteriológicos de las muestras identificadas. Los valores permisibles son tomados de COGUANOR para determinar si es posible utilizar el agua para consumo humano. (Ver tabla 7)

**TABLA 7**  
**DATOS DE LABORATORIO SEGÚN ANÁLISIS**  
**BACTERIOLÓGICO**

Código	Dimensional	Límite de detección	Resultado		LMP
			Coliformes totales	Escherichia Coli	
IX-01	NMP/100ml	1,1	23	23	<1,1
IX-02			9,2	2,2	
IX-03			240	3,6	
IX-04			9,2	<1,1	
IX-05			12	<1,1	
IX-06			<1,1	<1,1	

**Fuente:** Elaboración propia según resultados de laboratorio, 2016.

Según se observa en los resultados de la tabla 7, el análisis para la muestra IX-06 es la única apta para el consumo humano, ya que los resultados no sobrepasan el límite máximo permisible, mientras que en las muestras restantes no lo según la COGUANOR.

### 3.2.2 Análisis geoquímico

Las aguas de los nacimientos al estar en contacto con diferentes factores como aire, suelo, vegetación y subsuelo, entre otros, incorporaran parte de ellos ya sea por disolución o bien por arrastre, así como también en el caso de ciertos gases, llegan a unirse al agua por intercambio.

Esto hace que el agua presente un elevado número de sustancias en su composición química, dependiendo de todos los valores ya mencionados. Los compuestos más comunes que se pueden encontrar en las aguas dulces están: como constituyentes mayoritarios los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, sodio, potasio, calcio y magnesio.

Con respecto al análisis geoquímico de las muestras a lo largo de la microcuenca se puede apreciar los resultados de laboratorio en los anexos. Dichos resultados tienen un límite máximo permisible en

el cual se observa que la muestra IX-04 posee un exceso en la cantidad de sulfatos.

**TABLA 8**  
**CONCENTRACIÓN DE SULFATOS EN MUESTRA IX-04**

Código	Dimensional	Límite de Detección	Resultado	LMA	LMP
IX-04	mg/L	25	251	100	250

**Fuente:** Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio, 2016.

Por ser una cantidad mínima la que sobrepasa el límite permisible como se observa en la tabla 8, habrá que prevenir para que dicho valor no aumente y se considere dañino.

### 3.3 Hidrogeología

Esta clasificación, en el caso del grado de permeabilidad, es cualitativa. Además, algunas de las unidades no se han podido describir a lo largo de toda su extensión, sino que se han reconocido tan solo a partir de afloramientos específicos por lo que las características hidrogeológicas definidas también podrían variar.

Para obtener un dato más exacto se procedió a tomar 1 L de agua, que se vertió en la unidad litológica, se observó el tiempo y forma en que la roca absorbía el líquido para determinar el grado de permeabilidad. Esta asociación se ha representado gráficamente en la cartografía hidrogeológica.

En la tabla 9 que se observa la clasificación de las unidades hidrogeológicas en base al tipo y grado.

**TABLA 9**  
**CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES**  
**HIDROGEOLÓGICAS EN BASE A LA PERMEABILIDAD**

Unidad geológica	Tipo de permeabilidad	Grado de permeabilidad
Qal4	Porosa	Alto
Qal3	Porosa	Alto
Qcol2	Porosa	Alto
Qpa4	Porosa	Medio
Qrdf	Fisural	Medio-bajo
Qrd	Porosa/fisural	Medio-bajo
Qtv	Porosa/fisural	Bajo
Qta	Porosa/fisural	Medio-bajo

**Fuente:** Valores adaptados de Sendra, G.; 2012 y Custodio E. y Llamas M.R.; 2001.

Respecto al sistema de acuíferos que conforman el subsuelo de la parte de la microcuenca en estudio se han diferenciado 3 tipologías. A continuación, se describe cada una de estas y se aportan datos referentes a sus características hidrogeológicas.

En los anexos se observa el mapa de tipo de permeabilidad en base a la geología del área, así como también se da a conocer el mapa de grado de permeabilidad de las unidades litológicas de la microcuenca del río Ixtacapa. Estos mapas sirven como base para el mapa de las unidades hidrogeológicas en base al tipo y grado de permeabilidad de las unidades (mapa hidrogeológico) que se encuentra en los anexos.

Es importante destacar que todos los datos y los parámetros de caracterización que se presentan están basados en tablas teóricas por lo que deben tomarse con precaución y tener siempre en cuenta la gran variabilidad espacial de los materiales que lo forman alrededor de toda la microcuenca.

### 3.3.1 Acuífero A

A este acuífero se le nombra como tipo superficial, libre, de tipo poroso y con una permeabilidad primaria que se encuentra asociada a la porosidad intergranular, y es característica de los materiales que lo forman.

Geológicamente el acuífero está compuesto por depósitos piroclásticos de caída post Los Chocoyos formados mayoritariamente por niveles de cenizas y lapilli los cuales tienen alternancia de niveles brechosos con bombas y bloques aislados. Este tipo de materiales corresponden a la unidad litológica Qpa4 (depósitos volcánicos piroclásticos de caída post Los Chocoyos).

El acuífero A se localiza, en la zona sur de la microcuenca, de forma menos representativa, allí donde afloran puntualmente los depósitos piroclásticos de caída.

Durante el trabajo de campo se identificaron diferentes niveles de acumulación de agua. Todo ello se debe a que algunos nacimientos son superficiales y otros se encuentran a mayor profundidad sin que exista una conexión entre ellos.

El motivo sería que este tipo de depósitos presentan una continua intercalación de capas las cuales están formadas por partículas de tamaño ceniza y partículas brechosas, así como también bombas aisladas.

A efectos de la permeabilidad del depósito, dicha interposición hace que no sea uniforme, sino que por el contrario sea mayor en los estratos formados por partículas de tamaño lapilli y menor en las cenizas.

Esta distribución granulométrica, en términos relacionados a la infiltración de agua, es mucho más rápida y favorable en los estratos de tipo lapilli que en los de tipo ceniza y también en el propio contacto entre estratos.

Así pues, cuando el agua proviene de la infiltración pluvial y encuentra un estrato donde predomina el tamaño de ceniza, su velocidad de infiltración disminuye, esto se debe a que la porosidad disminuye en función del estrato (espesor y tipo de permeabilidad).

En algunos casos, si la capa de menor permeabilidad es captada por la superficie, y la pendiente sea favorable, se podrán formar manantiales y pequeñas surgencias.

En la tabla 10 se presenta un resumen de las características principales del acuífero A. Así como también los respectivos caudales medidos en cada nacimiento que correspondan a este tipo de acuífero.

**TABLA 10**  
**CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO A**

ACUÍFERO A	
Característica	Valor
Comportamiento hidrogeológico	Acuífero
Comportamiento hidráulico	Acuífero libre
Tipo de almacenamiento	Poroso
Porosidad eficaz	Aproximadamente 20 %
Grado de permeabilidad	Alto
<b>Nacimiento y comunidad a la que abastecen</b>	<b>Caudal (Q)</b>
Nacimiento de aldea La Ceiba	2,14 gal/s
Rio del municipio San Pablo Jocopilas	0,98 m/s
Nacimiento de aldea Pacamaché	34,39 ml/s

**Fuente:** Valores adaptados de Sendra, G.; 2012 y Custodio E. y Llamas M.R.; 2001

### 3.3.2 Acuífero B

Está formado por depósitos de flujos de lava solidificados de los que resultan rocas dacítico-andesíticas. Y se encuentra al norte de la microcuenca.

Este tipo de litología presentan un grado variable de porosidad primaria asociada a formación de vesículas como los poros formados debido a la desgasificación del magma durante el proceso de enfriamiento y solidificación, en algunos casos no están interconectadas por lo que la porosidad no se considera eficaz (Paricio, S. 2014).

Por lo tanto, la circulación de agua no se da a través de los poros, sino más bien a través de las fracturas que posee la roca. Por lo que posee permeabilidad secundaria asociada a su fracturación y funciona como un acuífero de tipo fisural.

Es probable, que dicho acuífero esté presente en la zona norte, o se encuentre aislado en pequeñas depresiones estructurales, donde existan depósitos dacíticos. Las fracturas de estos materiales están asociadas a los procesos de enfriamiento del magma y a los propios procesos tectónicos de la región (Tabla 11).



**TABLA 11  
CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO B**

ACUÍFERO B	
Característica	Valor
Comportamiento hidrogeológico	Acuífero pobre/acuitado
Comportamiento hidráulico	Acuífero semiconfinado
Tipo de almacenamiento	Fisural
Porosidad eficaz	Aproximadamente 1 %
Grado de permeabilidad	Bajo
Nacimiento y comunidad a la que abastecen	Caudal (Q)
Nacimiento aldea Pacaman	0,13 gal/s

**Fuente:** Valores adaptados de Sendra, G.; 2012 y Custodio E. y Llamas M.R.; 2001.

### 3.3.3 Acuífero C

Está asociado a las unidades QTV (depósitos volcánicos no divididos) que se encuentran a profundidad y Qta (depósitos volcánicos andesíticos). La primera son rocas volcánicas no diferenciadas y la segunda a rocas volcánicas más solificadas.

Ya que la variabilidad del espacio tanto lateral como vertical de los depósitos de tipo volcánico es de gran impacto, así como la cobertura vegetal de la región, se complica establecer límites que se encuentren bien definidos de los diferentes materiales que conforman la unidad, por lo que en esta se incluyen diferentes tipos de depósitos. Se incluyen rocas lávicas, tobas y depósitos laháricos de poca extensión y en menor proporción depósitos de caída.

Este hecho hace que el comportamiento de las unidades como acuífero sea muy diverso y que se considere como acuífero multicapa formado por acuíferos con capacidades hidrogeológicas variables. Su extensión abarca

toda la parte central de la microcuenca. El acuífero es por lo general de tipo profundo-semiprofundo excepto en los sectores que se encuentran cercanos al centro, donde los materiales afloran en superficie. En la tabla 12 se presenta un resumen con las características principales del acuífero ya mencionado.

**TABLA 12**  
**CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO C**

ACUÍFERO C	
Característica	Valor
Comportamiento hidrogeológico	Acuitardo
Comportamiento hidráulico	Acuífero semiconfinado
Tipo de almacenamiento	Fisural/poroso
Porosidad eficaz	Aproximadamente 1 %-10 %
Grado de permeabilidad	Medio-Bajo
Nacimiento y comunidad a la que abastecen	Caudal (Q)
Nacimiento aldea Chuituj	0,33 gal/s
Nacimiento aldea Pacanal IB	0,57 gal/s

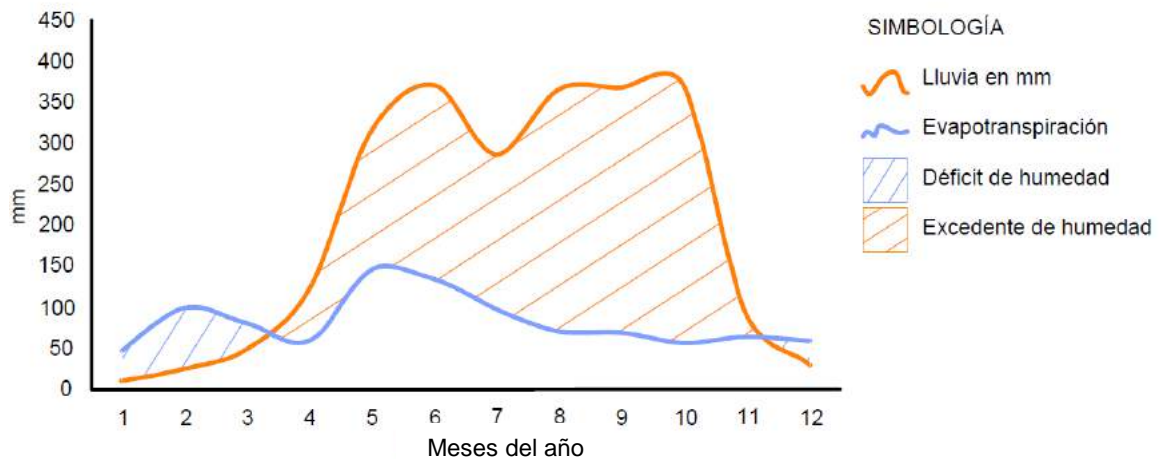
**Fuente:** Valores adaptados de Sendra, G.; 2012 y Custodio E. y Llamas M.R.; 2001.

### 3.4 Recarga acuífera

#### 3.4.1 Cálculo del balance hídrico

En la figura 7 se presenta un balance general hidrológico anual, para tener una idea sobre los meses en que más agua precipitada hay en la microcuenca para el uso de las comunidades aledañas.

**FIGURA 7**  
**BALANCE GENERAL HÍDRICO**



**Fuente:** Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

En la figura, el área determinada por el relleno de líneas delgadas color naranja denotan el excedente de humedad. Por otro lado, el área denotada por las líneas celestes representa el déficit de humedad dentro de la microcuenca. Lo que significa que en los meses de marzo a noviembre se puede obtener agua en abundancia ya que existe un excedente de humedad.

### a. Precipitación

La precipitación es un valor necesario para calcular los excedentes a partir del balance hídrico. Ella da a conocer la parte correspondiente a las entradas del sistema. La Organización Meteorológica Mundial recomienda el uso de series pluviométricas de al menos 30 años.

En el presente caso, los datos son de las estaciones Mazatenango, Labor Ovalle y Santiago Atitlán. Las tablas 13, 14 y 15; dan a conocer los valores de cada una de las estaciones.

**TABLA 13**  
**DATOS PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ATITLÁN**

Estacion Santiago Atitlan													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	0	0	0	0	0	0	109	70,5	213,1	51,5	16,8	22,1	483
1991	1,3	0	3,5	6,5	179,6	267,7	62	86,5	132,3	163,8	5,7	28,4	849,5
1992	0,1	0,7	20,1	92,8	103,3	223,3	103,6	79,7	96,4	138,9	46,7	4,1	909,7
1993	19,5	0	19,7	48,6	168	285,8	147,5	215	141	114,9	4,3	0	1115,7
1994	0	3,2	0	115,3	63	151,3	38,6	146,4	130,8	13,7	44,2	56,7	763,2
1995	1,7	1,2	56,7	116,3	153,5	269,9	153,4	221,2	262,3	341,8	0,2	51,5	1629,7
1996	15,8	1	6	200,5	267,9	251,2	179	221,4	177,5	127,7	27,7	0	1475,7
1997	20,3	14,5	75,4	108,5	78,6	193,2	87,7	74,2	298,2	252,2	166,6	51,3	1312,2
1998	4,4	0,4	48,3	0	67,6	145,1	200,6	128	347,4	0	289,7	291,8	1523,3
1999	2	4,8	0	31,4	62,6	346,1	123,5	141,7	372,1	276,4	54,9	14,3	1429,8
2000	0	0	28,4	38,9	261,2	219,8	398	197,2	284,4	23,2	88,5	0	1539,6
2001	1,1	4	15,7	10,9	189,5	269,5	103,2	121,1	317,7	104,3	6,5	16,7	1160,2
2002	2,5	1,7	0	82,6	192,3	249,1	99,1	50,9	357,4	65,2	41,1	0	1141,9
2003	1	3,9	51,5	42,2	135,9	325,4	146,6	82,9	169,4	284,1	8,9	0	1251,8
2004	4,8	31,7	35,3	99,7	180,7	123,8	159,2	58,2	170,7	234,9	0	0,7	1099,7
2005	0	0	126,8	8,3	241,1	469,7	168,2	141	19,5	496,1	25,2	9,2	1705,1
2006	0	0	17,2	39,4	266,8	405,8	156,1	167,4	167,7	140,8	14,5	45,3	1421
2007	0	0	1,5	168,8	60,5	247,4	110	243,3	156,5	281	9,1	6,1	1284,2
2008	2,8	15,6	4,1	30,1	82,7	326,5	230,1	244,8	335,8	118,5	4,6	0,4	1396
2009	0	0	0	85,1	324,9	279,7	97,3	71,5	135,5	55,6	63,8	53,2	1166,6
2010	3,3	133,9	77	128,9	452	461,6	501,2	434,5	441,1	18,8	62,6	0	2714,9
2011	0	6,2	8,7	46,2	87,7	353,5	273,4	211,2	569,4	478,6	1,5	0,3	2036,7
2012	0	7	5,9	62	243,3	332,9	40,5	220,6	90	106	12,4	0	1120,6
2013	14,5	0,7	56,5	6,8	221,4	353,2	238,5	172,5	373	217,6	25,4	0	1680,1
2014	0	0,4	51,1	15,5	135,8	362,7	28,7	84,5	285	257	21	0	1241,7
2015	0	60,3	32,1	38,6	109,7	150,2	63,5	61,6	268,1	173,5	31,1	2,9	991,6
2016	18,2	0	98,8	64,9									117
<b>Media</b>	<b>4,20</b>	<b>11,20</b>	<b>31,12</b>	<b>63,08</b>	<b>166,52</b>	<b>271,71</b>	<b>154,56</b>	<b>154,45</b>	<b>242,78</b>	<b>174,47</b>	<b>41,27</b>	<b>25,19</b>	<b>1280,02</b>
<b>Pk</b>	<b>0,003</b>	<b>0,009</b>	<b>0,024</b>	<b>0,049</b>	<b>0,130</b>	<b>0,212</b>	<b>0,121</b>	<b>0,121</b>	<b>0,190</b>	<b>0,136</b>	<b>0,032</b>	<b>0,020</b>	<b>1</b>

Fuente: INSIVUMEH, 2009.

**TABLA 14**  
**DATOS PRECIPITACIÓN ESTACIÓN LABOR OVALLE**

Estacion Labor Ovalle													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	0	3,5	72,1	93,2	91,5	169,4	117,1	43,6	164,2	74,8	10,6	5,7	845,7
1991	7,2	0,5	0	9,5	130	102,5	53,3	83,2	139,5	156,5	32,3	25,6	740,1
1992	0	0	24,7	32,1	94,7	175,3	66,5	83,6	123,9	50,6	13,3	0,4	665,1
1993	0,4	0	3,8	58,6	138,5	191	75,9	140,8	129,4	91,2	2,9	2	834,5
1994	0	0	0	58,9	98,9	84,1	64,9	153,3	140,5	70,4	18,4	8,3	697,7
1995	0	1,3	14,8	79,2	114	174,4	92,3	141,1	240	65,1	2,3	31	955,5
1996	12,4	0,4	17,7	175,7	150,6	185,8	155,2	125,9	0	87,1	5,6	10	926,4
1997	23,8	0	4,8	14,5	57,7	162,9	94,1	38,4	230,5	146,8	70,4	29,1	873
1998	0	0	4,9	0,4	69,3	155,7	120,7	256,5	166	152,5	157,9	0	1083,9
1999	0	2,5	1,5	1,5	53,7	167,6	87,4	136,2	213,8	148,7	4,3	15,2	832,4
2000	0	0	7,3	21,3	181,8	138,4	117,3	130,4	168,2	40,8	3	1,8	810,3
2001	0	0	16,3	13,5	205,1	178	110,4	80,9	130	76	2,1	9,6	821,9
2002	0	2,4	0	11,4	119,3	142,4	68,7	82,2	169,2	108,8	13,8	0,2	718,4
2003	0	9,5	19,4	9,2	111,7	177,5	70,3	63,6	145,7	81,6	16,7	0	705,2
2004	0	7,3	24,6	27	123,6	101	98,9	87	223	67,7	10,6	18,9	789,6
2005	0	0	9,2	2,9	238,5	267,3	129,5	83,2	160,5	290,1	11	5	1197,2
2006	8,5	0	38,8	33,3	147,9	289,4	72,9	140	154,4	85,1	23,8	16,2	1010,3
2007	0	1	0	64,2	99,8	200,6	114,9	104,8	134,2	199	5,8	0,8	925,1
2008	0	9,9	6,1	35,1	103	241,7	149,4	148,8	146,2	159,7	0	0	999,9
2009	0	0	0,6	38,5	259,4	168,3	60,4	91,4	93,2	19	46	54,6	831,4
2010	0,9	5,5	4,7	100	395,9	165	169,9	215	321,2	90,7	5,6	0	1474,4
2011	0	0	10,7	30	104,8	190,5	177,7	181,3	160	278,8	4,1	0,6	1138,5
2012	0,1	35,1	2,7	40,6	180,5	117,1	77,7	201,9	70,9	133,9	3,2	0	863,7
2013	4,7	3,1	14,5	38,8	94	114,5	25,2	150,9	189,1	160	23,4	1	819,2
2014	1	0	13,2	22,4	219,9	259,4	72,9	58,5	167,7	68,2	1,3	0,2	884,7
2015	0	0	20	10,3	79,3	157	78,4	66,8	269,3	152,4	36,2	3,7	873,4
2016	0	0	13	0									13
<b>Media</b>	<b>2,19</b>	<b>3,04</b>	<b>12,79</b>	<b>37,86</b>	<b>140,90</b>	<b>172,18</b>	<b>97,00</b>	<b>118,82</b>	<b>163,48</b>	<b>117,52</b>	<b>20,18</b>	<b>9,23</b>	<b>864,09</b>
<b>Pk</b>	<b>0,003</b>	<b>0,004</b>	<b>0,015</b>	<b>0,044</b>	<b>0,163</b>	<b>0,199</b>	<b>0,112</b>	<b>0,138</b>	<b>0,189</b>	<b>0,136</b>	<b>0,023</b>	<b>0,011</b>	<b>1</b>

Fuente: INSIVUMEH, 2009.

**TABLA 15**  
**DATOS PRECIPITACIÓN ESTACIÓN MAZATENANGO**

Estacion Mazatenango													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006								457,2	725,6	911	516	91,5	2701,3
2007	16,8	37,7	129,7	348,5	507,7	566,8	444,7	1126,5	745,8	495,8	65,7	43	4528,7
2008	5	103,9	96,2	324,6	225,9								755,6
2010					1057,7	1145,9	830,2	1042,3	1038,6	616,5	147,8	75,7	5954,7
2011	0	134,8	55,6	256,1	714,1	428,6						42,7	1631,9
2012	50,2	89,2	67,5	305,3					396,6	971,1	172,8	85,2	2137,9
2013	23,9	7,8	60,4	112,3	683,4	531,1	558,2	669,9	589,5	1101,5	189,2		4527,2
2014			224,4										224,4
2015												28,6	28,6
2016	71,35	2,5											
<b>Media</b>	<b>27,875</b>	<b>62,65</b>	<b>105,63</b>	<b>269,36</b>	<b>637,76</b>	<b>668,1</b>	<b>611,033</b>	<b>823,975</b>	<b>699,22</b>	<b>819,18</b>	<b>218,3</b>	<b>61,117</b>	<b>2498,92222</b>
<b>Pk</b>	<b>0,011</b>	<b>0,025</b>	<b>0,042</b>	<b>0,108</b>	<b>0,255</b>	<b>0,267</b>	<b>0,245</b>	<b>0,330</b>	<b>0,280</b>	<b>0,328</b>	<b>0,087</b>	<b>0,024</b>	<b>1</b>

**Fuente:** INSIVUMEH, 2009.

Para la obtención de los mapas de precipitación mensual, y en función del mapa de isoyetas de INSIVUMEH y de los valores de precipitación registrados en las estaciones Santiago Atitlán, Labor Ovalle y Mazatenango; se han generado un total de 52 estaciones meteorológicas ficticias sobre las líneas isoyetas.

Las estaciones ficticias se obtuvieron a partir de las isoyetas de precipitación de Guatemala, específicamente de las tres ya mencionadas, por medio de una interpolación y así establecer las estaciones necesarias para obtener resultados eficientes.

La asignación del valor de precipitación media mensual para cada una de ellas se ha realizado a partir de un factor mensual (Pk). Este se obtiene de la división de la media de los valores mensuales, registrados en las estaciones, por el total de precipitación anual registrados en las mismas con su respectivo factor de precipitación, se puede observar en la tabla 16.

Finalmente, el factor Pk mensual obtenido se ha multiplicado por el valor de precipitación media anual de cada isoyeta; resulta así un valor de precipitación mensual para cada estación ficticia, se usó la del mes que posee el factor precipitación Pk mas alto (ver tabla 16). Siendo el promedio de los factores de las tres estaciones.

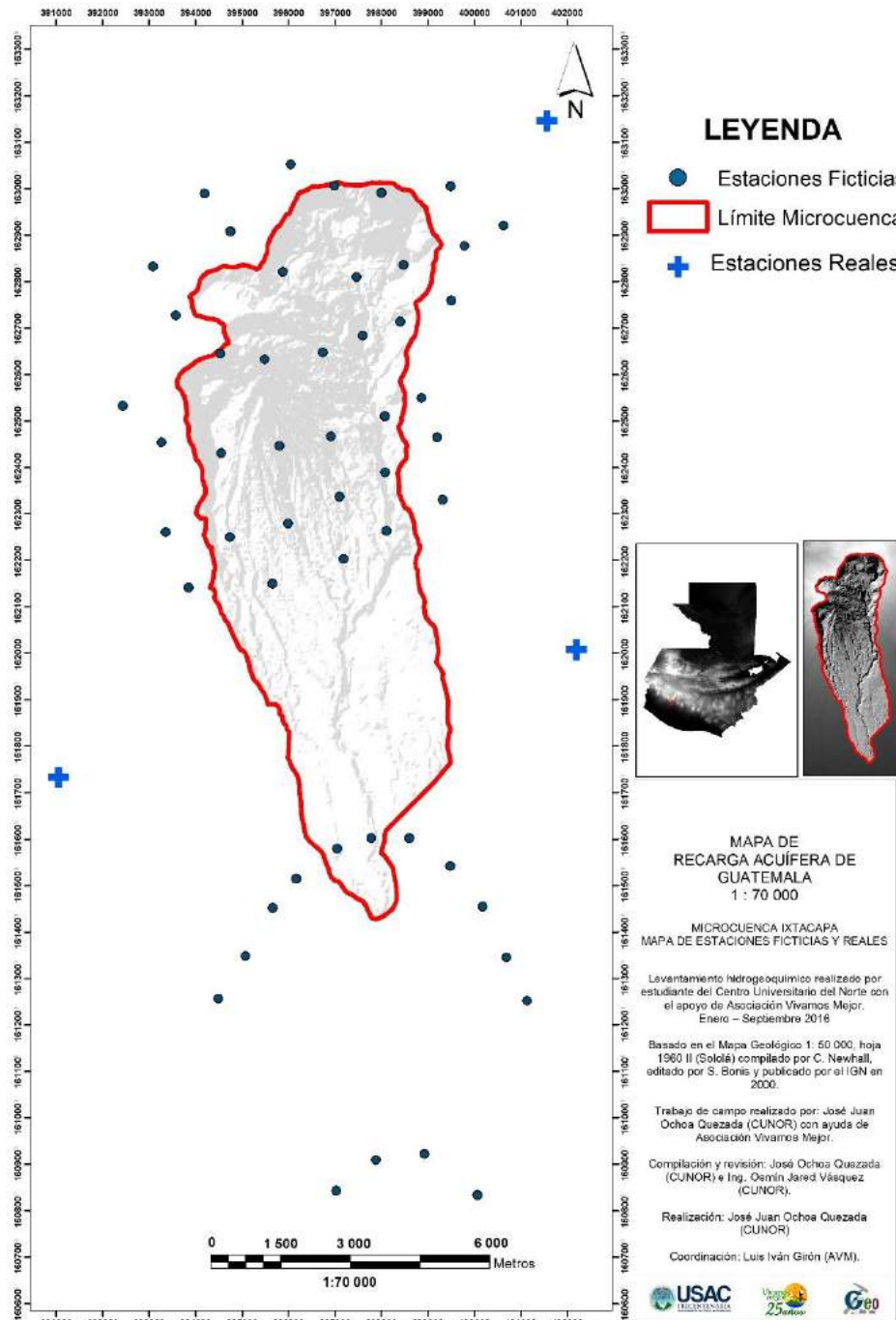
**TABLA 16**  
**DATOS PROMEDIO DE LAS ESTACIONES REALES Y FACTOR PK**

Estacion Santiago Atitlan													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Media	4.31	11.20	31.12	61.27	166.52	271.71	154.56	154.45	242.78	174.47	41.27	25.19	1280.02
Pk	0.00336533	0.00874986	0.02431386	0.04786488	0.13009412	0.21226832	0.12074631	0.12066374	0.18966951	0.13625895	0.03224108	0.01968118	1.00
Estacion Labor Ovalle													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Media	2.19	3.04	12.79	37.86	140.30	172.18	97.00	118.82	163.48	117.52	20.18	9.23	864.09
Pk	0.00252889	0.00351472	0.01480047	0.04380974	0.16306172	0.19926699	0.11225237	0.13750792	0.18919868	0.13600346	0.02335049	0.0106782	1.00
Estacion Maza tenango													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Media	27.875	62.65	105.633333	269.36	637.76	666.1	611.033333	823.975	699.22	819.18	218.3	61.1166667	2498.92222
Pk	0.01115481	0.02507081	0.04227156	0.10779048	0.25521405	0.26735528	0.24461877	0.32973218	0.27980665	0.32781335	0.08735767	0.02445721	1.00000009
Factor de Precipitación Mensual de la Microcuenca Ixtacapa													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pk	0.006	0.012	0.027	0.066	0.183	0.226	0.159	0.196	0.220	0.200	0.048	0.018	1.000

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

En la figura 8, se presenta el mapa de las estaciones ficticias, estas sirven para detallar de mejor manera las isoyetas que se obtienen del mapa de precipitaciones de la república de Guatemala. Se obtuvieron 52, al momento de representarlas a lo largo de la microcuenca las 40 estaciones resultantes no ocupaban los espacios esperados, por lo que se agregaron 12 más. La interpolación únicamente es para encontrar la precipitación.

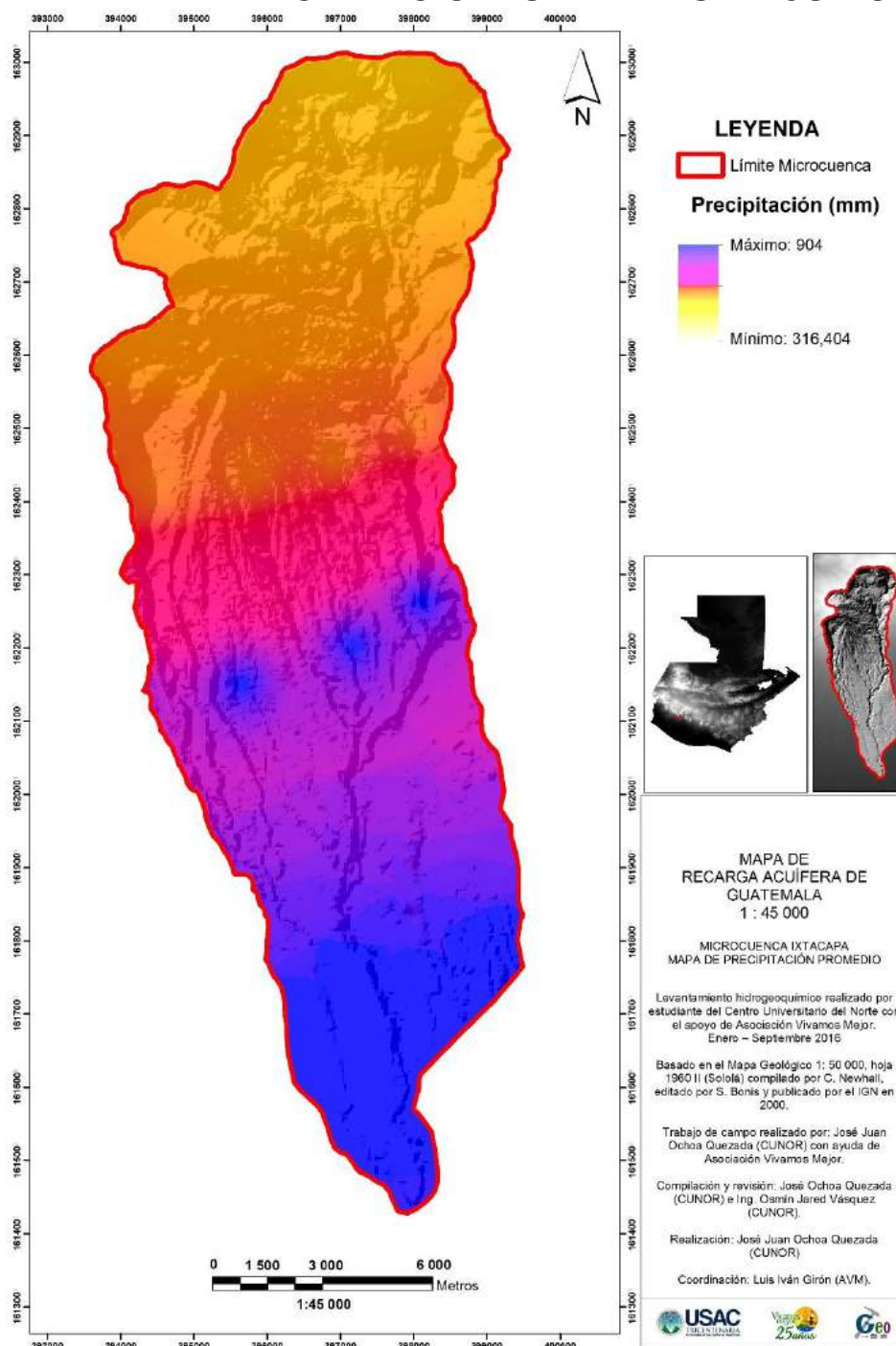
**FIGURA 8**  
**MAPA DE ESTACIONES FICTICIAS Y ESTACIONES**  
**REGIONALES MONITOREADAS POR INSIVUMEH**



Fuente: Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

En la figura 9, se observa el mapa de precipitaciones al mes, en este caso se utiliza el mapa de las estaciones ficticias, así como también el factor precipitación (Pk) más alto, en este caso se usa el del mes de junio.

**FIGURA 9**  
**MAPA DE PRECIPITACIONES DEL MES DE JUNIO**



**Fuente:** Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

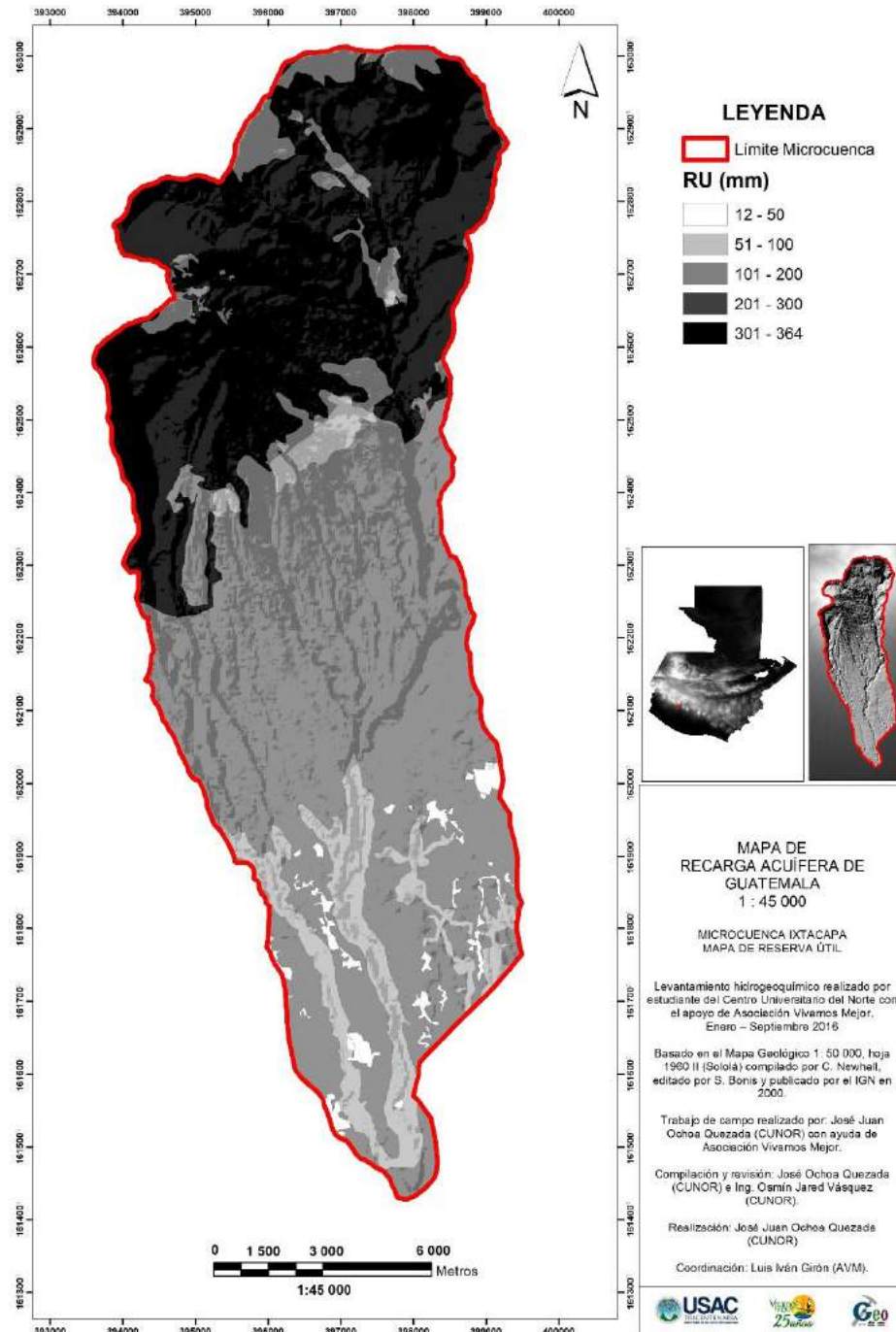
### b. Reserva útil

La reserva útil es la capacidad de agua que las plantas pueden extraer y utilizar para vivir. La capacidad de campo es el



máximo grado de humedad que retiene un suelo cuando pierde toda el agua, que se desplaza hacia abajo por efecto de la gravedad (figura 10).

**FIGURA 10**  
**MAPA DE RESERVA ÚTIL**



Fuente: Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

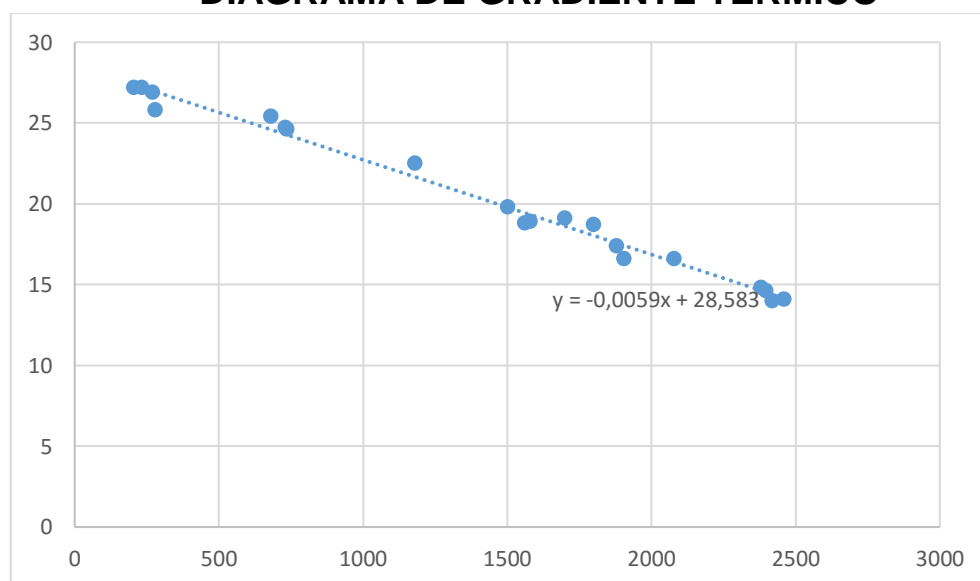
### c. Evapotranspiración

La evapotranspiración es el cambio por el cual el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso y directamente o a través de las plantas y regresa a la atmósfera como vapor de agua.

Para calcular esta variante es difícil de estimar con precisión ya que depende de valores ligados a la meteorología (precipitación, radiación solar y humedad del aire), con factores ligados a la vegetación como: densidad, tipo y grado de desarrollo; y de factores ligados al suelo como textura y estructura.

Se consideraron las temperaturas medias anuales de 19 estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes departamentos próximos a Sololá (se puede observar en los anexos). En el caso de Guatemala como se observa en la figura 11, el gradiente geotérmico es de  $-0,0059$ , es decir, la temperatura desciende  $0,0059$  °C/m.

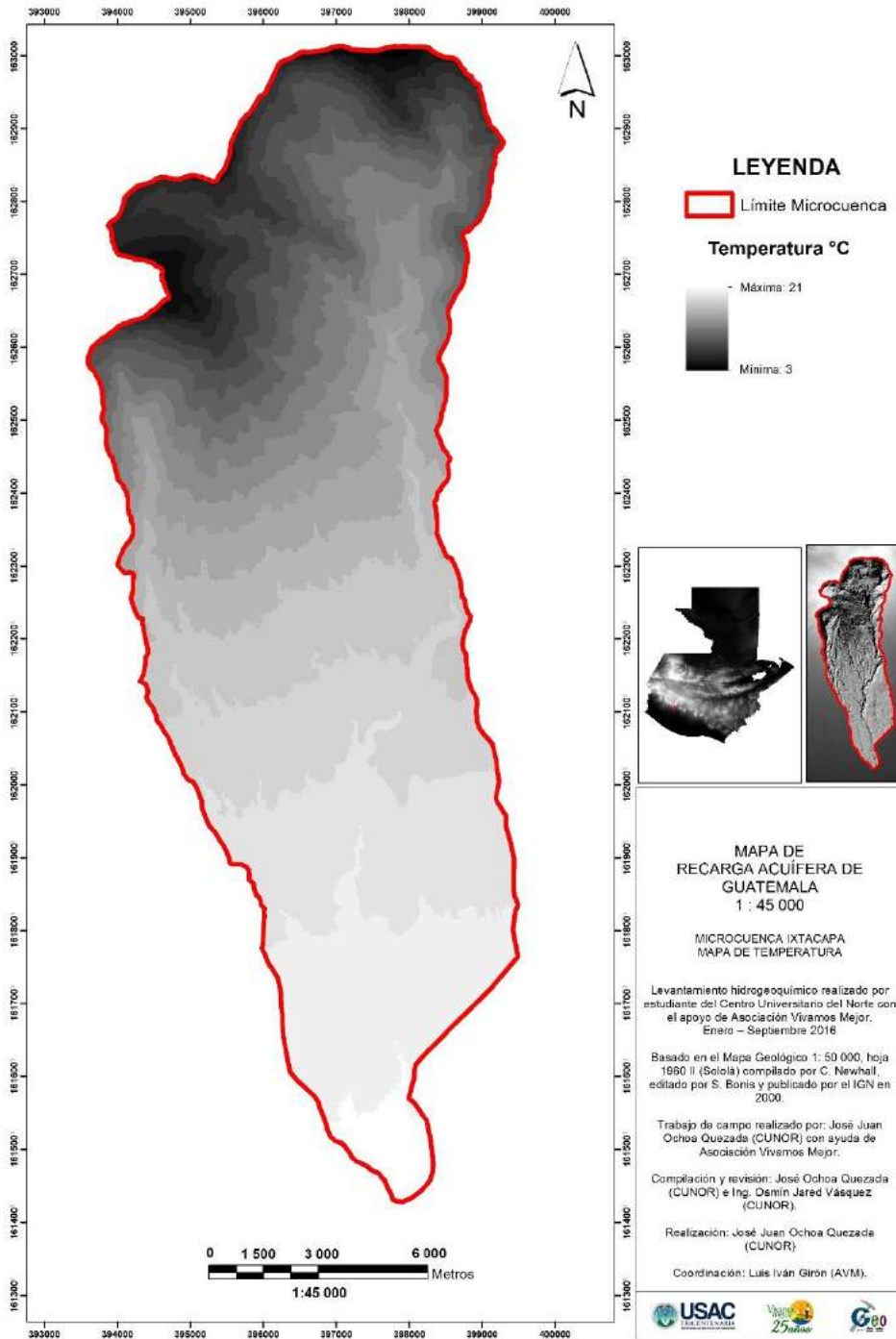
**FIGURA 11**  
**DIAGRAMA DE GRADIENTE TÉRMICO**



**Fuente:** Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

Finalmente, para obtener el mapa de temperatura media mensual, se interpolaron los valores de temperatura de cada estación ficticia la cual se corrigió en función de la altitud (Figura 12).

**FIGURA 12  
MAPA DE TEMPERATURA**

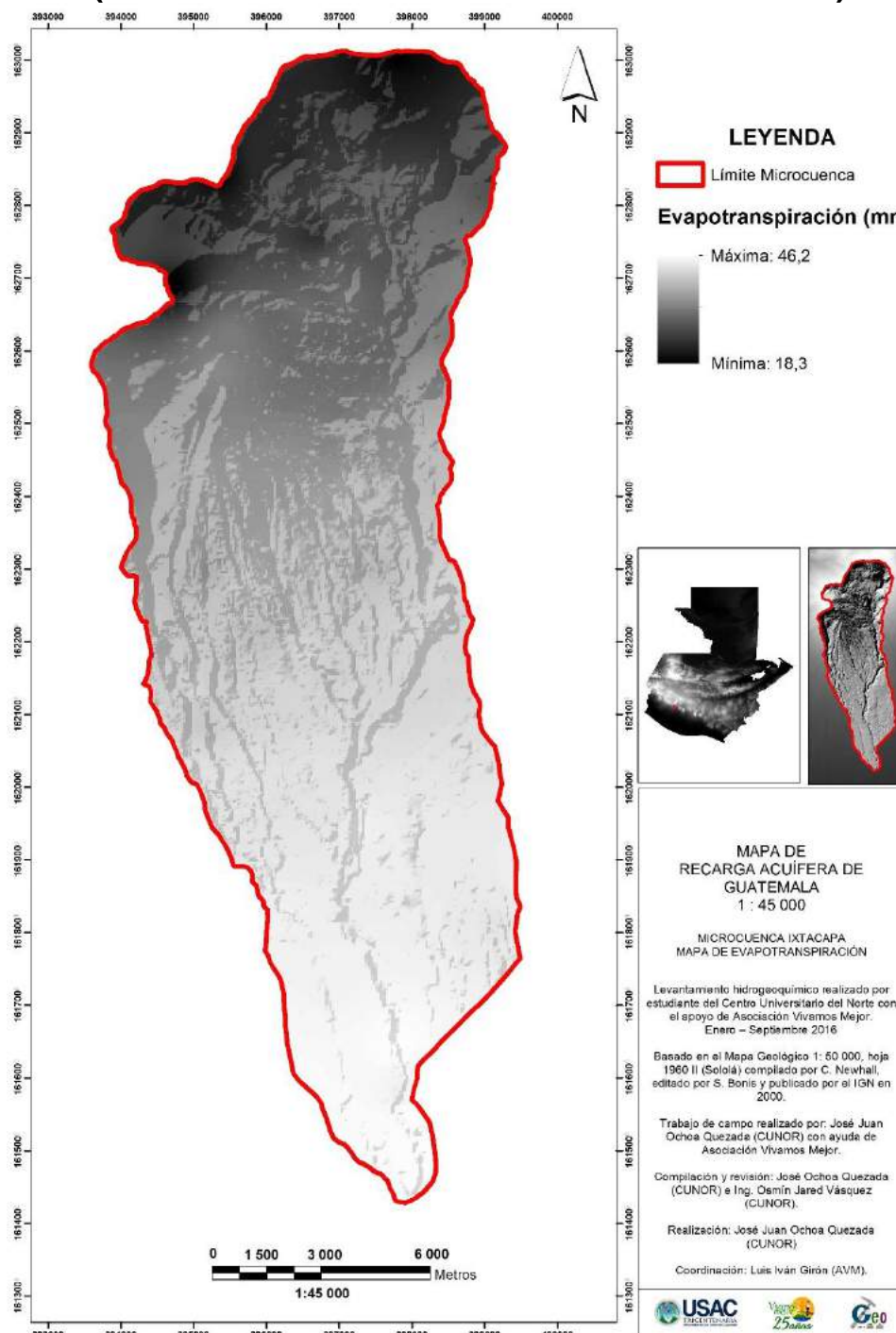


**Fuente:** Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

Una vez calculados todos los datos implicados se ha calculado la ETP mensual para cada estación ficticia y se obtuvo el

mapa de ETP del mes de junio ya que posee el mayor factor de precipitación observado en la figura 13.

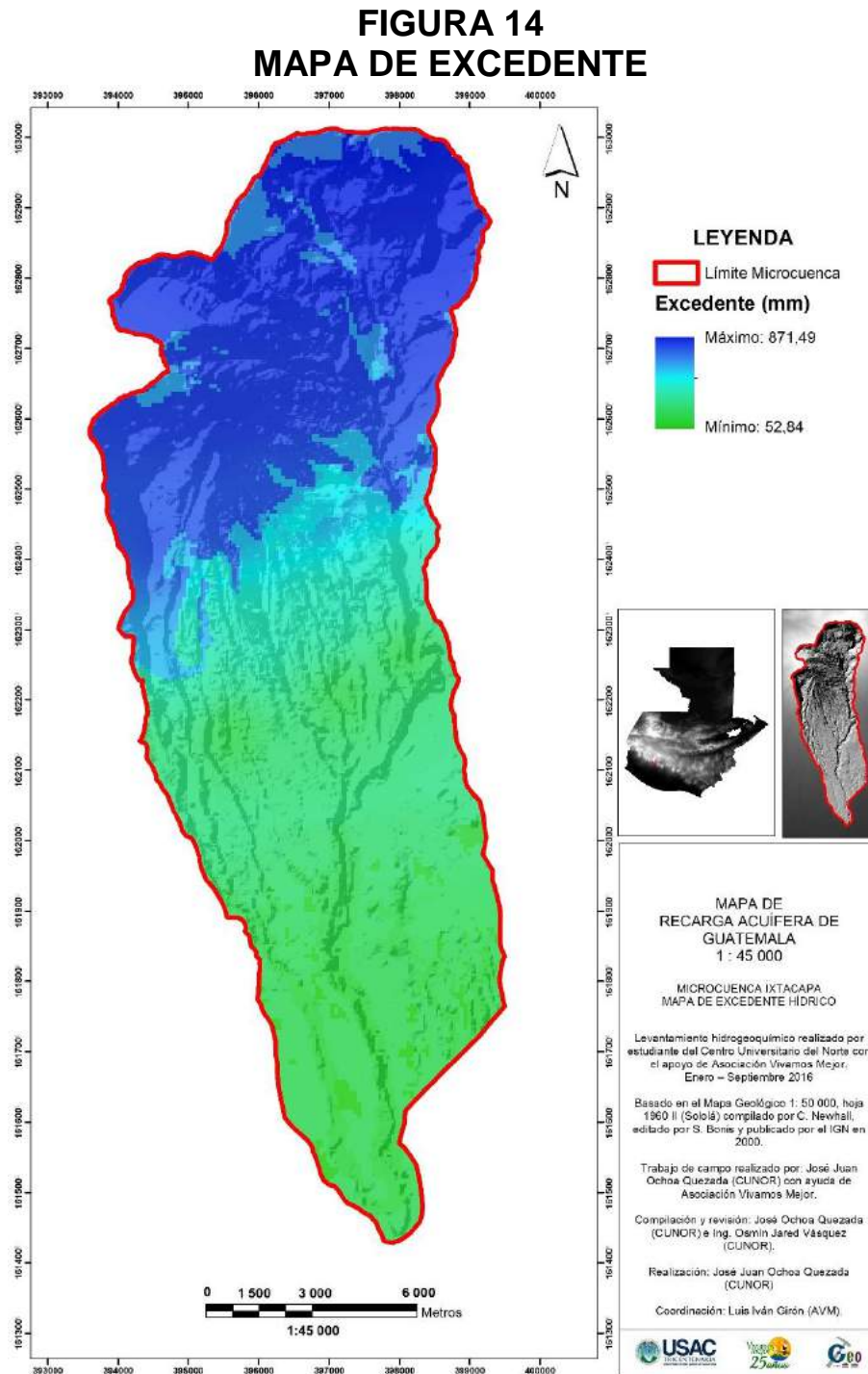
**FIGURA 13**  
**MAPA DE TEMPERATURA REAJUSTADO**  
**(EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL -ETP-)**



**Fuente:** Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

#### d. Excedente

El excedente es la parte de la precipitación destinada a la recarga de las reservas subterráneas pasando por procesos de evapotranspiración y recarga de la reserva útil. (Figura 14)



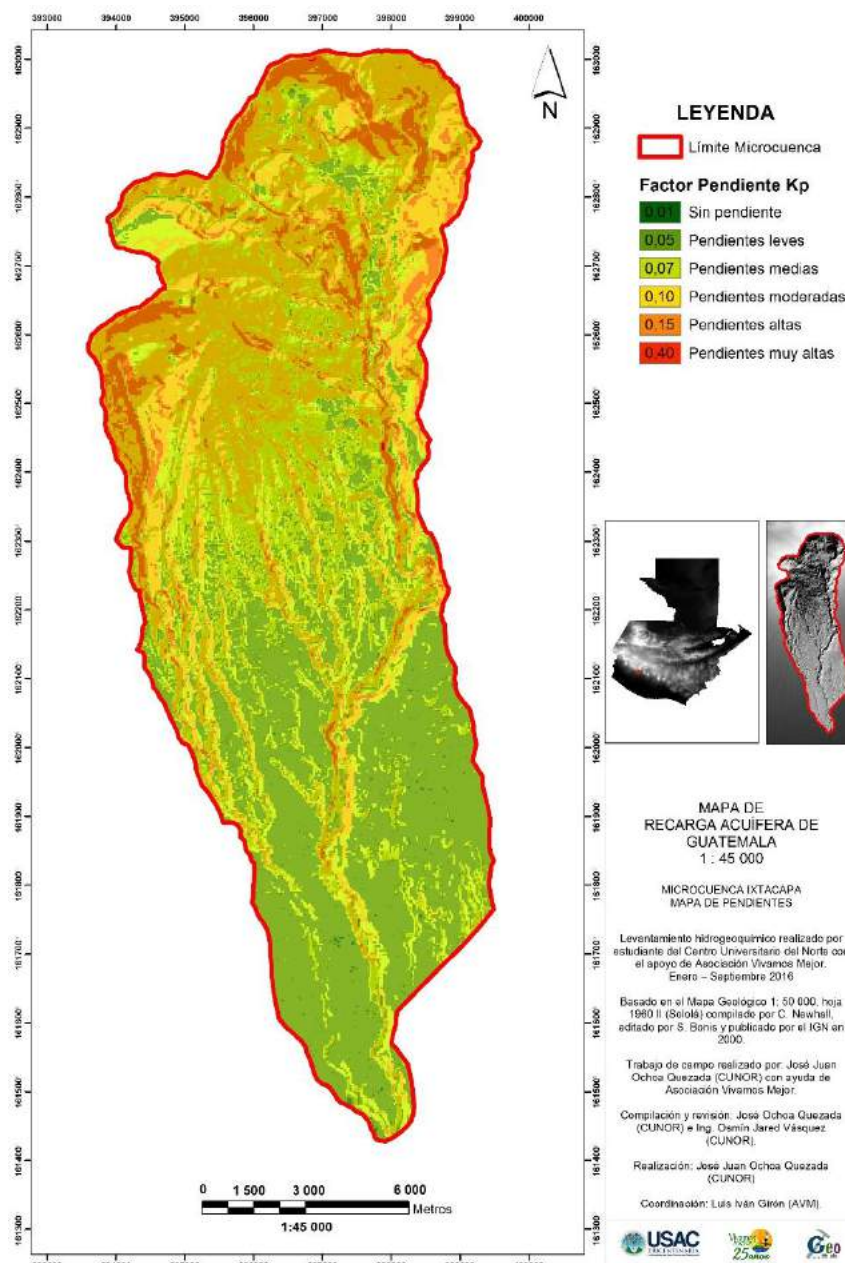
Fuente: Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

### 3.4.2 Cálculo del coeficiente de infiltración

#### a. Componente por efecto de pendiente

Para el cálculo del factor de pendiente se elaboró un mapa de pendientes en función de los 6 rangos establecidos en la metodología. Se observa en la figura 15.

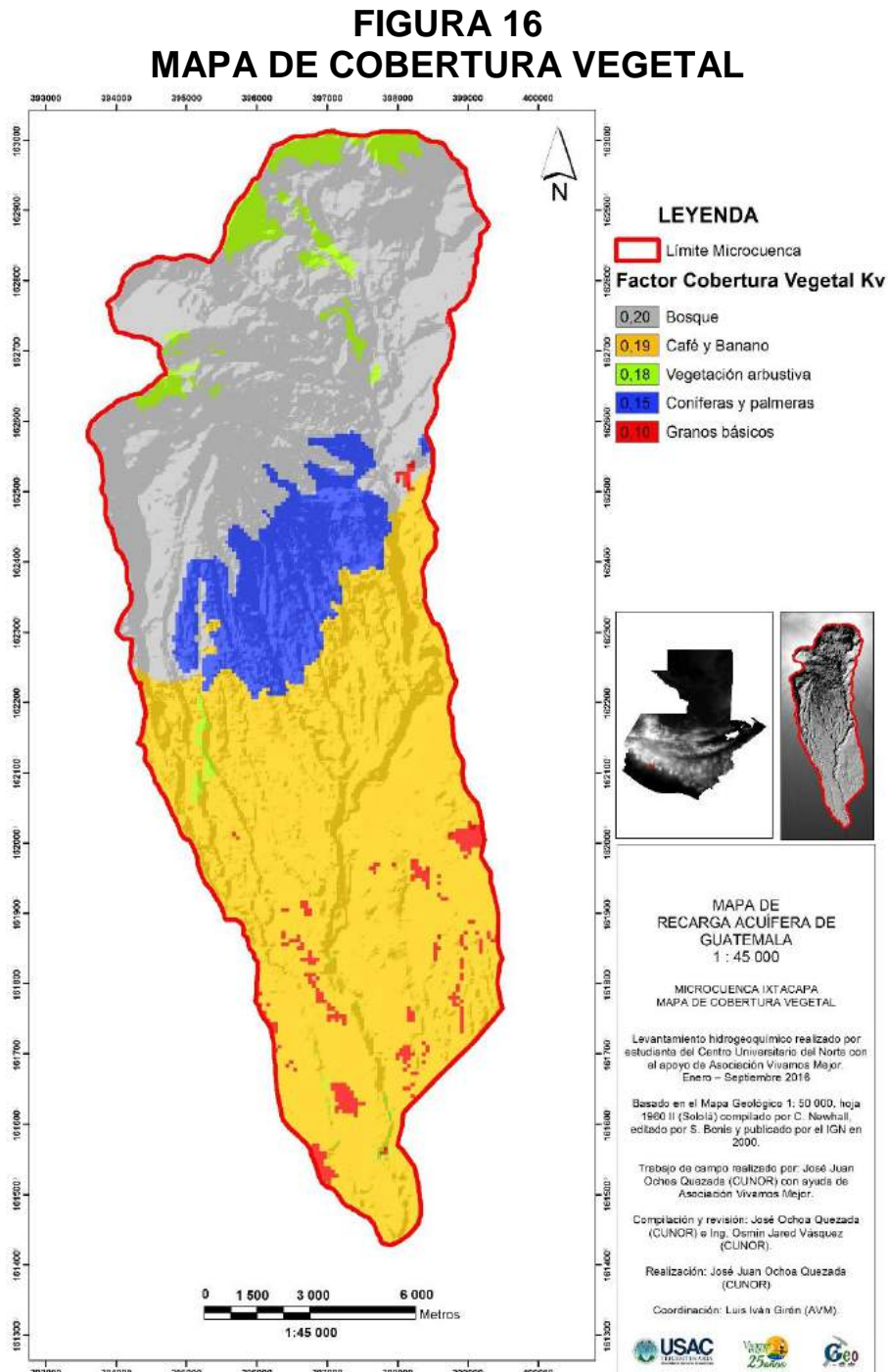
**FIGURA 15**  
**MAPA DE PENDIENTES**



Fuente: Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

## b. Componente por efecto de cobertura vegetal

Este factor se calculó en función del mapa de usos del suelo del departamento de Sololá elaborado por el MAGA en el año 2010. Como se puede observar en la figura 16.

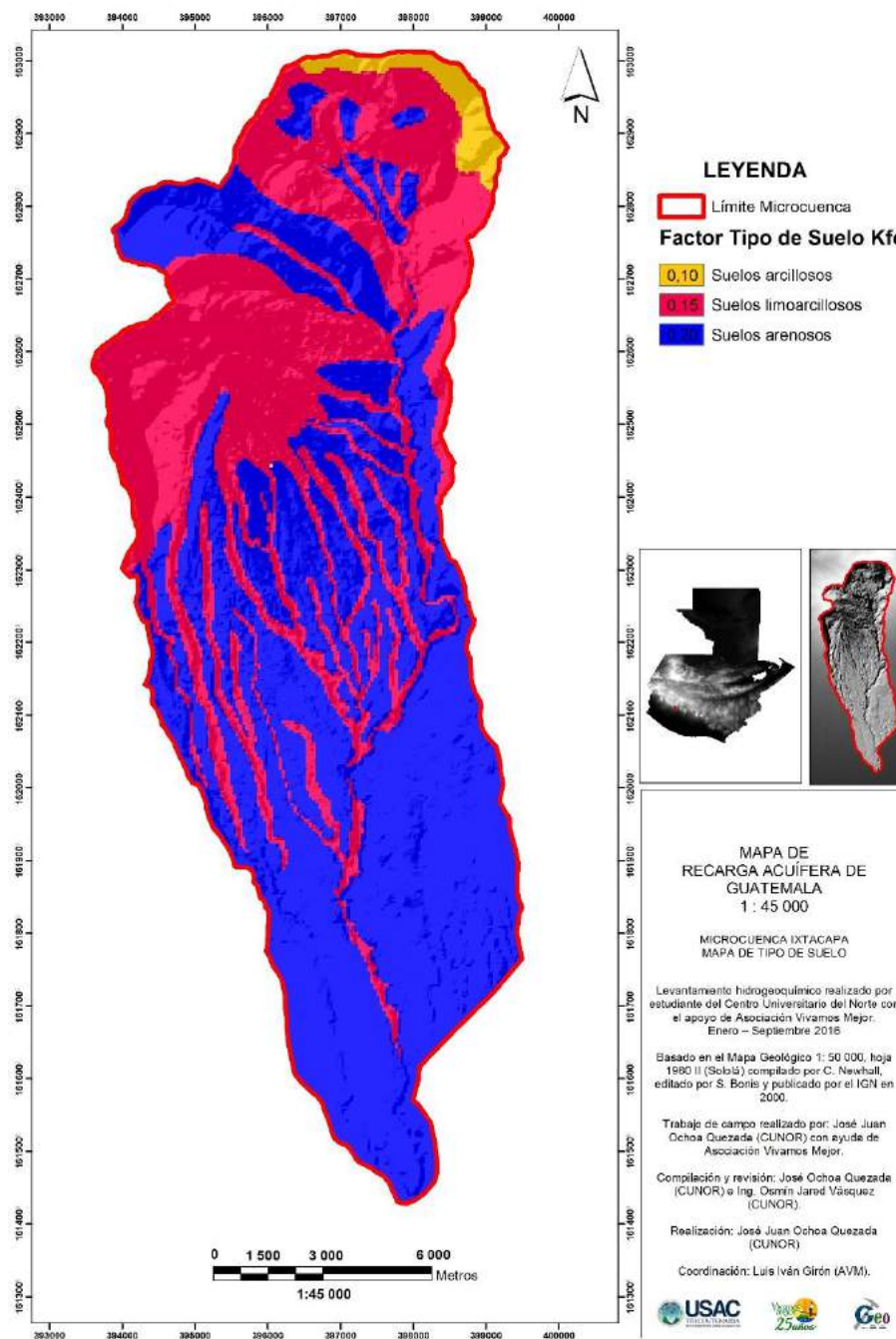


Fuente: Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

### c. Componente por efecto de tipo de suelo

Se calculó en función de la textura del suelo y de la geología en sí, para su cálculo se utilizó el mapa taxonómico de suelos del departamento de Sololá (MAGA, 2010) ver figura 17.

**FIGURA 17**  
**MAPA DE TIPO DE SUELO**



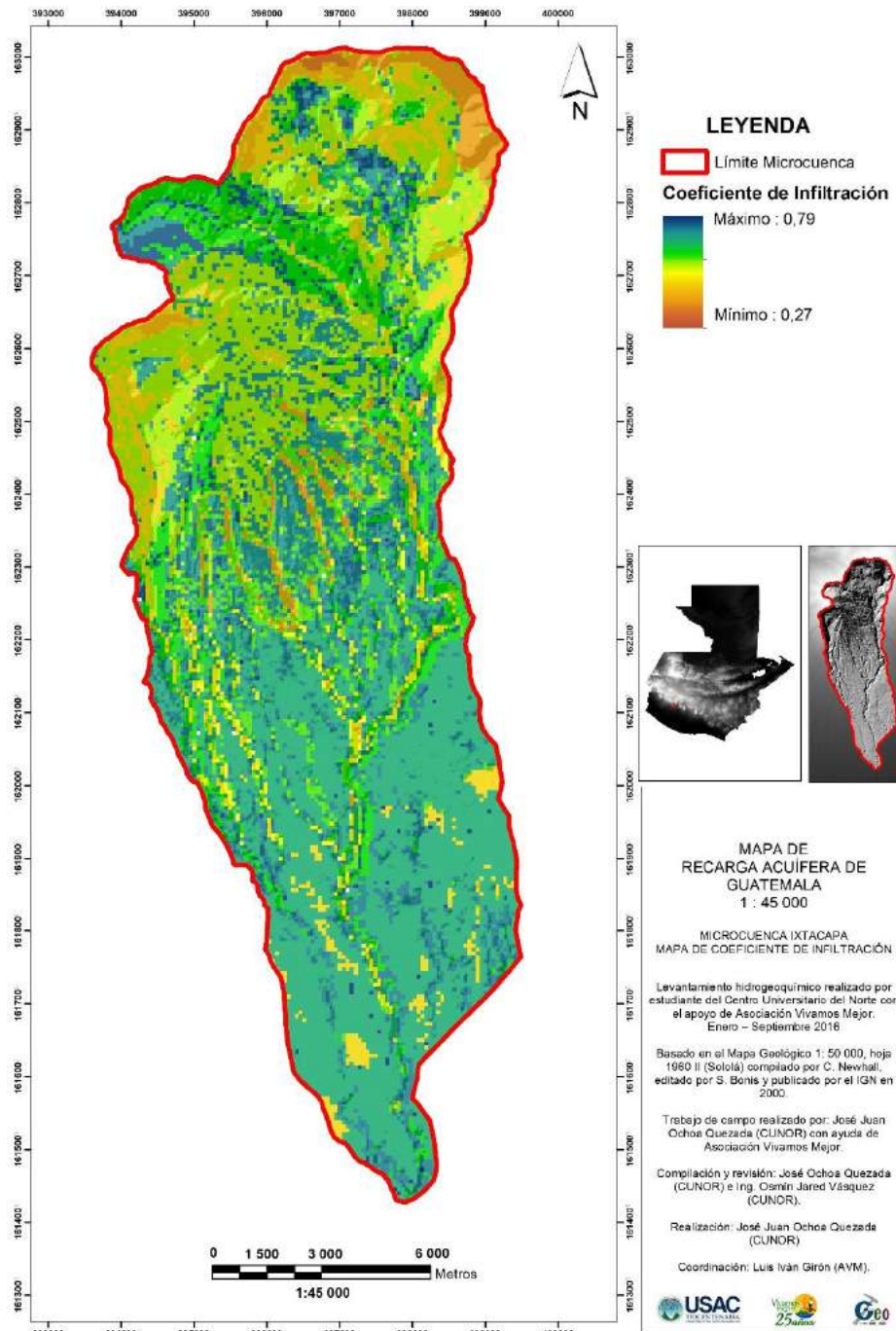
Fuente: Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.



#### d. Coeficiente de infiltración

La suma de los valores se realizó sumando los datos obtenidos para cada factor, el resultado se muestra en la figura 18.

**FIGURA 18**  
**MAPA DE COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN**



**Fuente:** Elaboración propia, Trabajo de Investigación 2016.

### 3.4.3 Cálculo de la recarga acuífera

El cálculo de la recarga acuífera se realizó multiplicando el valor del excedente hídrico (Exc) por el valor del coeficiente de infiltración (Ci), se observa en anexo 4, que es el resultado final de la recarga.

### 3.5 Sistema de abastecimiento para las comunidades

Para que las personas obtengan el agua que viene de los nacimientos dentro de la microcuenca es necesario utilizar tanques de captación y tanques de distribución hacia cada aldea que la necesite.

En algunas de las aldeas ya existe el sistema de captación así como de abastecimiento como: La Ceiba, Chuituj, Pacanal IB y Pacamán. Estas también poseen tanques de distribución para las diferentes familias.

Se observa en la fotografía 2 la estructura principal de los tanques de captación y de distribución hacia las familias. Estos deben de ser tratados, ya que el análisis bacteriológico reportó problemas con excesos de bacterias como Coliformes totales y Escherichia Coli (ver anexos).

#### FOTOGRAFÍA 2 ESTRUCTURA DE UN TANQUE DE CAPTACIÓN



Tomada por: Jose Juan Ochoa Quezada, 2016.

En la aldea Pacamaché se tienen diferentes nacimientos para abastecimiento de las personas, pero la forma de captar el agua no es la adecuada, por lo tanto, se deben construir tanques de captación y tanques de distribución.

Ahora bien, se presenta en la fotografía 3, el tamaño aproximado de un tanque de captación aproximadamente para 50 familias de aldea Chuituj.

### **FOTOGRAFÍA 3 ESTRUCTURA DE UN TANQUE DE DISTRIBUCIÓN**



Tomada por: Jose Juan Ochoa Quezada, 2016.

### **3.6 Discusión de resultados**

Cuando se habla de hidrogeoquímica de las aguas de la microcuenca del río Ixtacapa, resulta que los diagramas de *Stiff* de cada punto estudiado muestran que las unidades litológicas y sus características hidrogeológicas son los principales condicionantes para el proceso de incorporación de sales solubles en las aguas en la microcuenca Ixtacapa.

Según lo anterior, la textura y porosidad de la roca, el grado de fisuración, la estructura geológica regional, la presión, temperatura, secuencia en la que el agua atraviesa distintos materiales, tiempo de

permanencia del agua en contacto con la roca, transmisividad, etc., son los principales responsables de las características físico-químicas de las aguas en la microcuenca.

El tiempo que se mantiene en contacto con los materiales dentro de los acuíferos en la microcuenca es muy variado, y aumenta en función de la profundidad de los materiales. Por lo que, las aguas profundas suelen ser más salinas que las de los acuíferos superficiales ya que tienen más posibilidades de disolver las sales.

Como se observa en los diagramas de *Stiff*, la mayor parte de las aguas procedentes de nacimientos son aguas sulfatadas. Únicamente varían los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio.

En fin, las aguas de la microcuenca del río Ixtacapa son poco salinas. Por lo que implica que los nacimientos muestreados provienen de acuíferos en su mayoría fisurales, poco profundos, por tanto, el tiempo de contacto entre la roca y el agua es bajo.

Los valores de concentración obtenidos para cada elemento se han comparado tanto con los valores de referencia que establece la normativa COGUANOR como con los valores de referencia que establece la OMS.

Se han detectado elementos con concentraciones que superan algunos de los límites establecidos. Las concentraciones de estos elementos, junto con la de algunos elementos mayoritarios, se muestra a continuación.

Los elementos aluminio y arsénico a lo largo de todos los puntos de muestreo poseen la misma concentración la cual es de 0,02 mg/L, concentración que se encuentra por debajo del límite aceptable y del límite permisible. Por otro lado, el amonio posee una variación en sus concentraciones de 0,008 mg/L a 0,067 mg/L, que también se encuentra debajo de los límites establecidos.

El bicarbonato posee una variación de 0,7 mg/L a 1.22 mg/L, el cloro varió de 0,74 mg/L a 10,22 mg/L y la conductividad eléctrica tienen una variación de 42  $\mu\text{m/cm}$  a 170  $\mu\text{m/cm}$ , los cuales no sobrepasan los límites aceptables y permisibles.

Observado el flúor dentro de los puntos de muestreo varía desde 0,04 mg/L a 0,18 mg/L, mientras que los fosfatos varían de 0,05 mg/L a 0,53 mg/L y por otro lado los nitratos poseen una variación de 0 mg/L a 17,4 mg/L; los límites indicados para los elementos mencionados se encuentran debajo de los límites establecidos por la OMS.

Los nitritos poseen una variación de 0,007 mg/L a 0,12 mg/L, el pH que es el grado de acidez varía de 5 a 8, el potasio tiene variación en la concentración de 0 mg/L a 7,8 mg/L, por otra parte, la sílice indica que varía de 39 mg/L a 107 mg/L, así como el sodio el cual varía de 5,03 mg/L a 9,6 mg/L, estos cinco parámetros medidos por el laboratorio reflejan que los resultados están por debajo de los parámetros son aptos para el consumo humano.

La variación del sulfato a lo largo de la microcuenca denota que en el punto 4 existe un sobrepaso al límite permisible, ya que el valor en dicho punto es de 251 mg/L, el valor excede en 1 mg/L por lo que no es una cantidad dañina. Ahora bien, el resto de muestreo se encuentra debajo de los límites aceptables.

La distribución de las concentraciones de los elementos a lo largo de la extensión de la microcuenca se muestran de forma gráfica en los mapas de isolíneas de los anexos.

Cuando se habla de hidrogeología dentro de la microcuenca del río Ixtacapa, se habla de litología y se encuentra constituida por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias, principalmente lavas, tobas y cenizas; así como rocas sedimentarias asociadas a procesos de relleno de calderas y depósitos aluviales a lo largo de los cauces de los ríos. Se

puede observar en el mapa de las unidades hidrogeológicas ubicada en los anexos.

Todas estas descansan sobre una plataforma levantada formada por rocas ígneas. Estas rocas se han agrupado hidrogeológicamente en 2 unidades, según su permeabilidad:

- a. **Permeabilidad por fisuración:** flujos de lavas y lodos asociados a complejos estratovolcánicos terciarios y cuaternarios (Qa y Qta); y sedimentos de relleno.
- b. **Permeabilidad por porosidad granular:** son depósitos piroclásticos pomáceos cuaternarios (Qpa) y depósitos aluviales y coluviales cuaternarios (Qal y Qcol).

Con respecto a la recarga acuífera, las áreas donde se produce una mayor recarga son las localizadas en las regiones cercanas al pico Zunil y Pecul (Parte norte y zona alta).

Este mapa de recarga acuífera comprende tanto la recarga superficial como la recarga profunda, producto del balance hídrico de suelos.

La interpolación del mapa de recarga con el mapa hidrogeológico permitirá definir en qué áreas de la microcuenca la recarga abastece a los acuíferos profundos y en qué áreas la recarga se limita. Cuando una formación geológica de carácter impermeable se encuentra; se limita la circulación del agua, en estos casos, a un flujo subterráneo subsuperficial debido a espesores bajos de las capas litológicas.

No solo el conocimiento de las características y la dinámica de los acuíferos constituyen una información vital en la planificación hidráulica, sino también su potencialidad y temporalidad en lo que puedan abastecer a las principales comunidades dentro de la microcuenca del río Ixtacapa.

Ante la posibilidad de conflictos futuros cada vez más intensos, para satisfacer la demanda de abastecimiento para consumo o por actividad agrícola, es necesario conocer el potencial de las aguas dentro de la microcuenca para ser explotadas de forma racional, mediante pozos, en aquellas áreas donde no exista otra alternativa viable de abastecimiento.

## CONCLUSIONES

- a. Se evaluaron las características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas de la microcuenca del río Ixtacapa, dando como resultado, que el agua de los nacimientos que abastecen a las diferentes comunidades con respecto al análisis bacteriológico, únicamente la muestra que se encuentra en la parte norte de la microcuenca (IX-06) es apta para el consumo humano; en las muestras restantes necesitan ser tratadas en el tanque de captación y distribución para que cuando lleguen a los hogares sea de beneficio y no produzca enfermedades.
- b. Según la geoquímica del área, se determinó que la muestra IX-04 ubicada en la aldea Chuituj, posee un sobre paso en el límite máximo permisible con respecto al sulfato, por lo que en ese punto no es posible consumir el agua. Ya que en cantidades muy altas puede provocar un efecto laxante en los consumidores, así como también puede corroer la tubería de metal de los sistemas de distribución. Debido a que se sobrepasa el límite en 1 mg/L, éste afecta el sabor del agua.
- c. En base a los parámetros fisicoquímicos de la microcuenca, se identificaron tres tipos de facies en las cuales se dividen las aguas dentro de la microcuenca. Los tipos de agua encontrados son: facies sulfatada cálcica, facies sulfatada cálcica sódica potásica y facies sulfatada cálcica magnésica. La distribución del agua dentro de la microcuenca permite identificar que aproximadamente el 70 % del total son aguas sulfatada cálcicas, lo cual indica que, que son facies en las cuales el agua no pierde sus componentes ya que se ha relacionado muy poco con las unidades



geológicas que se encuentran. Son tipos de agua que han estado a mayor profundidad.

- d. Las unidades hidrogeológicas identificadas se dan a conocer en base al grado de permeabilidad que poseen ante el agua que corre por las rocas. Se identificaron tres tipos de permeabilidad los cuales son: porosa, fisural y porosa/fisural. En base al grado de permeabilidad se identificaron cuatro grados: alto, medio, medio-bajo y bajo. Ambas al relacionarse dan a conocer las unidades hidrogeológicas de la microcuenca. Siendo las más porosas y con alto grado de permeabilidad las unidades más recientes como los aluviones y los coluviones, mientras que las unidades Qtv, Qta, Qrd y Qrdf son las que poseen un grado medio-bajo y bajo de permeabilidad son tipo porosa/fisural y son las unidades geológicas más antiguas.
- e. Con respecto al balance hídrico de la microcuenca, se puede notar que hay más agua dentro de los afluentes son de mayo a diciembre, siendo las épocas con más lluvia y menos evapotranspiración del suelo. A su vez, la parte norte de la microcuenca, por ser casi inhabitada, tiende a tener más vegetación, que hace que el agua pueda infiltrarse de tal manera que el agua corra por las rocas hasta llegar a las comunidades. En las partes más bajas a pesar de haber poblaciones, el agua es suficiente para abastecerlas, ya que aproximadamente cada aldea posee al menos tres nacimientos de agua, los cuales siempre aportan la cantidad suficiente.
- f. Debido a que las comunidades tienen en sus nacimientos de agua tanques de distribución, estos deben estar limpios. Y si no poseen deben ubicarlos en lugares adecuados para que todas las personas puedan tener el vital líquido.

## **RECOMENDACIONES**

- a. Realizar estudios geofísicos para conocer el espesor de las diferentes unidades litoestratigráficas y así determinar la profundidad exacta del acuífero.
  
- b. Realizar estudios cada cierto tiempo (lo recomendable 3 veces al año), para conocer si las bacterias aumentan o decaen, así como también para ver si los parámetros fisicoquímicos se modifican con el tiempo.



## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón -JICA-. *Estudio sobre el desarrollo de las aguas subterráneas en el altiplano central de la república de Guatemala*. Guatemala: JICA., 1995.
- Asociación Vivamos Mejor. *Caracterización de la cuenca alta nor-occidente del río Nahualate*. Sololá, Guatemala: Plan de Manejo de Cuencas, 2011.
- . *Informe línea de base de la cuenca alta-nor-occidente del río Nahualate*. Sololá, Guatemala: Programa de Gestión y tecnología en salud y desarrollo, 2012.
- Auge, Miguel. *Hidrogeología ambiental*. Universidad de Buenos Aires. Argentina: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 2008.
- Bonis, S. *Mapa geológico de Sololá*. (Hoja 1960 II). Escala 1: 50 000 Color.
- Breña Puyol, Agustín. *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana. México: Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional, 2006.
- Brown, Theodore. *Química, la ciencia central*. México: Pearson Educación, 2009.
- Escuder, R. Et. Al. *Hidrogeología, conceptos básicos de hidrología subterránea*. Barcelona, España: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, 2009.
- Fagundo, Juan. *Hidrogeoquímica*. La Habana, Cuba: Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional, 2005.
- Gutiérrez, M. *Geomorfología*. Madrid, España: Prentice Hall. 2009.
- Hughes, J. *Geology and petrology of Caldera Tzanjuyub, western Guatemala*. New Hampshire, United States of America: Harcourt Brace College Publishers, 1978.

- Instituto Nacional de Electrificación -INDE-. *Proyecto Zunil, estudio de factibilidad preliminar geológico y vulcanológico*. Guatemala: Unidad de Planificación Geológica, 1977.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-. *Atlas climatológico de la república de Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH., 1988.
- Martínez Alfaro, Pedro. Et.Al. *Fundamentos de hidrogeología*. Barcelona, España: Editorial Aedos, 2006.
- McCabe, Warren L. *Operaciones básicas de ingeniería química*. Madrid, España: McGraw-Hill, 1985.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-. *Atlas temático de la república de Guatemala*. Guatemala: Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo, 2005.
- Nuñez, L. y V. Martínez. *Informe complementario de la cartografía geológica y geomorfológica (1: 25,000) de la cuenca del lago Atitlán Guatemala*. Sololá, Guatemala: Geólogos del Mundo, 2012.
- . *Mapa geológico de la cuenca Atitlán*. Escala 1: 25 000 Color. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2012.
- . *Mapa geomorfológico de la cuenca Atitlán*. Escala 1: 25 000 Color. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2012.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura -UNESCO-. *Agua para todos, agua para la vida*. Paris: Programa de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2003.
- Paricio, Sergi. *Caracterización geotemática de la microcuenca de Tzozomá*. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.
- . *Informe hidrogeológico y de recarga acuífera de la microcuenca Tzozomá*. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2014.
- Russell, David L. *Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico*. Barcelona, España: Reverte, 2006.
- Sendra, Gemma. *Estudio hidrogeológico preliminar de la parte alta de la microcuenca de Tzozomá, departamento de Sololá, Guatemala*. Sololá, Guatemala: Vivamos Mejor, 2012.

Simmons, Charles. Et. Al. *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala*. Guatemala: Editorial José de Pineda Ibarra, 1959.

Verlag Herder, KC. *Diccionario geológico*. España: Rioduero, 1974.

Werner, Joerg. *Introducción a la hidrogeología*. Universidad de Nuevo México, México: Facultad de Ciencias de la Tierra, 1996.



V.ºB.º



---

Adán García Veliz

Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa  
Bibliotecario



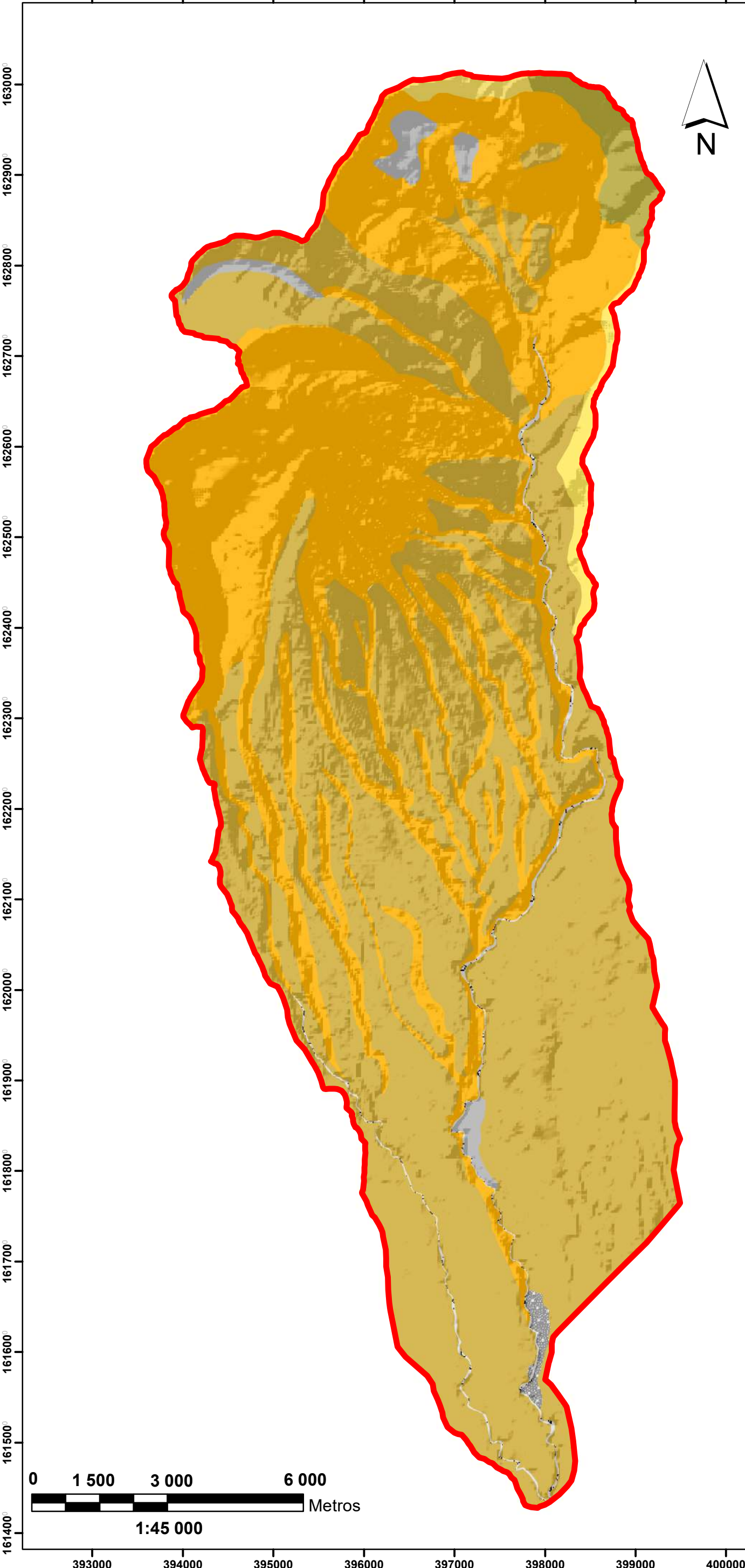


## ANEXOS











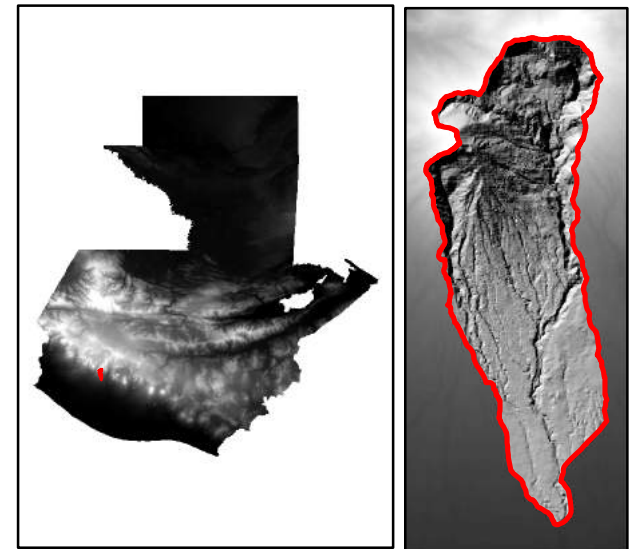


393000 394000 395000 396000 397000 398000 399000 400000



**LEYENDA**  
 Límite Microcuenca  
**Unidades Litológicas**

-  Depósitos Aluviales asociados a Llanuras de Inundación y Depósitos de Canal Reciente
-  Depósitos Aluviales Asociados a Terrazas Actuales, Formados por Arcillas, Limos, Arenas, Gravas, Cantos y Bloques Poligénicos
-  Depósitos Coluviales Asociados al Piedemonte de las Laderas
-  Depósitos Piroclásticos de Caída Post-Los Chocoyos
-  Depósitos de Domo de Lavas Riolíticas
-  Depósitos Volcánicos de Domo de Lavas Riolíticas
-  Depósitos Volcánicos No Divididos
-  Depósitos Volcánicos Andesíticos



MAPA  
 HIDROGEOQUÍMICO DE  
 GUATEMALA  
 1 : 45 000

MICROCUECNA IXTACAPA  
 MAPA GEOLÓGICO

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

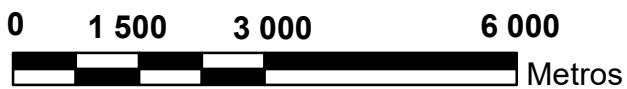
Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

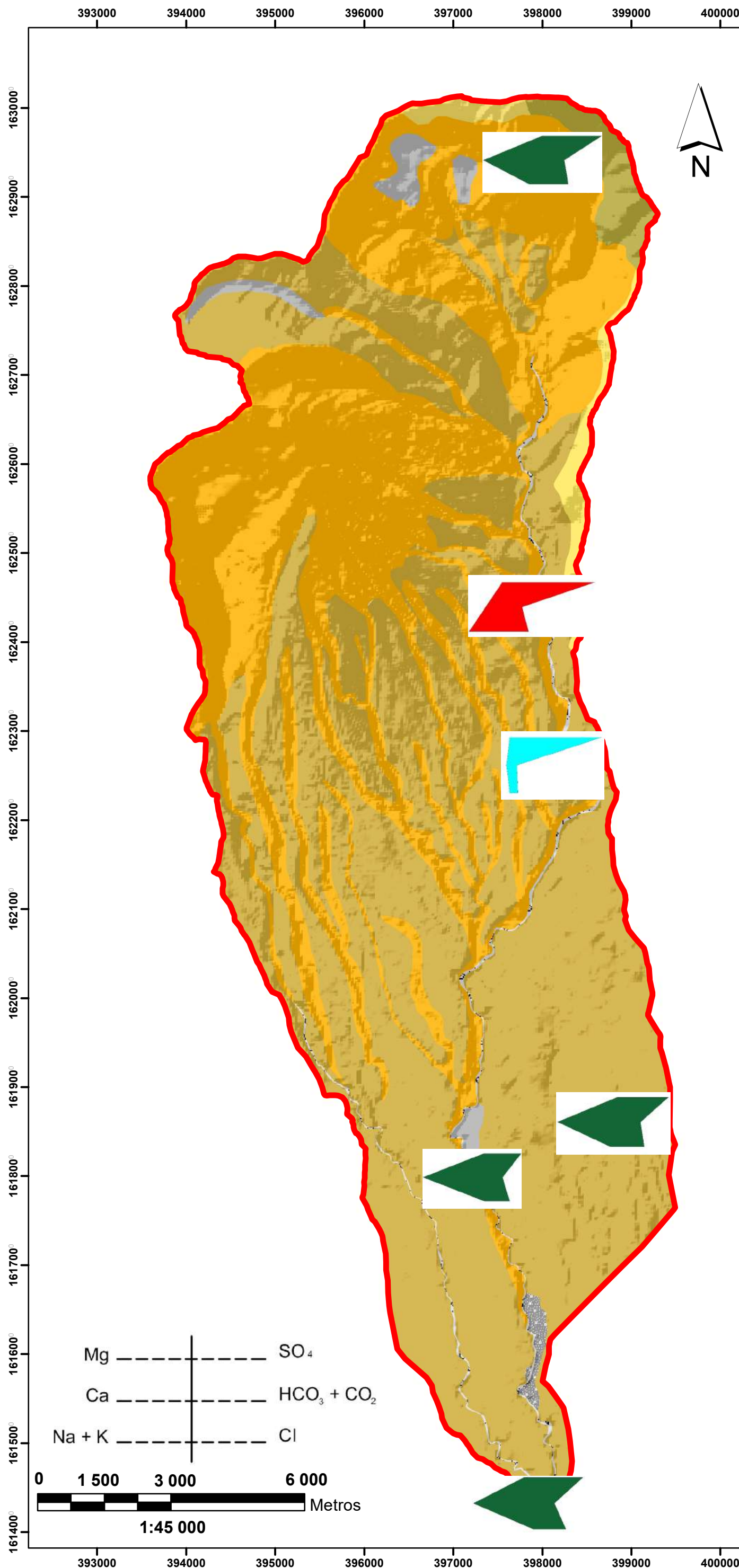
Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).












1:45 000

393000 394000 395000 396000 397000 398000 399000 400000




163000 162900 162800 162700 162600 162500 162400 162300 162200 162100 162000 161900 161800 161700 161600 161500 161400

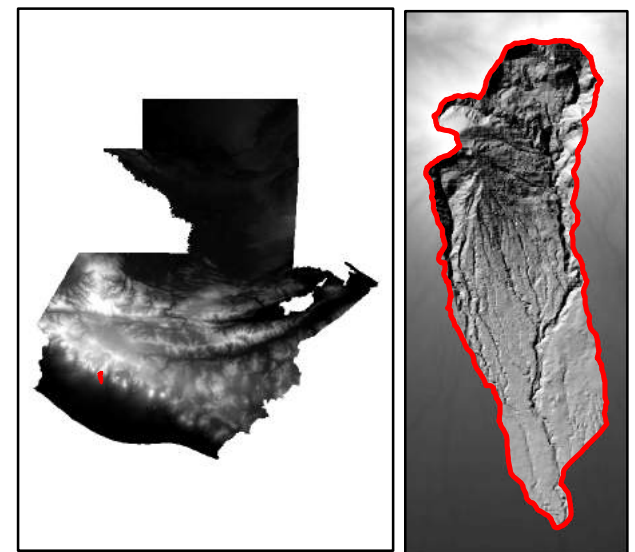


**LEYENDA**  
**Unidades Litológicas**

-  Límite Microcuenca
-  Qal3 Depósitos Aluviales asociados a Llanuras de Inundación y Depósitos de Canal Reciente
-  Qaj4 Depósitos Aluviales Asociados a Terrazas Actuales, Formados por Arcillas, Limos, Arenas, Gravas, Cantos y Bloques Poligénicos
-  Qcol2 Depósitos Coluviales Asociados al Piedemonte de las Laderas
-  Qpa4 Depósitos Piroclásticos de Caída Post-Los Chocoyos
-  Qrd Depósitos de Domo de Lavas Riolíticas
-  Qrdf Depósitos Volcánicos de Domo de Lavas Riolíticas
-  Qtv Depósitos Volcánicos No Divididos
-  Qta Depósitos Volcánicos Andesíticos

**Tipos de Agua**

-  Facies Sulfatada Cálctica Sódica Potásica
-  Facies Sulfatada Cálctica Magnésica
-  Facies Sulfatada Cálctica



**MAPA  
 HIDROGEOQUÍMICO DE  
 GUATEMALA  
 1 : 45 000**

MICROCUECNA IXTACAPA  
 MAPA DE TIPOS DE AGUA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

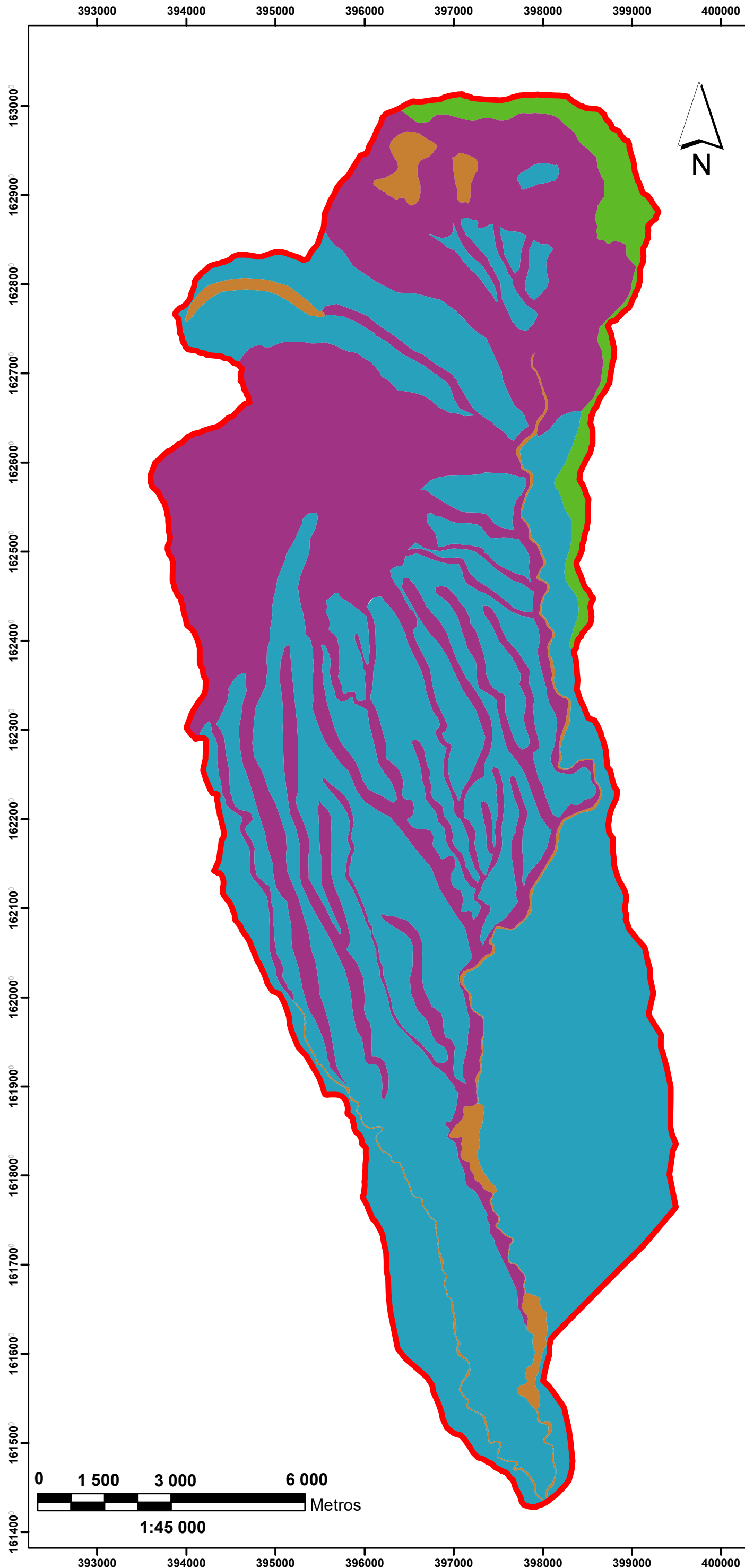
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).





**LEYENDA**

 Límite Microcuenca

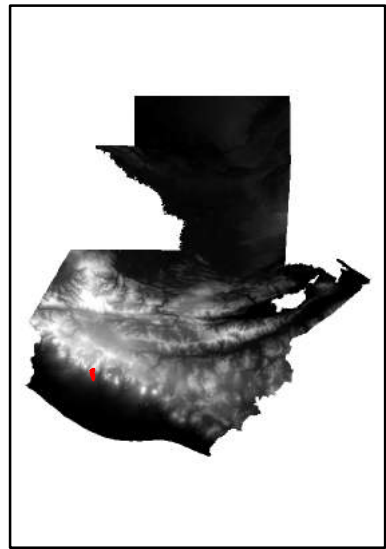
**Grado de Permeabilidad**

 Bajo

 Medio-Bajo

 Medio

 Alto



MAPA  
HIDROGEOLÓGICO DE  
GUATEMALA  
1 : 45 000

MICROCUECNA IXTACAPA  
MAPA DE GRADO DE PERMEABILIDAD

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

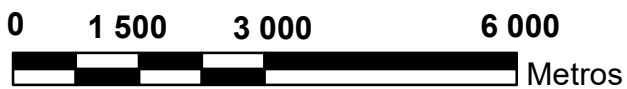
Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmin Jared Vásquez (CUNOR).

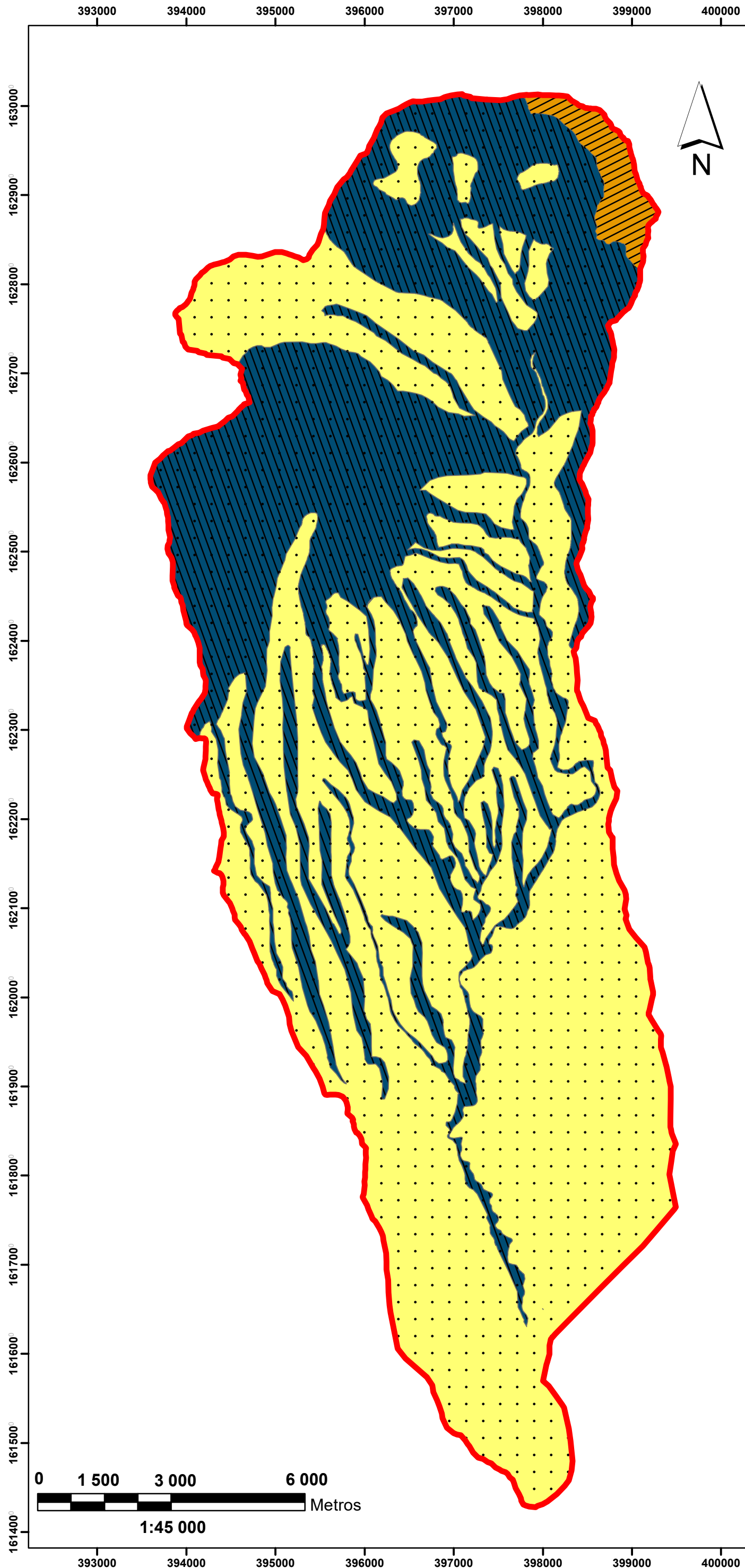
Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



1:45 000





**LEYENDA**

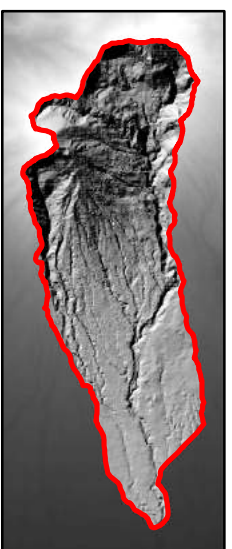
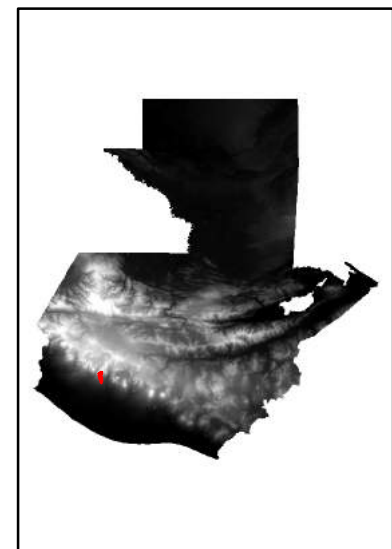
 Límite Microcuenca

**Tipo de Permeabilidad**

 Fisural

 Porosa

 Porosa/Fisural



MAPA  
HIDROGEOLÓGICO DE  
GUATEMALA  
1 : 45 000

MICROCUCIENCA IXTACAPA  
MAPA DE TIPO DE PERMEABILIDAD

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

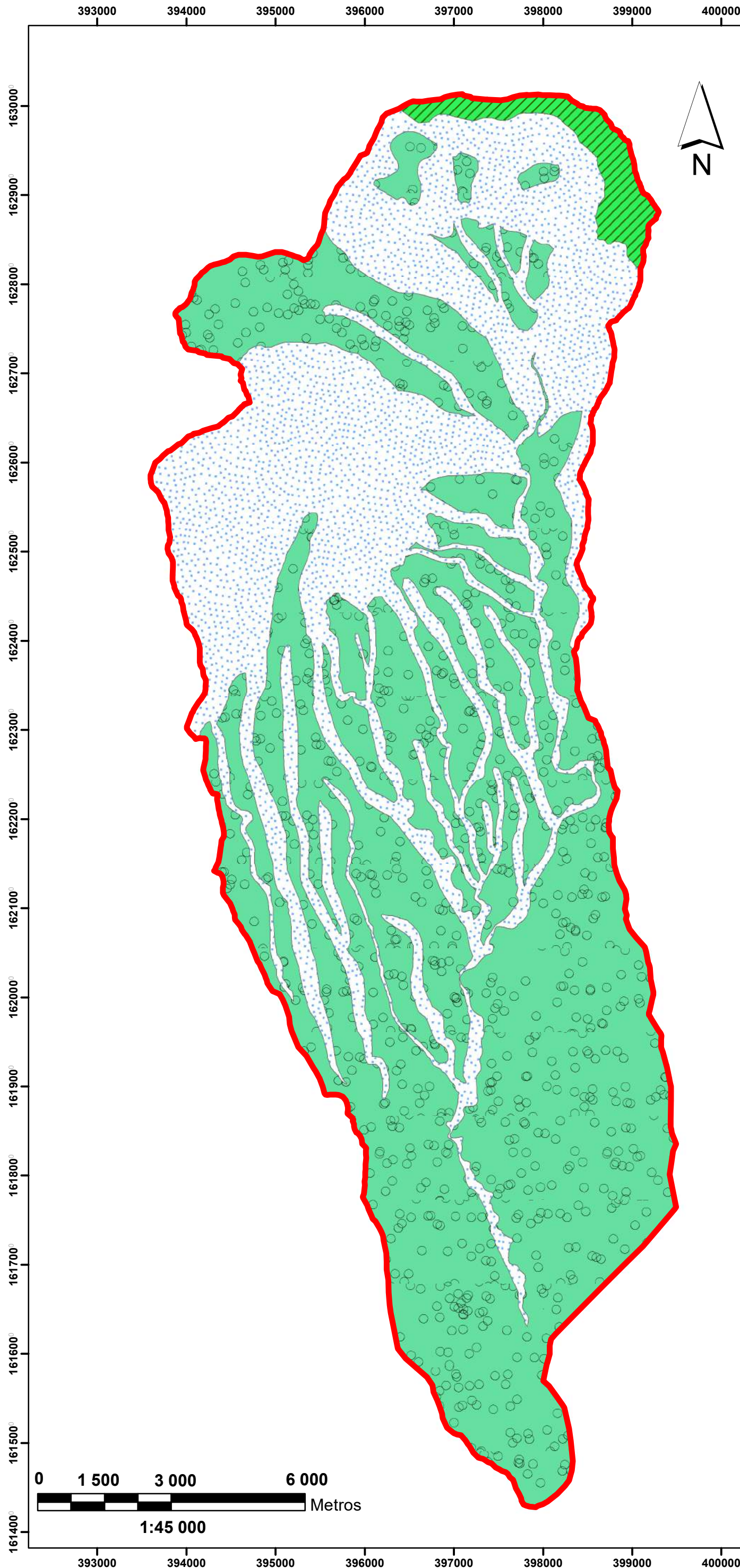
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmin Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

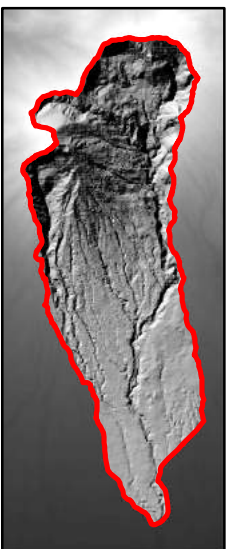
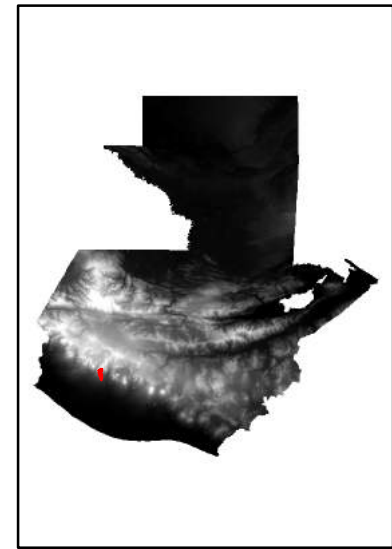
Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).





**LEYENDA**

-  Límite Microcuenca
- Unidad Hidrogeológica**
-  Poroso con permeabilidad alta
-  Fisural con permeabilidad baja
-  Fisural/Poroso con permeabilidad media-baja



**MAPA  
HIDROGEOLÓGICO DE  
GUATEMALA  
1 : 45 000**

**MICROCUECNA IXTACAPA  
MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

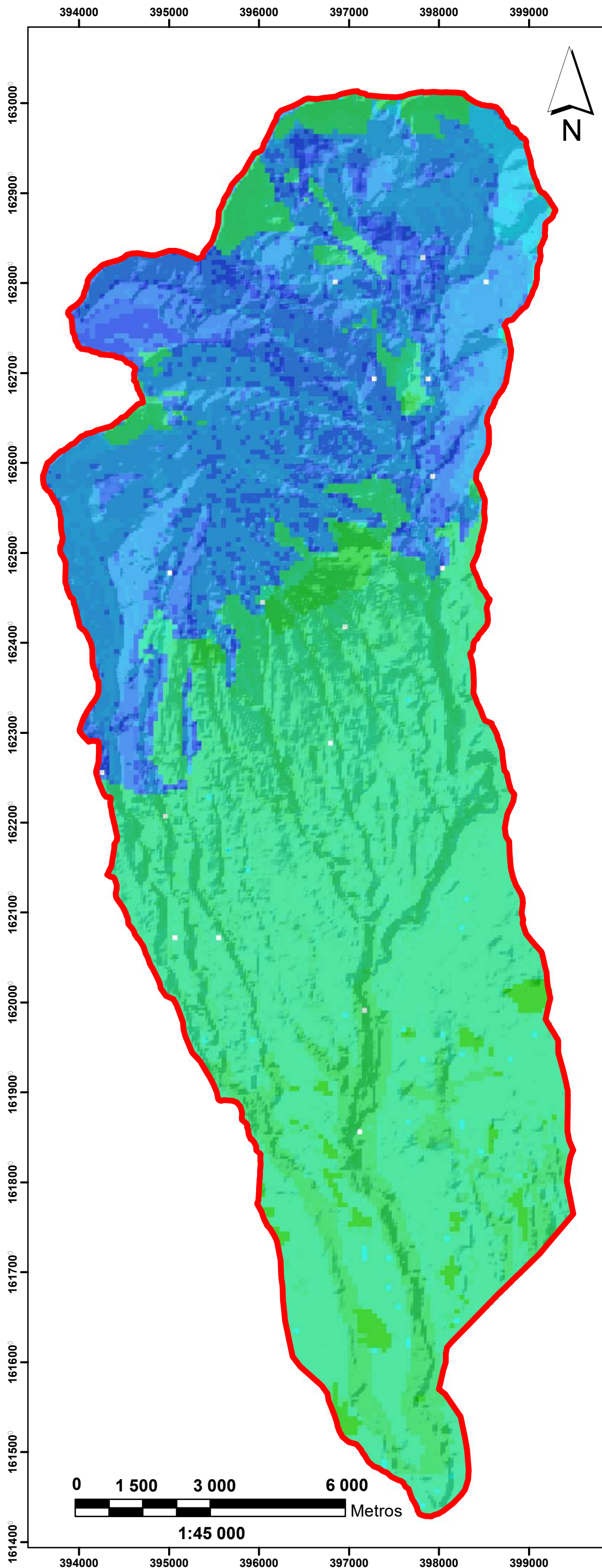
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmin Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).





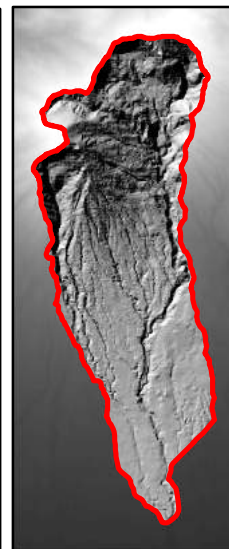
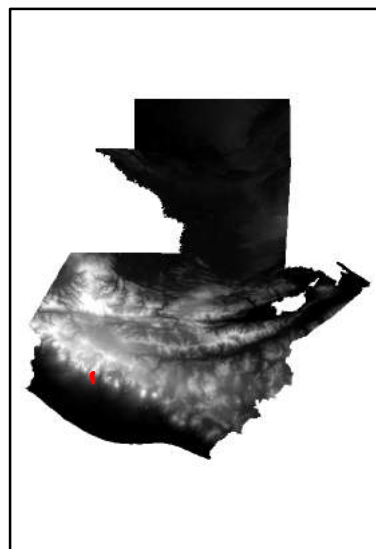
**LEYENDA**

Límite Microcuenca

**Recarga Acuífera (mm)**

Alto : 688.47868  
Recarga Máxima

Bajo : 14.26831  
Recarga Mínima



**MAPA DE  
RECARGA ACUÍFERA DE  
GUATEMALA  
1 : 45 000**

**MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE RECARGA**

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

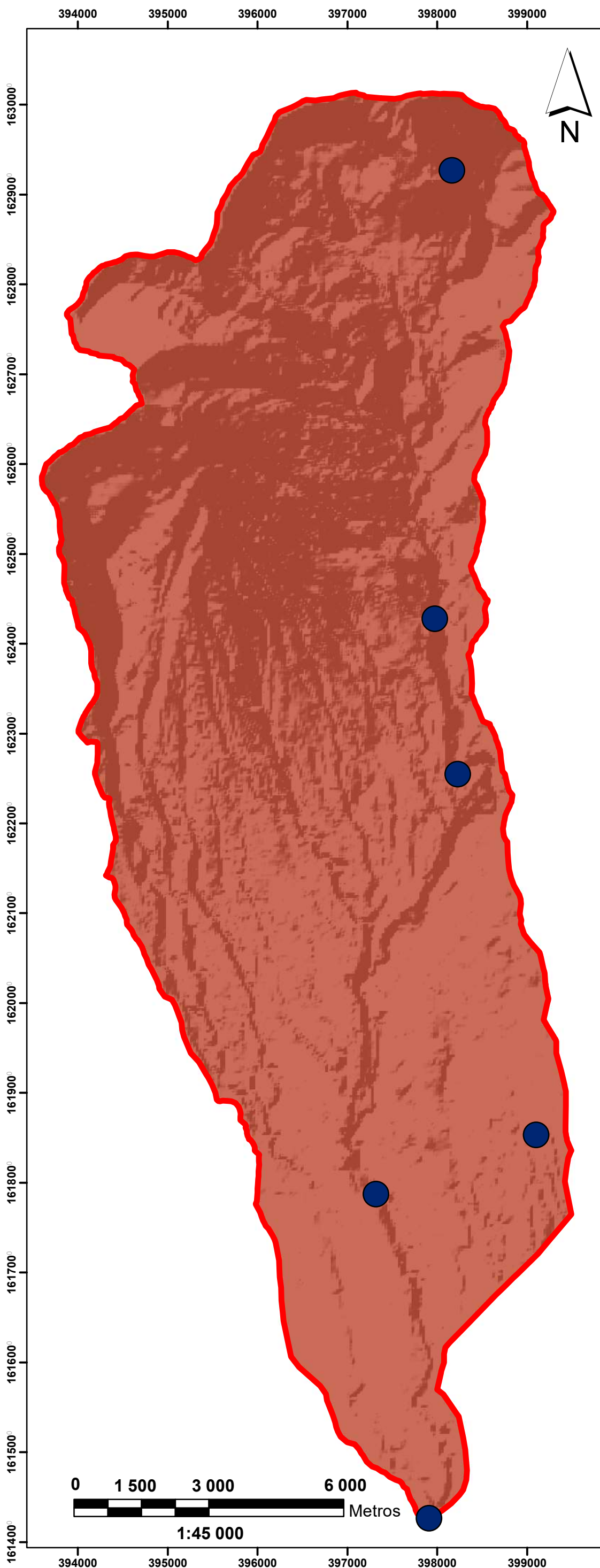
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).





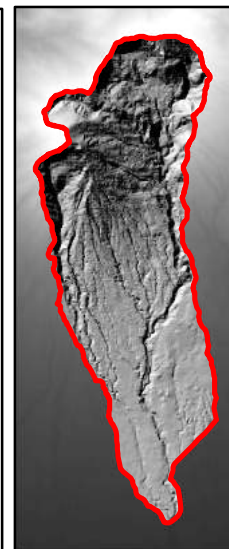
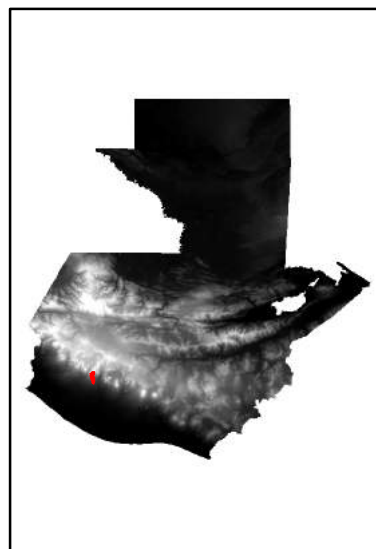
## LEYENDA

 Puntos de Muestreo

 Límite Microcuenca

### Aluminio mg/L

 0,02



### MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

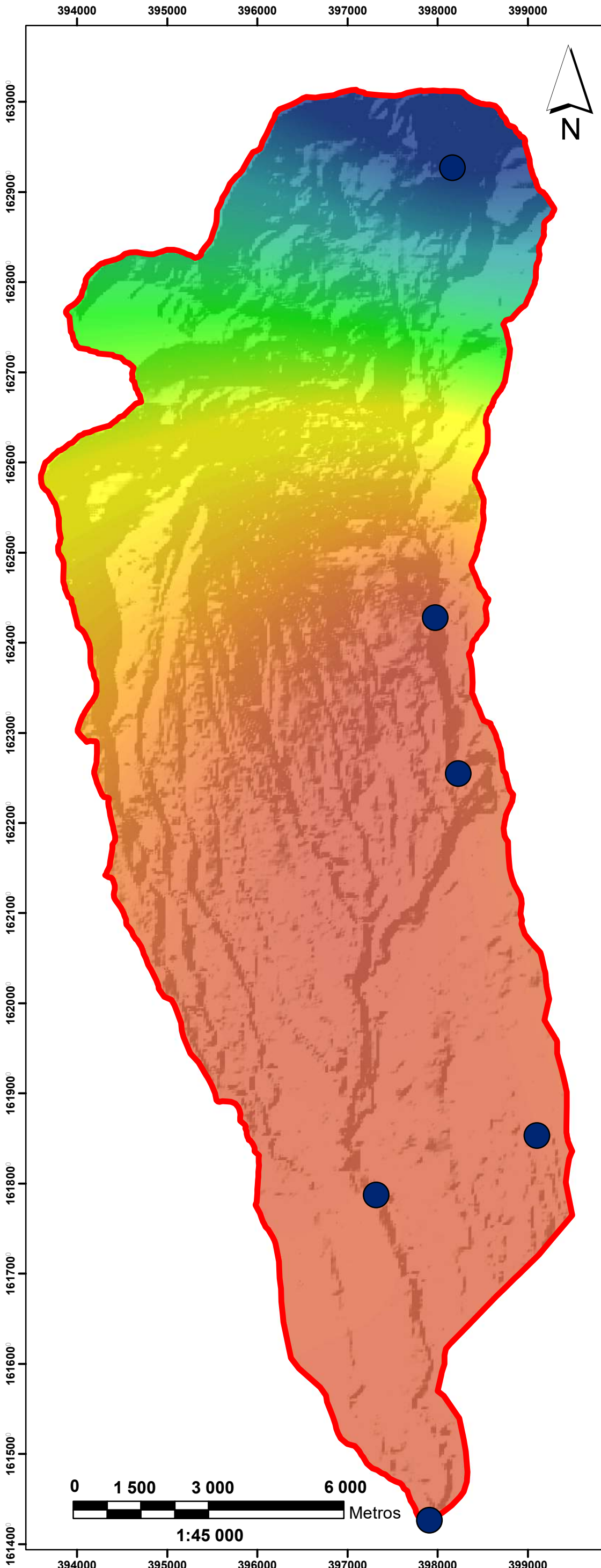
Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).





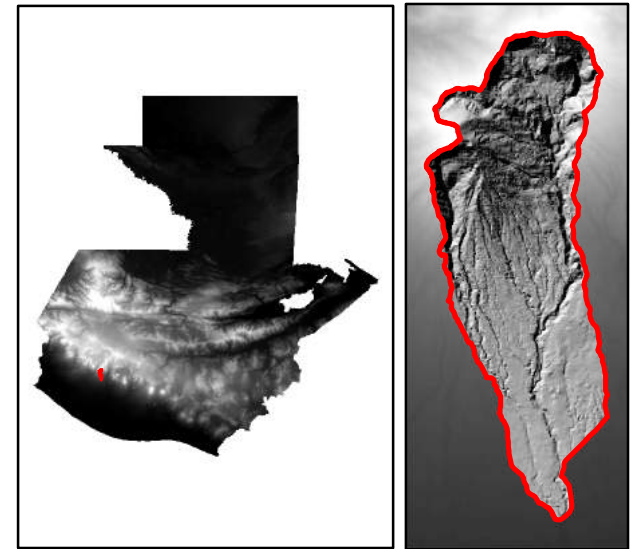
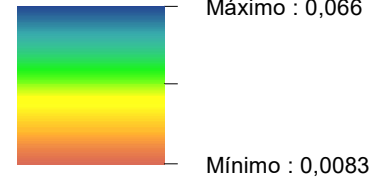


### LEYENDA

● Puntos de Muestreo

□ Límite Microcuenca

### Amonio mg/L



### MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por  
estudiante del Centro Universitario del Norte con  
el apoyo de Asociación Vivamos Mejor.  
Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja  
1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall,  
editado por S. Bonis y publicado por el IGN en  
2000.

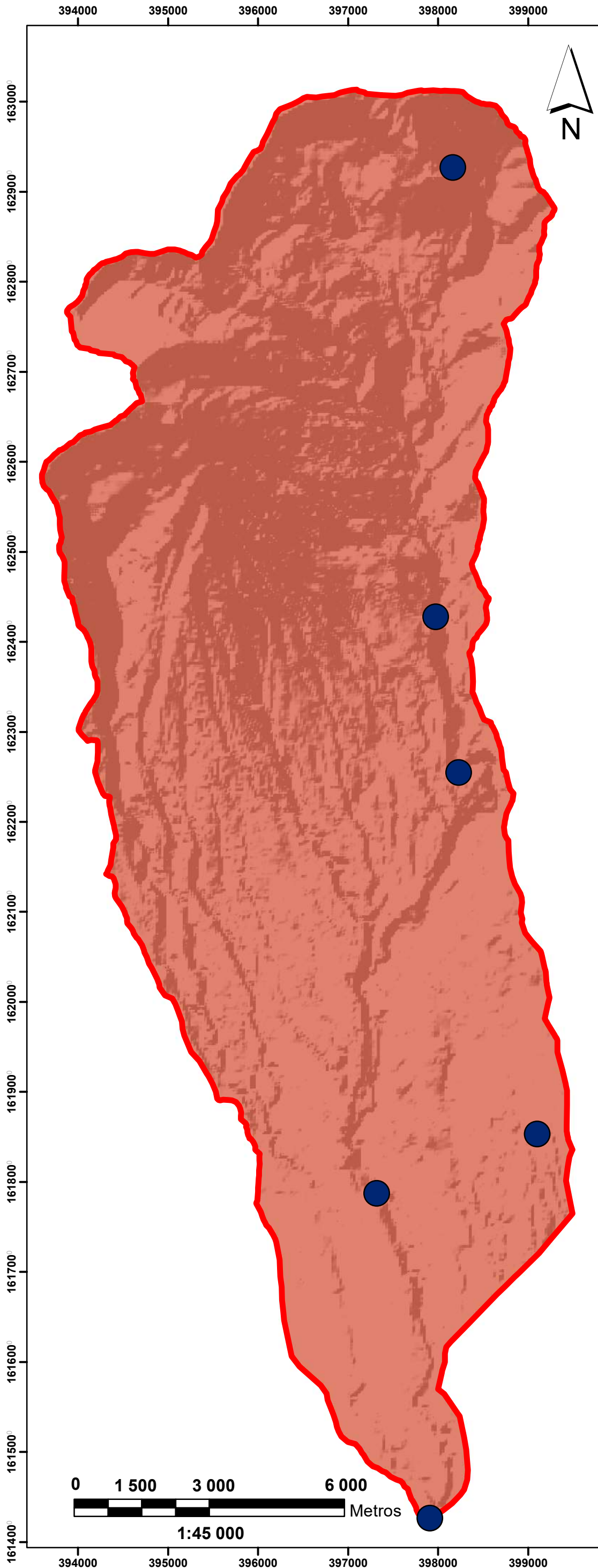
Trabajo de campo realizado por: José Juan  
Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de  
Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada  
(CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez  
(CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada  
(CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).





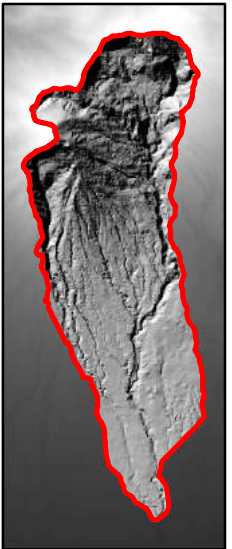
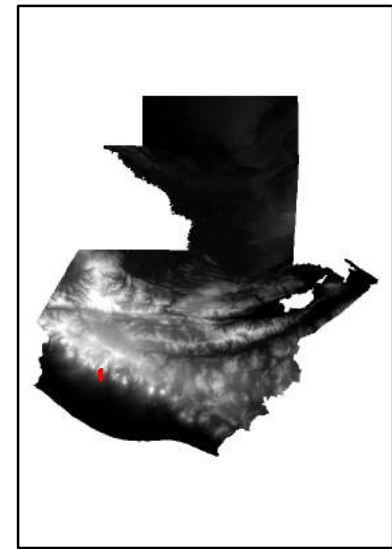
## LEYENDA

 Puntos de Muestreo

 Límite Microcuenca

### Arsénico mg/L

 0,002



### MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

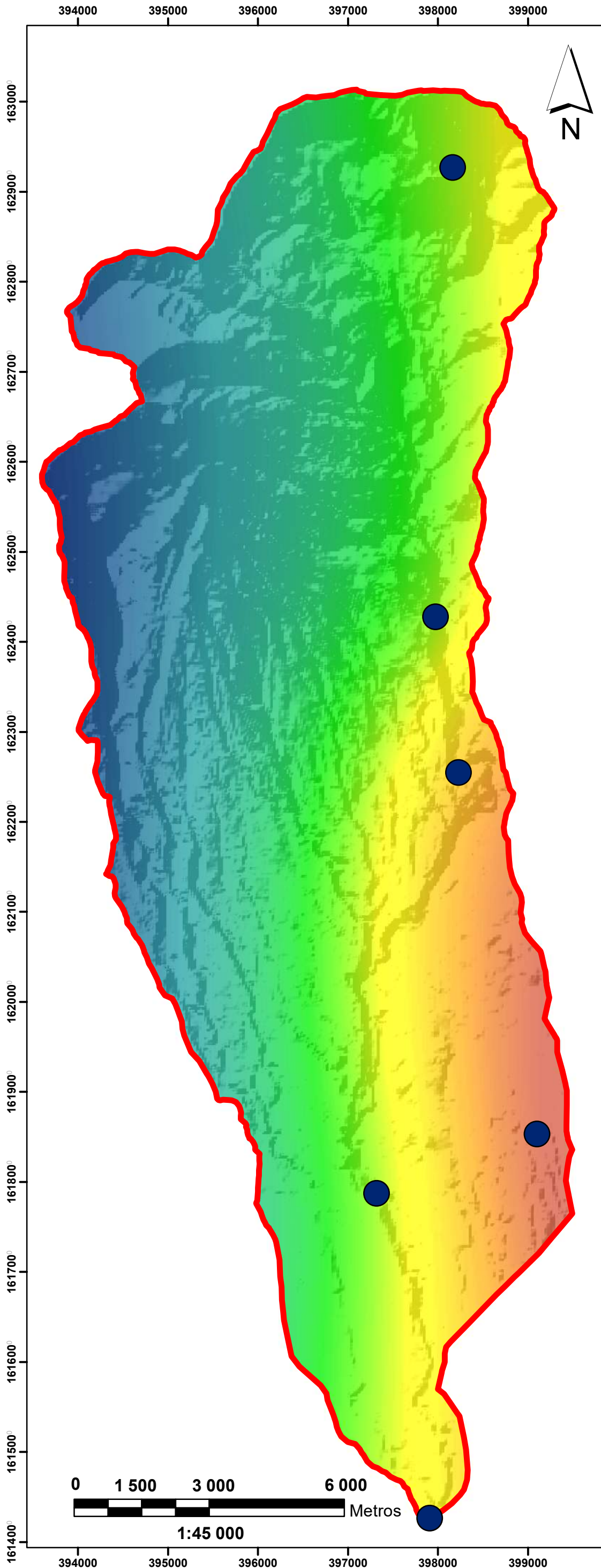
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



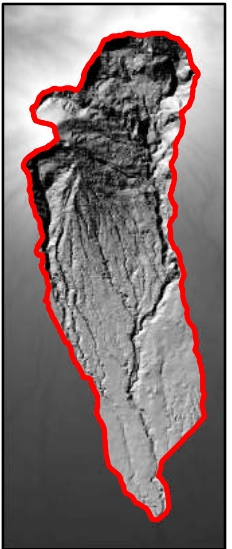
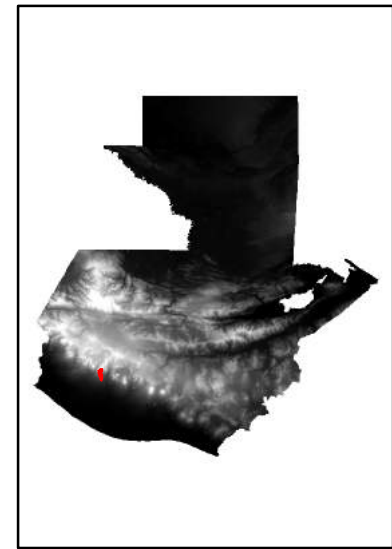
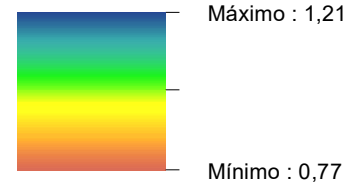


## LEYENDA

Puntos de Muestreo

Límite Microcuenca

### Bicarbonato mg/L



### MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

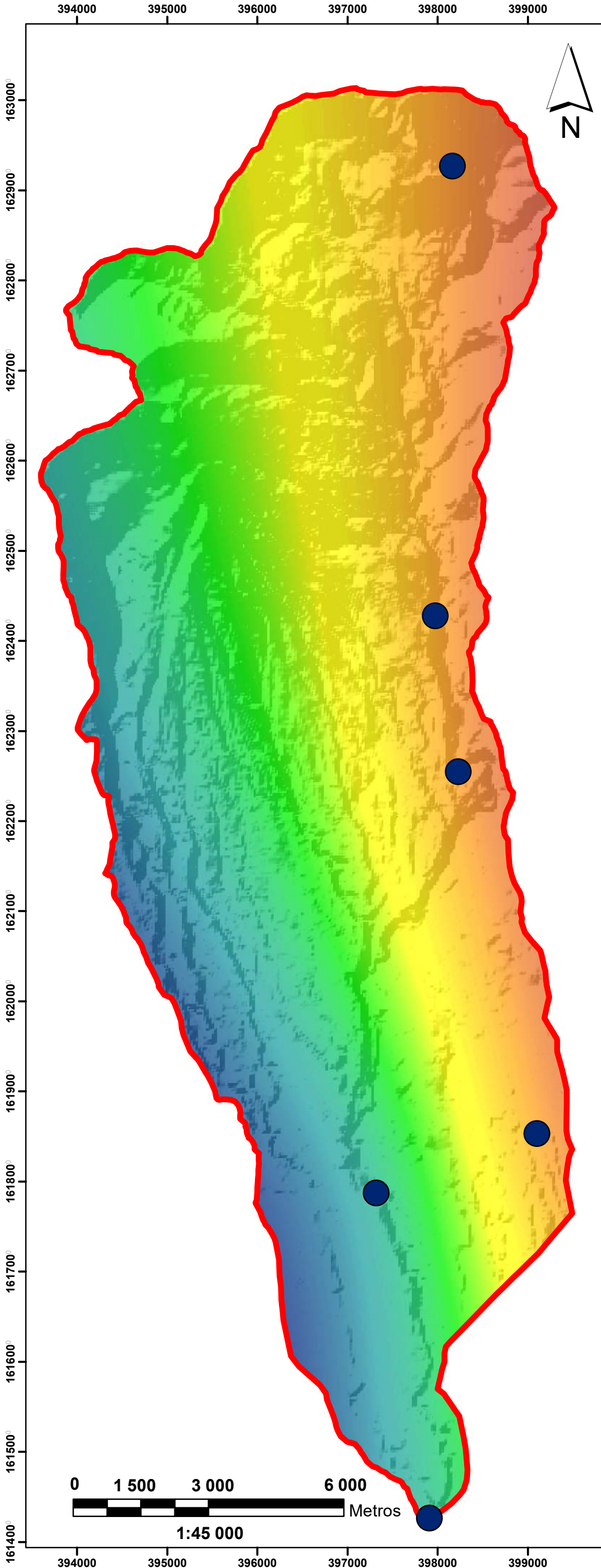
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



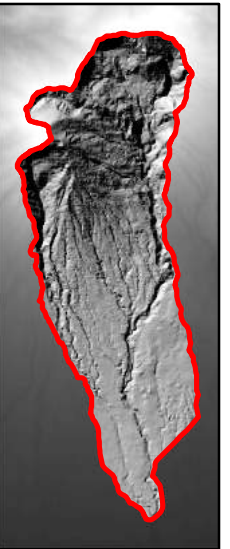
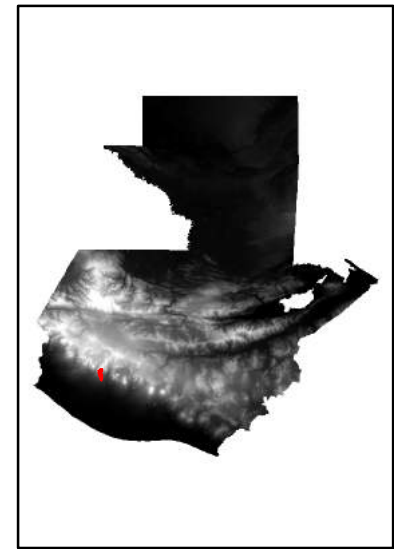
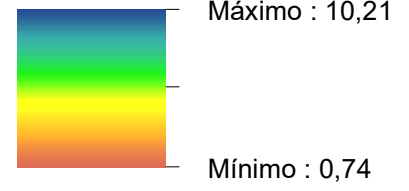


## LEYENDA

Puntos de Muestreo

Límite Microcuenca

### Cloruro mg/L



### MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

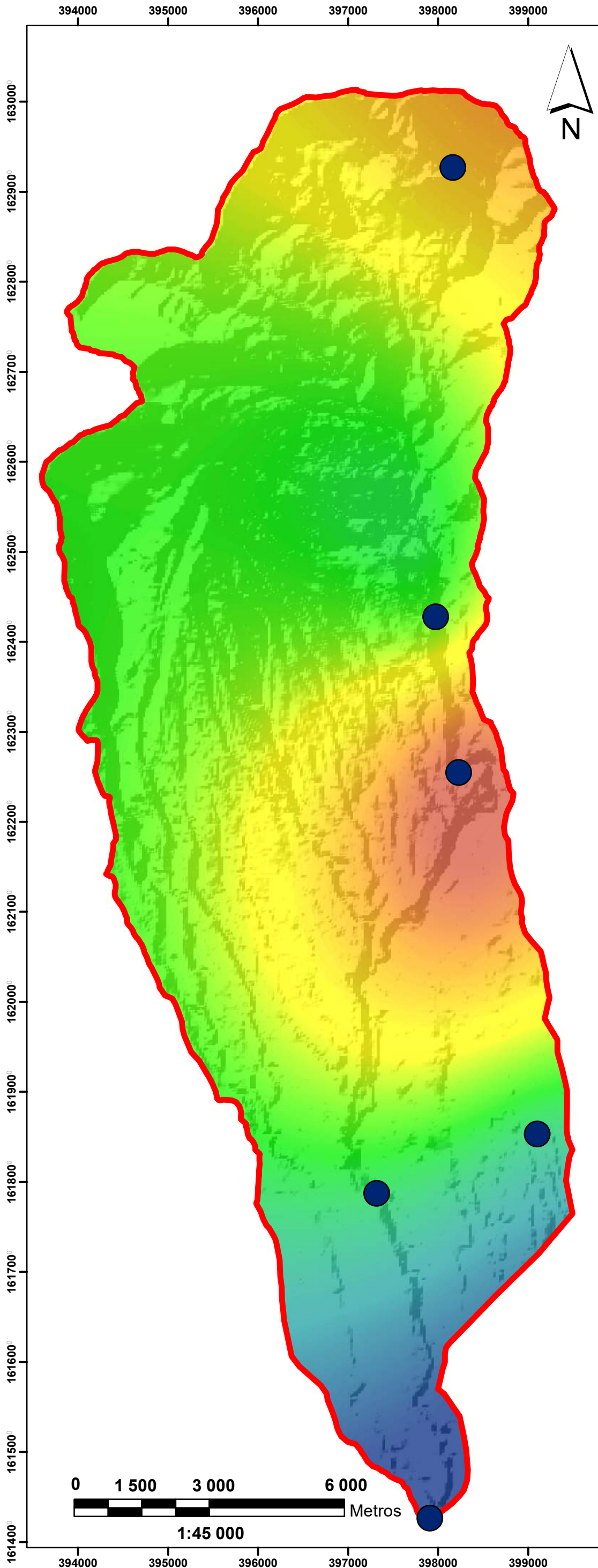
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



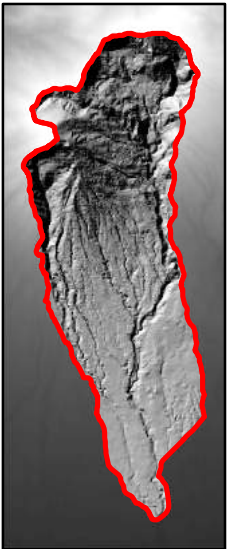
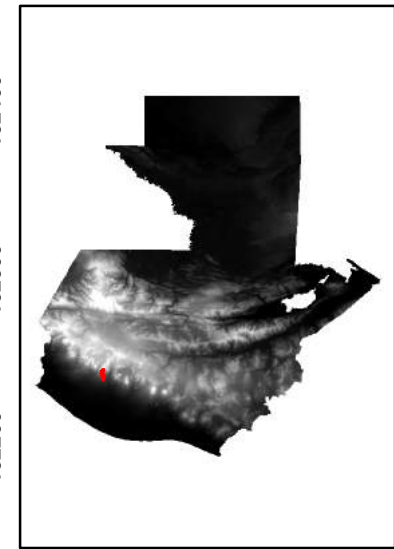
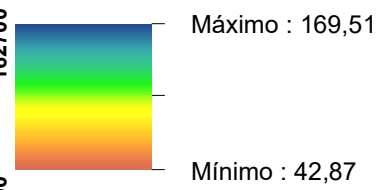


## LEYENDA

● Puntos de Muestreo

□ Límite Microcuenca

### Conductividad um/cm



### MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUECNA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

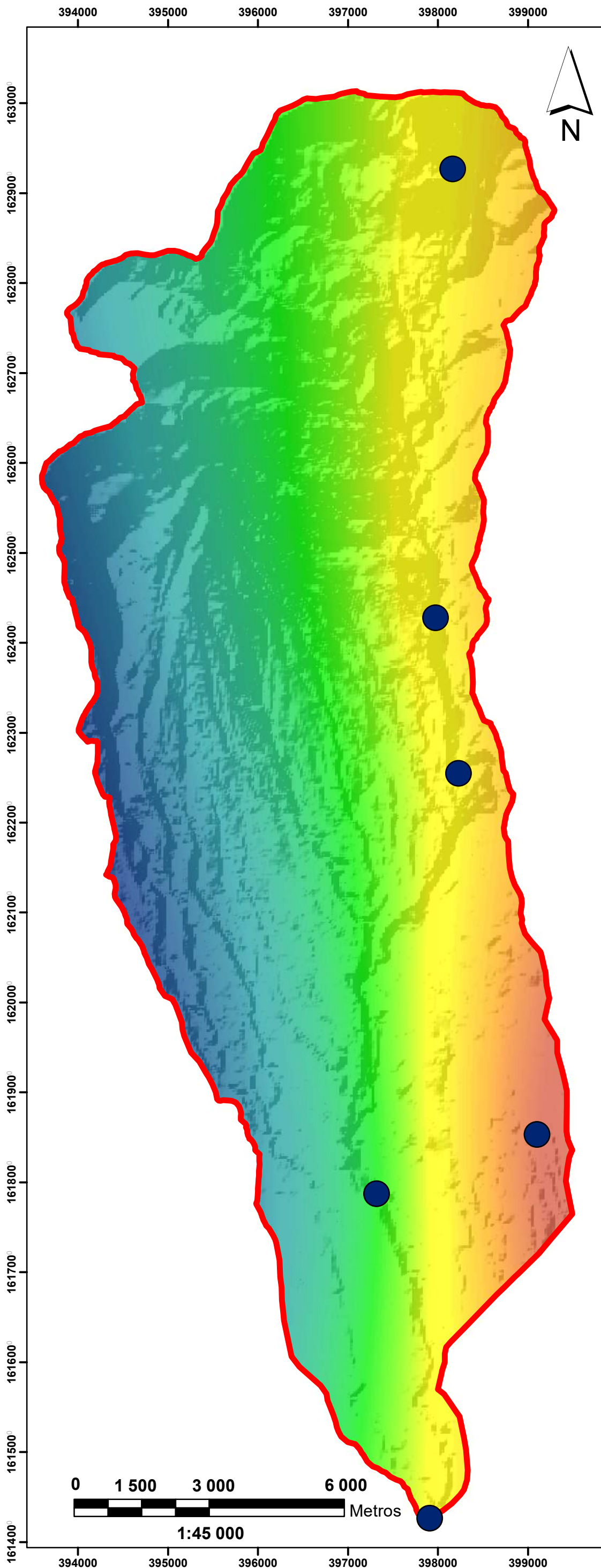
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



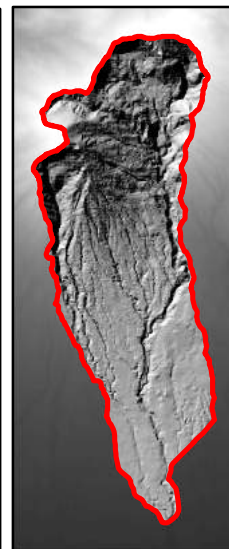
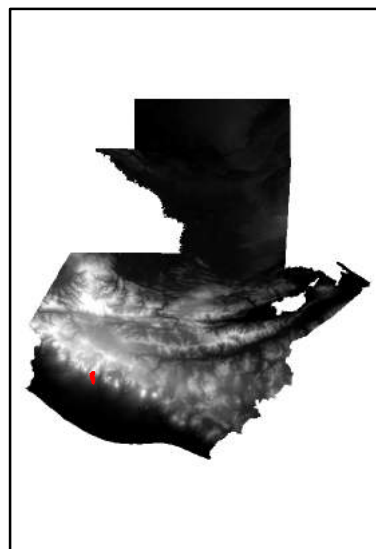
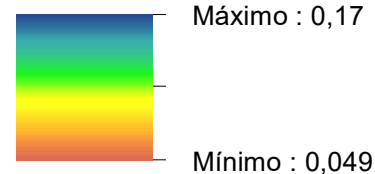


## LEYENDA

● Puntos de Muestreo

□ Límite Microcuenca

### Flúor mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

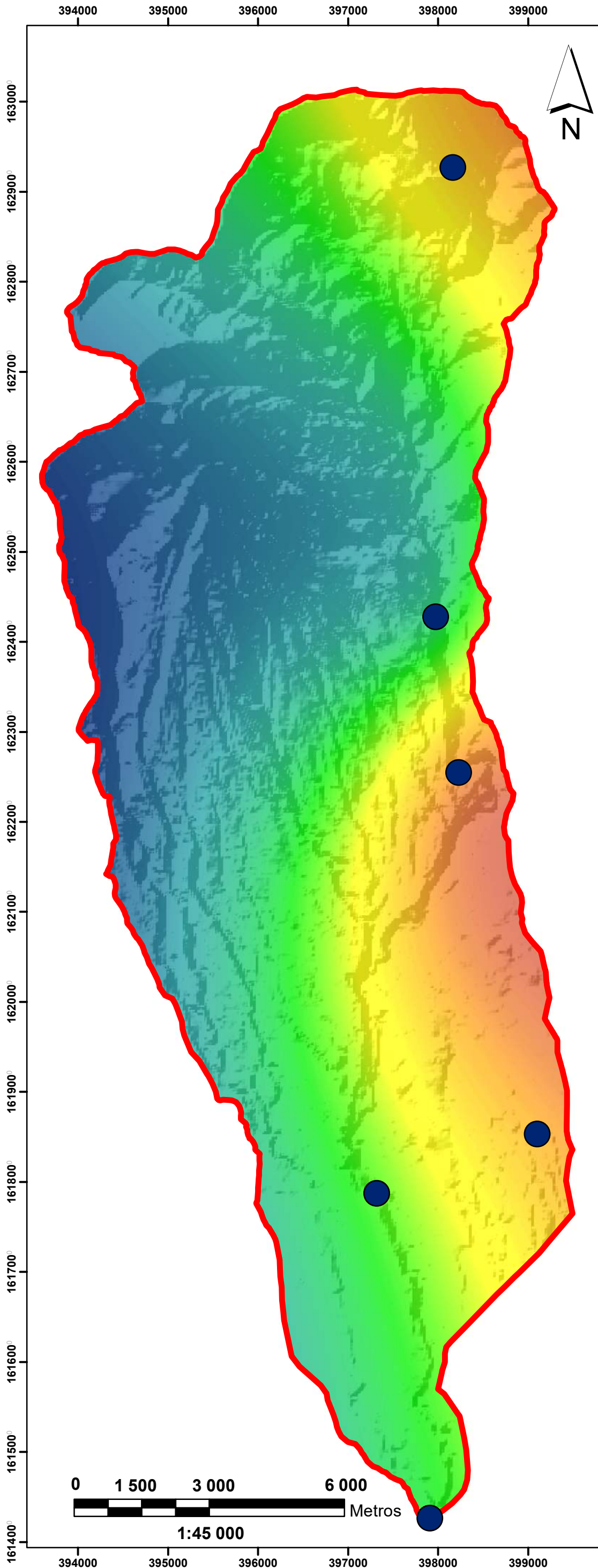
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).



Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).

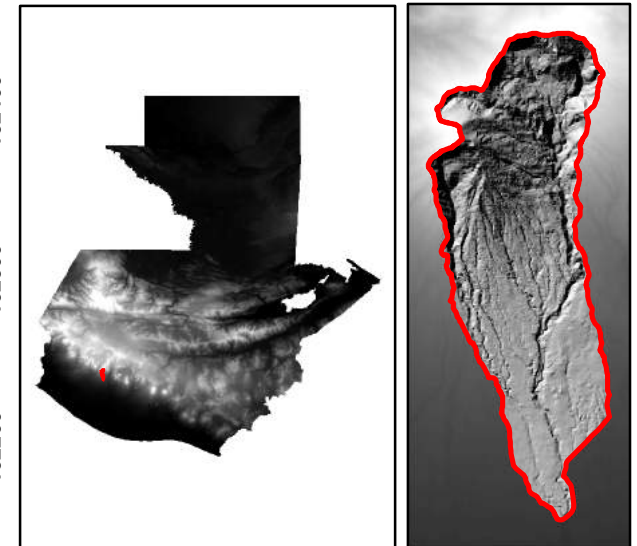
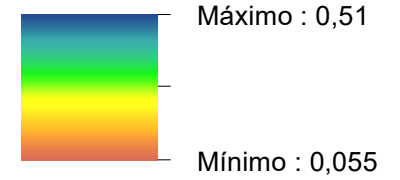




## LEYENDA

-  Puntos de Muestreo
-  Límite Microcuenca

## Fosfatos mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

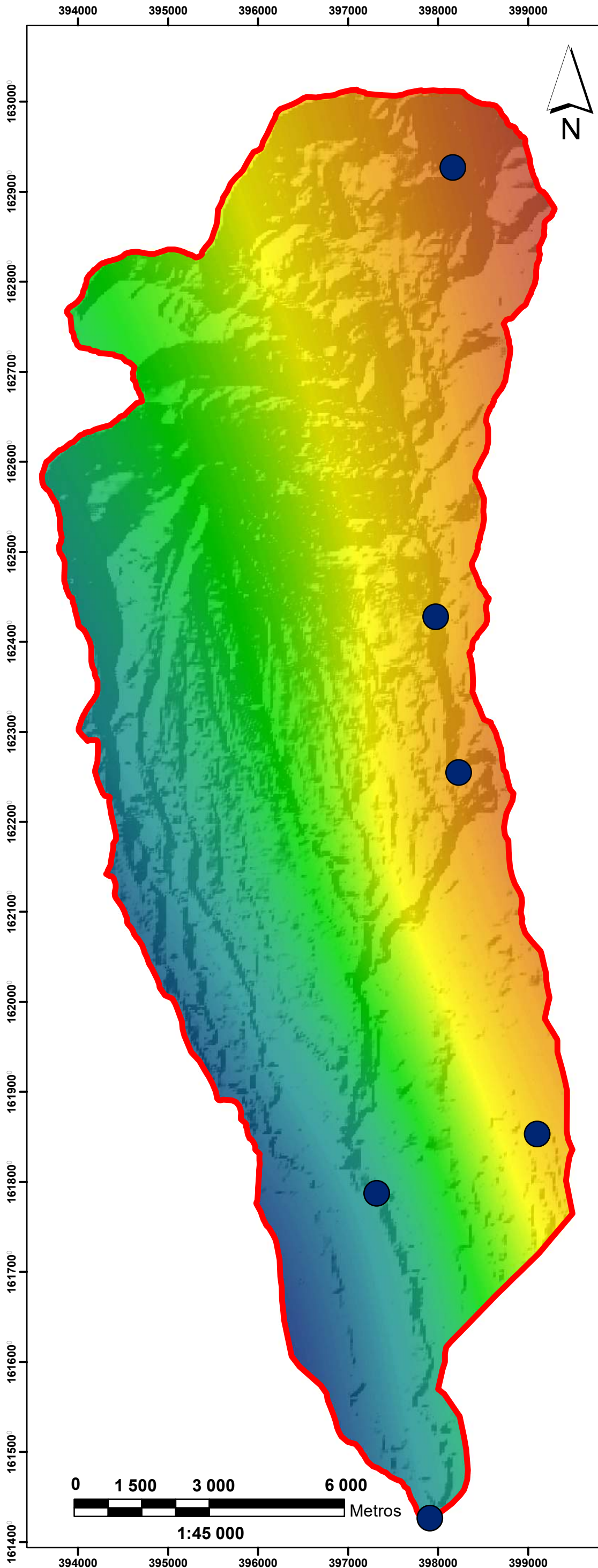
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



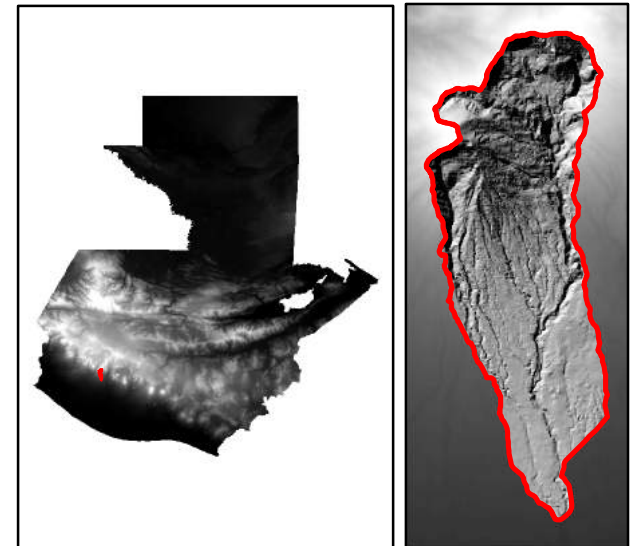
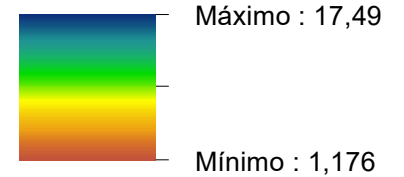


## LEYENDA

Puntos de Muestreo

Límite Microcuenca

### Nitratos mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

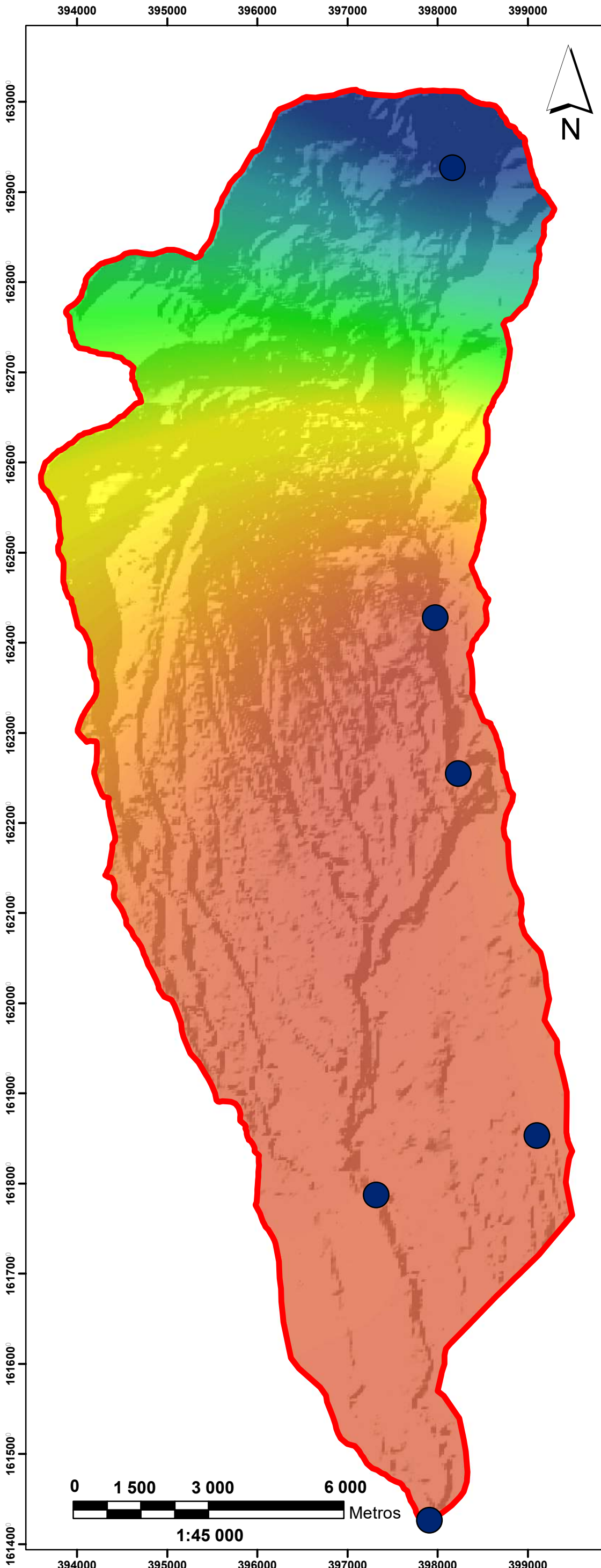
Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)



Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



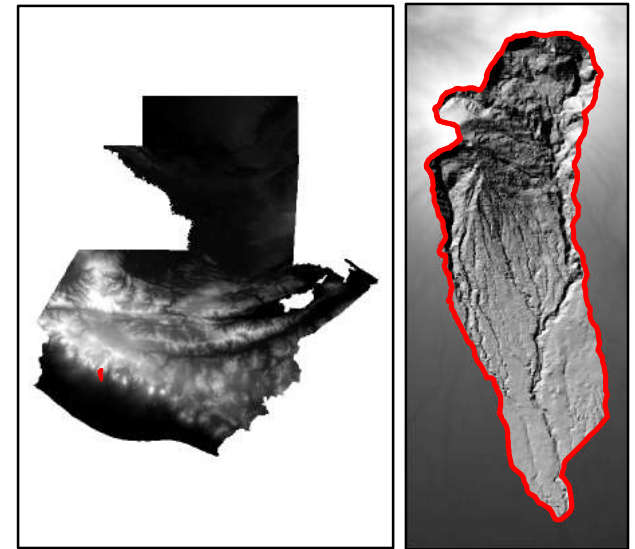
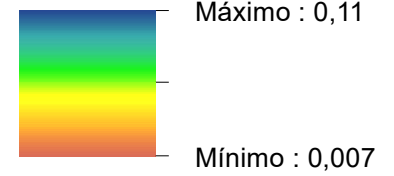




## LEYENDA

-  Puntos de Muestreo
-  Límite Microcuenca

### Nitritos mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

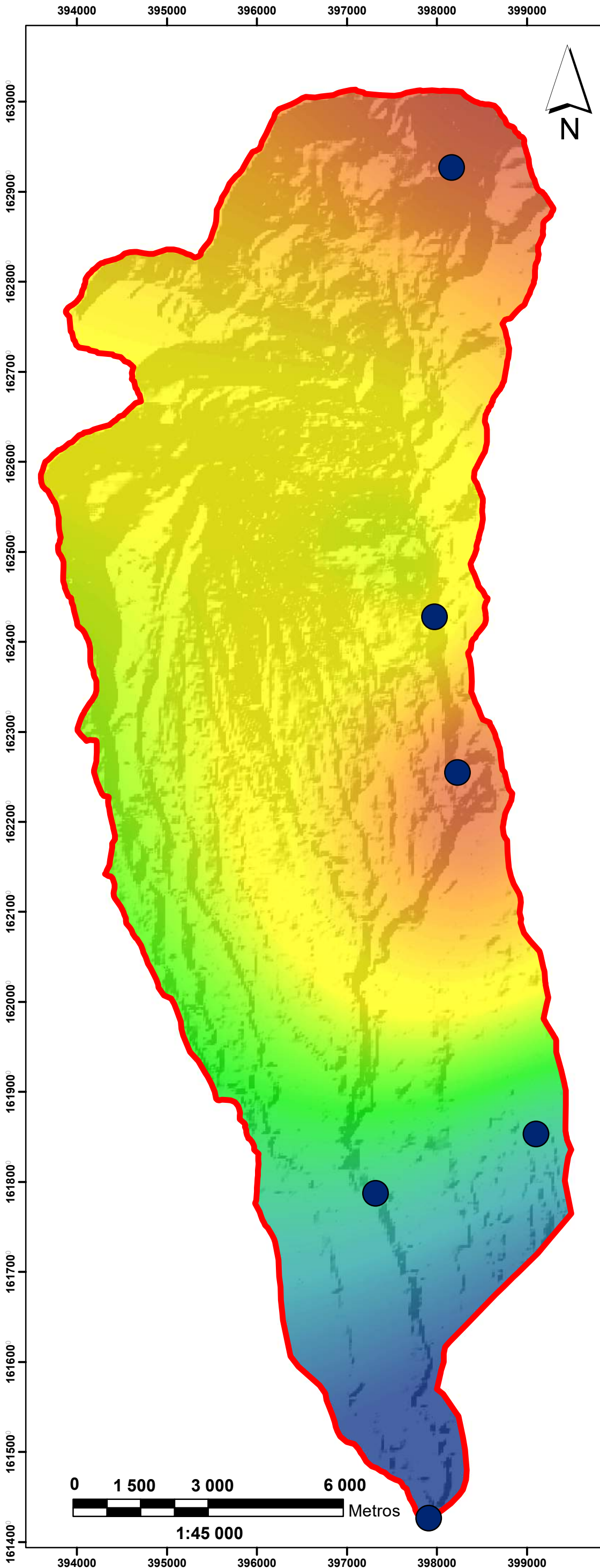
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



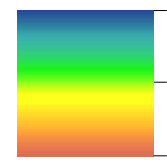


## LEYENDA

● Puntos de Muestreo

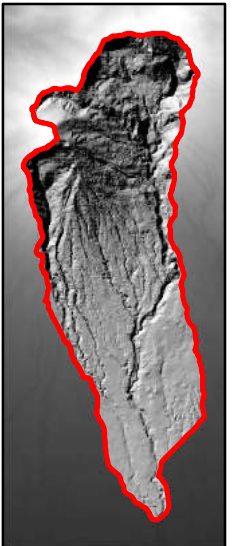
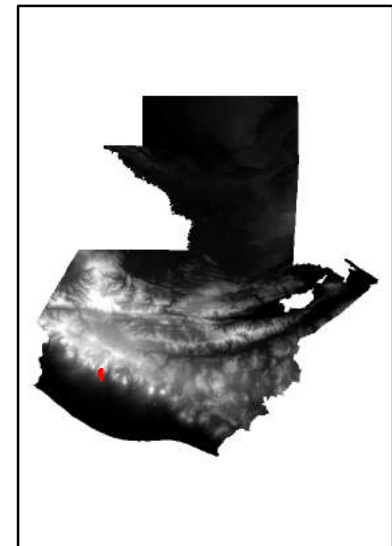
□ Límite Microcuenca

pH



Máximo : 7,55

Mínimo : 5,90



### MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

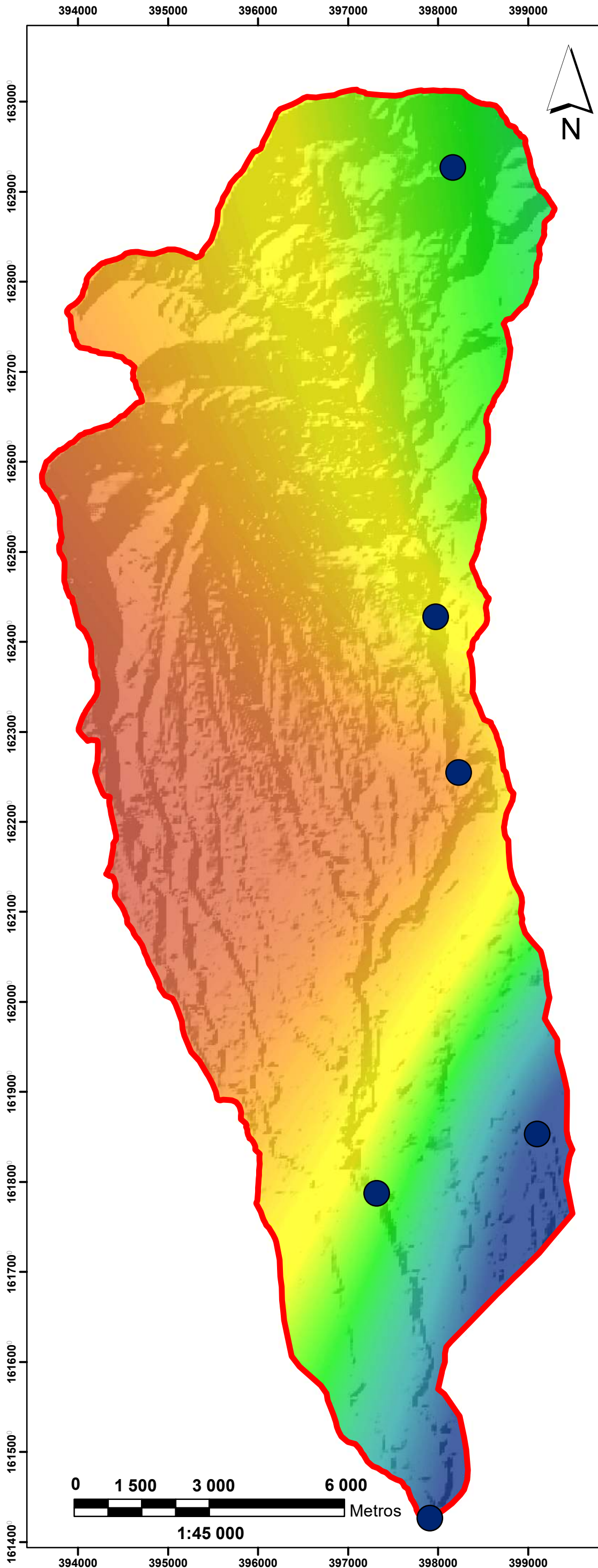
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).

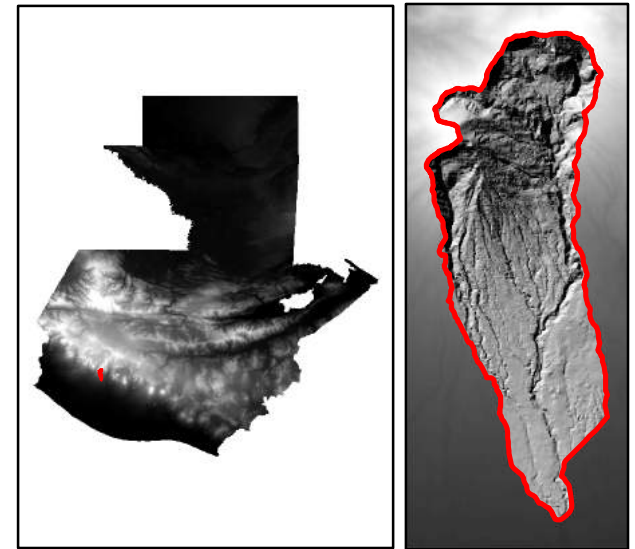
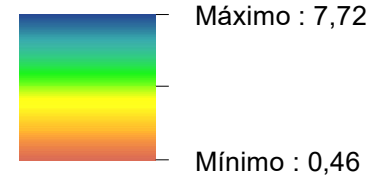




## LEYENDA

- Puntos de Muestreo
- Límite Microcuenca

### Potasio mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

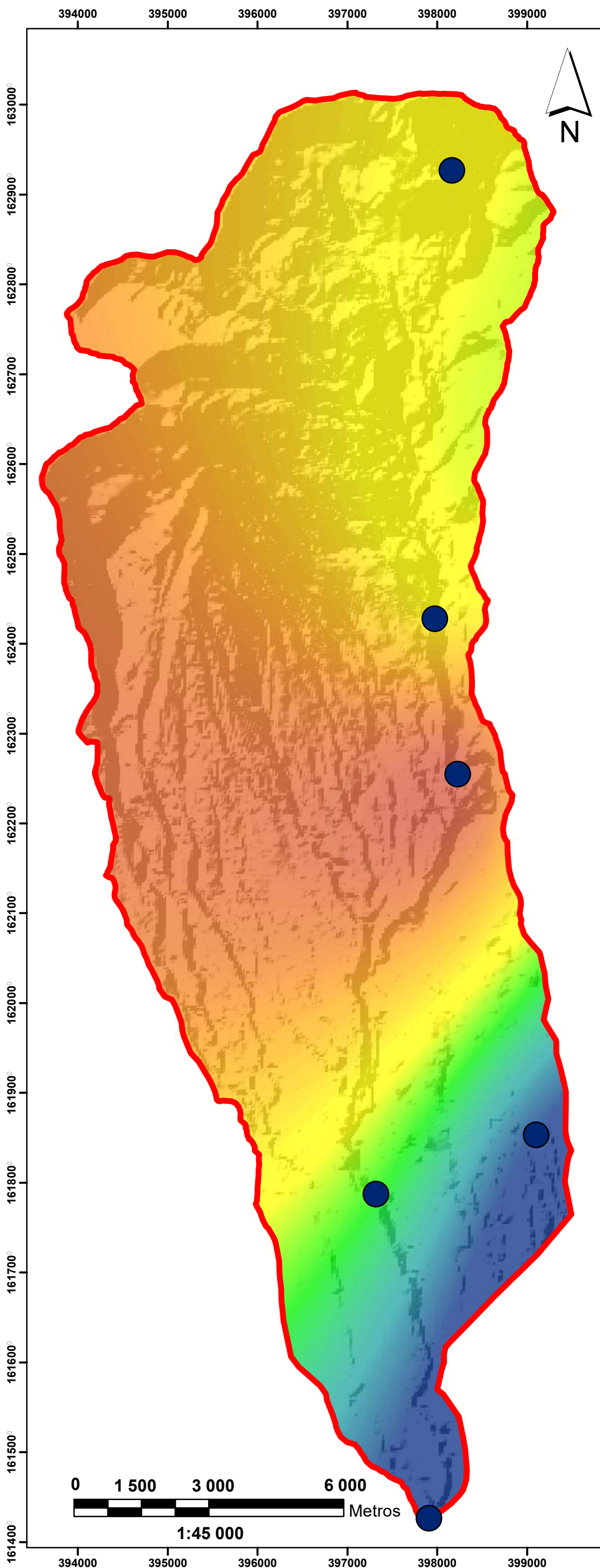
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



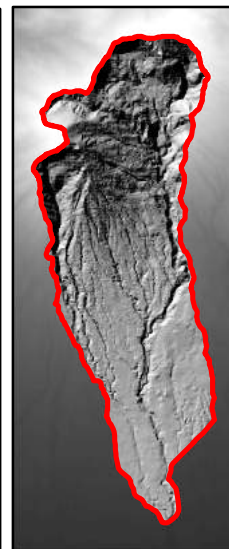
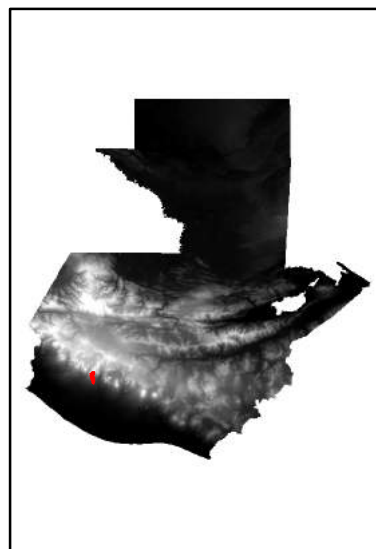
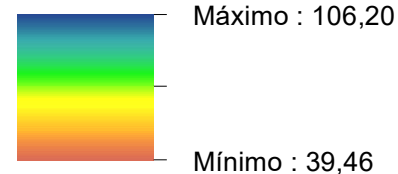


## LEYENDA

 Puntos de Muestreo

 Límite Microcuenca

### Silice mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

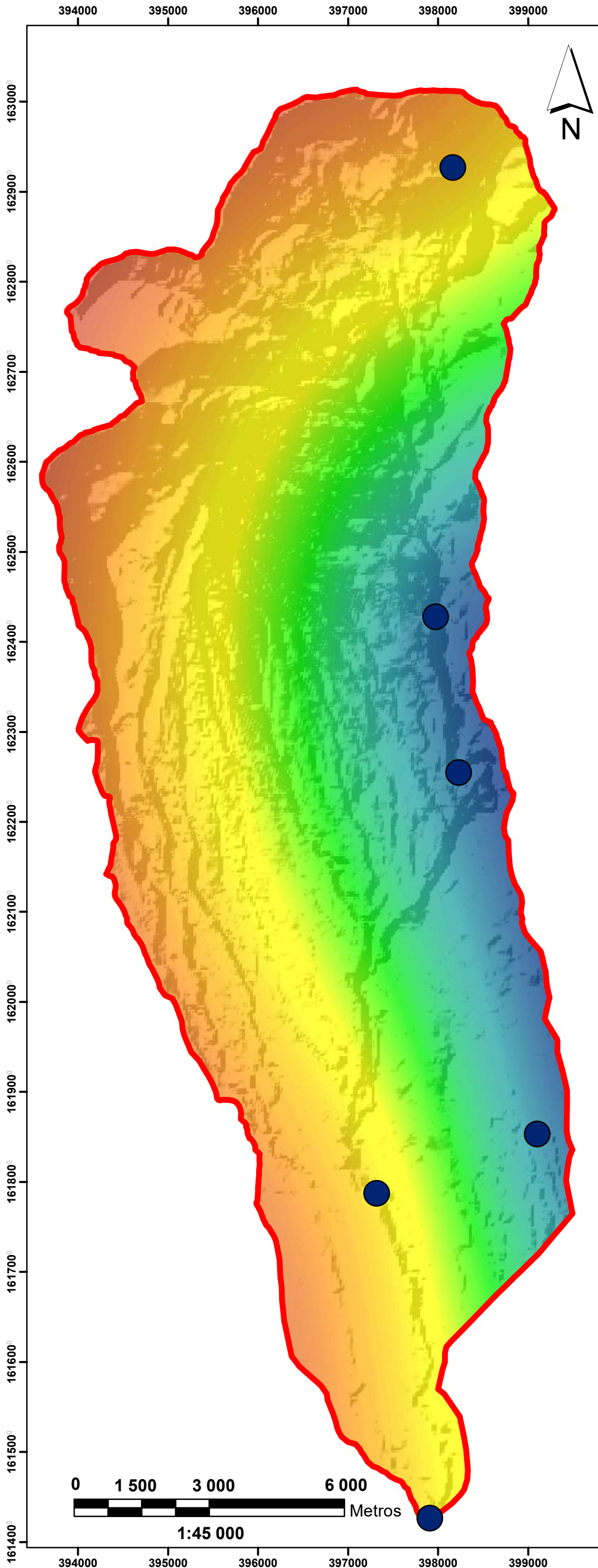
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).



Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).

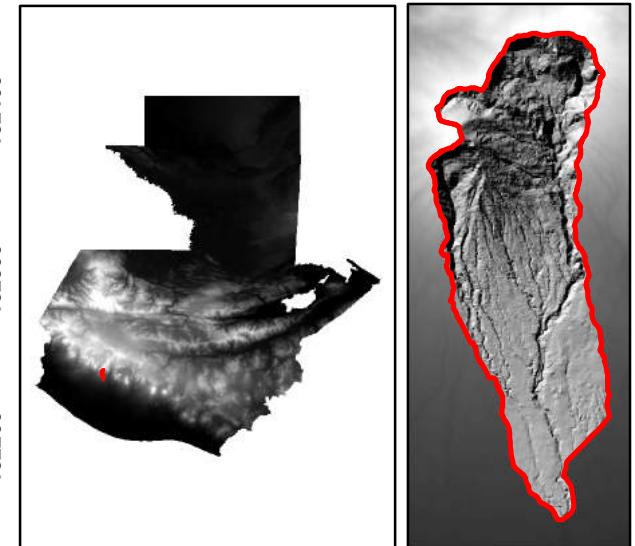
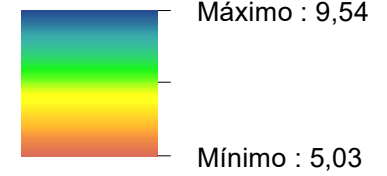




## LEYENDA

-  Puntos de Muestreo
-  Límite Microcuenca

### Sodio mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

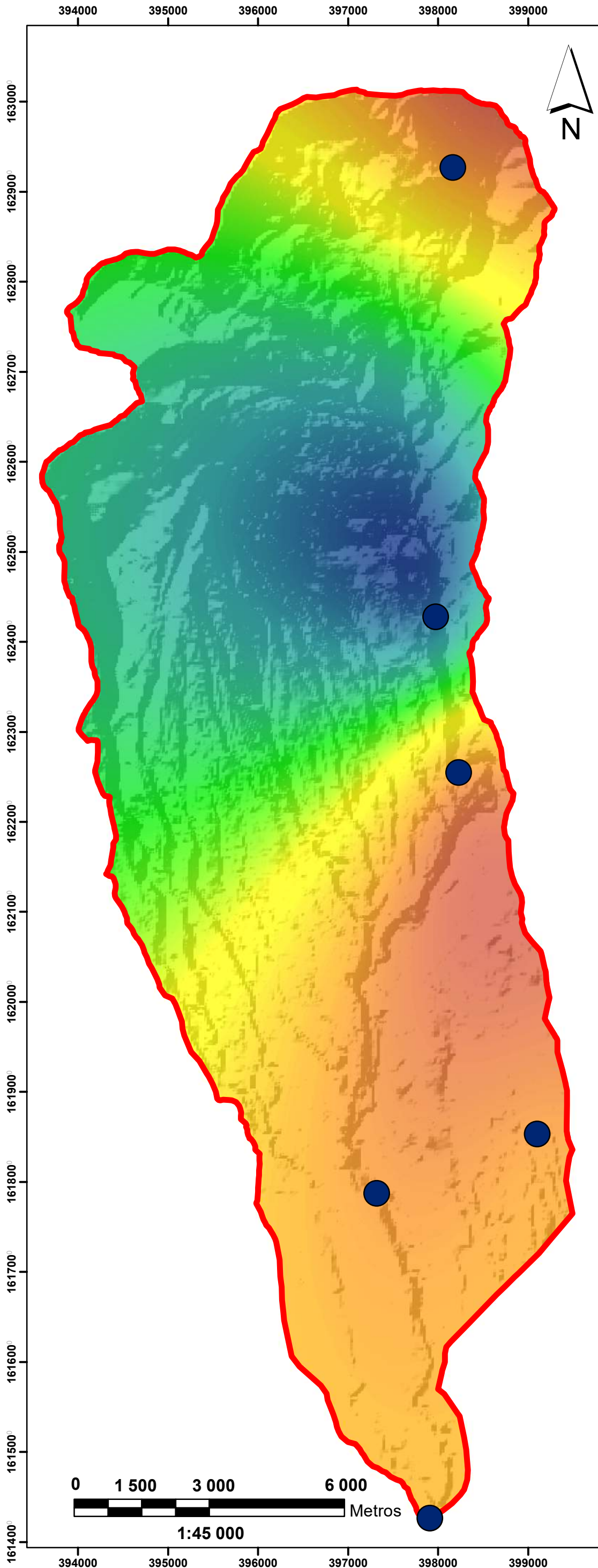
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



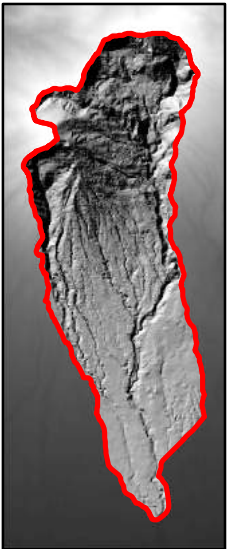
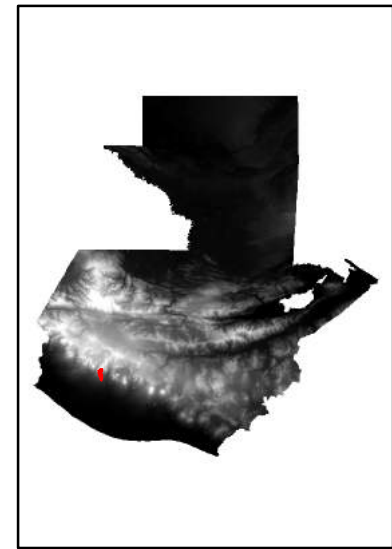
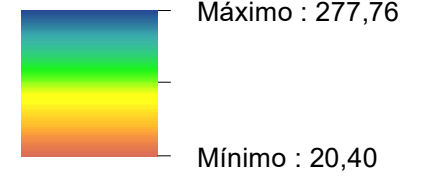


## LEYENDA

Puntos de Muestreo

Límite Microcuenca

### Sulfatos mg/L



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

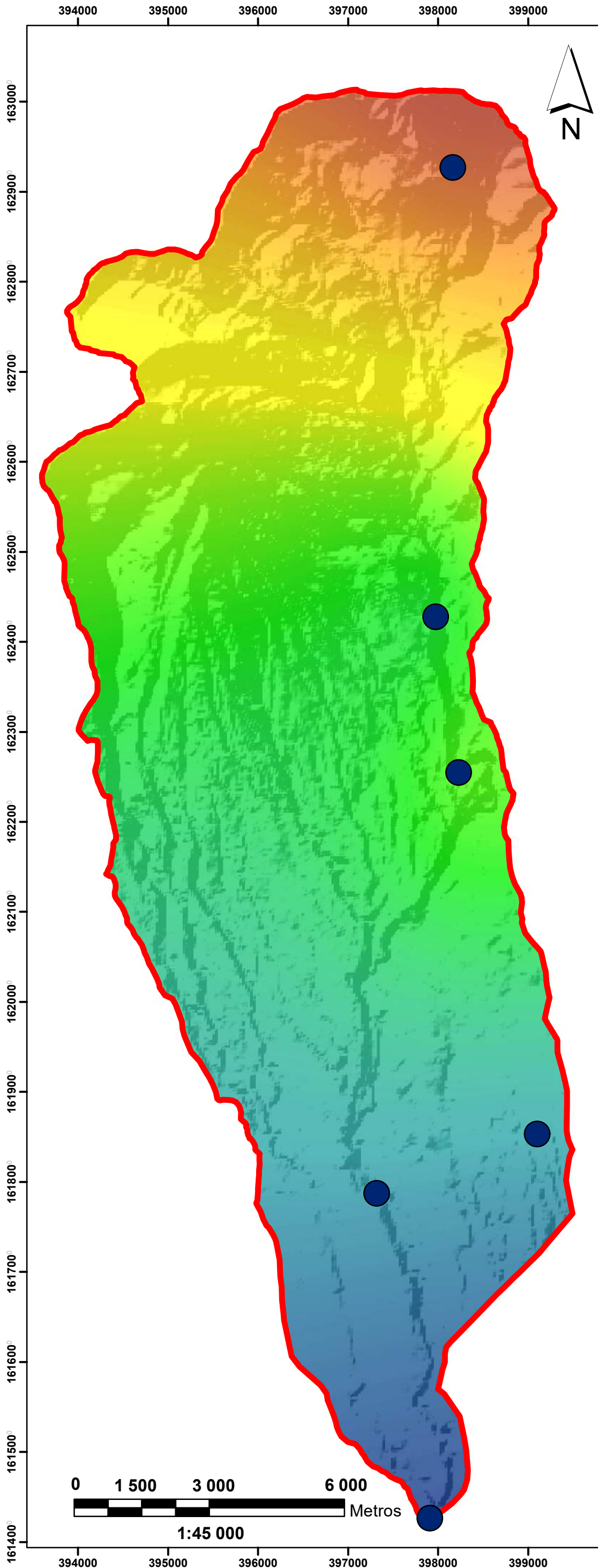
Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



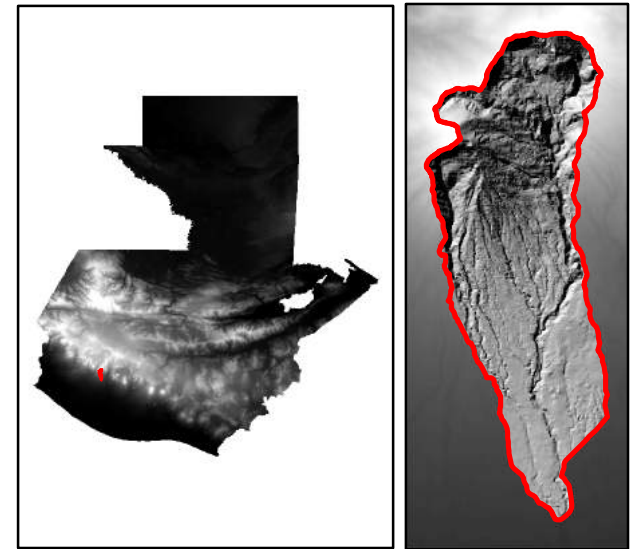
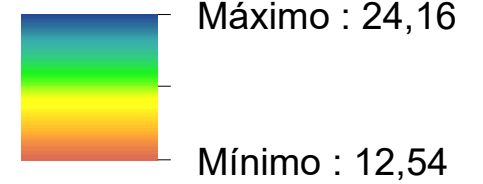


## LEYENDA

 Puntos de Muestreo

 Límite Microcuenca

### Temperatura °C



## MAPA HIDROGEOQUÍMICO DE GUATEMALA 1 : 45 000

MICROCUENCA IXTACAPA  
MAPA DE CONCENTRACION QUÍMICA

Levantamiento hidrogeoquímico realizado por estudiante del Centro Universitario del Norte con el apoyo de Asociación Vivamos Mejor. Enero – Septiembre 2016

Basado en el Mapa Geológico 1: 50 000, hoja 1960 II (Sololá) compilado por C. Newhall, editado por S. Bonis y publicado por el IGN en 2000.

Trabajo de campo realizado por: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR) con ayuda de Asociación Vivamos Mejor.

Compilación y revisión: José Ochoa Quezada (CUNOR) e Ing. Osmín Jared Vásquez (CUNOR).

Realización: José Juan Ochoa Quezada (CUNOR)

Coordinación: Luis Iván Girón (AVM).



Guatemala, 05 de junio de 2016

Señor  
José Juan Ochoa Quezada  
**Asociación Vivamos Mejor**  
Presente.

Estimado Sr. Ochoa Quezada

Según el análisis efectuado a la muestra;

- Tomada por: personal de su empresa
- En fecha: 15 de junio de 2016
- Lugar de muestreo: Palacal Panajachel, Sololá
- Referencia del cliente: Captación

Le manifiesto que los resultados obtenidos, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, no cumplen con la norma Coguanor NTG 29 001 – Agua para consumo humano (Agua potable), pues las Coliformes totales y *Escherichia coli* se encontraron fuera de los límites permisibles indicados en dicha norma.

El total de bacterias coliformes incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, incluye especies fecales y ambientales. Como incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. Después de la desinfección debe haber ausencia de coliformes totales. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

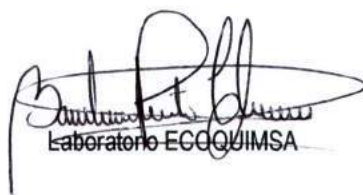
*Escherichia coli* está presente en grandes concentraciones en la microflora intestinal normal de las personas y los animales donde, por lo general, es inocua. Sin embargo, en otras partes del cuerpo *E. coli* puede causar enfermedades graves, como infecciones de las vías urinarias, bacteriemia y meningitis. Un número reducido de cepas enteropatógenas pueden causar diarrea aguda.

La infección con *E. coli* se asocia con la transmisión de persona a persona, el contacto con animales, los alimentos y el consumo de agua contaminada. La transmisión de persona a persona es particularmente frecuente en comunidades donde hay personas en proximidad estrecha, como en residencias y guarderías.

*E. coli* es un microorganismo elegido como indicador de contaminación fecal. El agua destinada al consumo humano no debe contener microorganismos indicadores. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

Sin otro particular, le reiteramos que para Ecoquimsa es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA



## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Palacal Panajachel, Sololá  
Referencia cliente: Captación  
Fecha de monitoreo: 15 de junio de 2016  
Hora de monitoreo: 08:41  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano  
Código de muestra: 16-1546-1  
Lote: 16-1546

Muestra simple o compuesta: Simple  
Responsable del muestreo: CLIENTE  
Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Recipiente utilizado: Plástico y bolsa estéril  
Método de preservación: INS04-MUE

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 15 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 17:51  
Fecha de informe: 05 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
Aluminio	mg/L - Al	0.020	< 0.020	0.050	0.100
Amonio	mg/L - NH4+	0.01	< 0.01	---	---
Arsénico	mg/L - As	0.0020	< 0.0020	---	---
Bicarbonatos	mg/L - HCO3-	1.0	< 1.0	---	---
Boro	mg/L - B	0.10	< 0.10	---	0.30
Cloro Residual	mg/L - Cl2	0.05	0.08	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - Cl-	2.5	7.9	100	250
Color	u Pt-Co	0.5	< 0.5	5.0	35.0
Conductividad	uS/cm @ 25°C	0.1	122.8	750	1,500
Dureza	mg/L - CaCO3	3.2	98.7	100	500
Fluor	mg/L - F-	0.10	0.13	---	1.70
Fosfatos	mg/L - PO4-3	0.03	0.31	---	---
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	13.3	---	50.0
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	< 0.010	---	3.0
Olor	---	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	---	0.01	7.01	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
pH (in-situ)	---	---	7.00	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Silice	mg/L - SiO2	0.011	72.50	---	---
Sulfatos	mg/L - SO4-2	25	< 25	100	250
Sulfuros	mg/L - S-2	0.08	< 0.08	---	---
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.1	<b>23</b>	---	< 1.1
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1.1	<b>23</b>	---	< 1.1

(1) mg/L = ppm, u Pt-Co = unidades platino cobalto; uS/cm = micro siemens por centímetro, Unt = unidades de turbiedad  
NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 28 001)

Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA

Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Palacal Panajachel, Sololá	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Captación	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	15 de junio de 2016	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	08:41	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	16-1546-1		
Lote:	16-1546		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 15 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 17:51  
Fecha de informe: 05 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	1.20	28.79	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.060	< 0.060	0.3	--	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.050	6.51	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.015	< 0.015	0.1	0.4	STM 3111 B
Potasio	mg/L - K	0.080	3.104	--	--	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0.085	6.48	--	--	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 29 001)

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

**Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13**

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA  
Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714

Guatemala, 05 de junio de 2016

Señor  
José Juan Ochoa Quezada  
**Asociación Vivamos Mejor**  
Presente.

Estimado Sr. Ochoa Quezada

Según el análisis efectuado a la muestra;

- Tomada por: personal de su empresa
- En fecha: 15 de junio de 2016
- Lugar de muestreo: San Pablo Jocopilas, Panajachel, Sololá
- Referencia del cliente: Puente

Le manifiesto que los resultados obtenidos, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, no cumplen con la norma Coguanor NTG 29 001 – Agua para consumo humano (Agua potable), pues el pH, las Coliformes totales y *Escherichia coli* se encontraron fuera de los límites permisibles indicados en dicha norma.

La Organización Mundial de la Salud no propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, siendo su valor óptimo generalmente de 6.5 a 9.5. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

El total de bacterias coliformes incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, incluye especies fecales y ambientales. Como incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. Después de la desinfección debe haber ausencia de coliformes totales. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

*Escherichia coli* está presente en grandes concentraciones en la microflora intestinal normal de las personas y los animales donde, por lo general, es inocua. Sin embargo, en otras partes del cuerpo *E. coli* puede causar enfermedades graves, como infecciones de las vías urinarias, bacteriemia y meningitis. Un número reducido de cepas enteropatógenas pueden causar diarrea aguda.

La infección con *E. coli* se asocia con la transmisión de persona a persona, el contacto con animales, los alimentos y el consumo de agua contaminada. La transmisión de persona a persona es particularmente frecuente en comunidades donde hay personas en proximidad estrecha, como en residencias y guarderías.

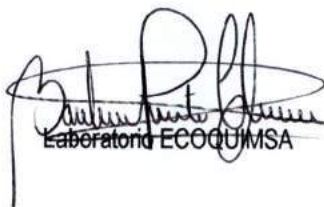


9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
E-mail: [informacion@ecoquimsa.com.gt](mailto:informacion@ecoquimsa.com.gt)  
Página Web: [ecoquimsa.com](http://ecoquimsa.com)  
PBX: (502) 2322 3600

E. coli es un microorganismo elegido como indicador de contaminación fecal. El agua destinada al consumo humano no debe contener microorganismos indicadores. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

Sin otro particular, le reiteramos que para Ecoquimsa es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: San Pablo Jocopilas, Panajachel, Sololá  
Referencia cliente: Puente  
Fecha de monitoreo: 15 de junio de 2016  
Hora de monitoreo: 10:30  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano  
Código de muestra: 16-1547-1  
Lote: 16-1547

Muestra simple o compuesta: Simple  
Responsable del muestreo: CLIENTE  
Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Recipiente utilizado: Plástico y bolsa estéril  
Método de preservación: INS04-MUE

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 15 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 17:51  
Fecha de informe: 05 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
Aluminio	mg/L - Al	0.020	< 0.020	0.050	0.100
Amonio	mg/L - NH4+	0.01	< 0.01	—	—
Arsénico	mg/L - As	0.0020	< 0.0020	—	—
Bicarbonatos	mg/L - HCO3-	1.0	< 1.0	—	—
Boro	mg/L - B	0.10	< 0.10	—	0.30
Cloro Residual	mg/L - Cl2	0.05	0.06	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - Cl-	2.5	6.7	100	250
Color	u Pt-Co	0.5	5.0	5.0	35.0
Conductividad	uScm @ 25°C	0.1	120.3	750	1.500
Dureza	mg/L - CaCO3	3.2	115.0	100	500
Fluor	mg/L - F-	0.10	< 0.10	—	1.70
Fosfatos	mg/L - PO4-3	0.03	0.18	—	—
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	1.1	—	50.0
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	< 0.010	—	3.0
Olor	—	—	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	—	0.01	7.79	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
pH (in-situ)	—	0.01	<b>6.00</b>	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sílice	mg/L - SiO2	0.011	57.50	—	—
Sulfatos	mg/L - SO4-2	25	< 25	100	250
Sulfuros	mg/L - S-2	0.08	< 0.08	—	—
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.1	<b>9.2</b>	—	< 1.1
Escherichia coli	NMP/100 mL	1.1	<b>2.2</b>	—	< 1.1

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto; uScm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad  
NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (Coguanor NTG 29 001)

Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA

Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	San Pablo Jocopilas, Panajachel, Sololá	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Puente	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	15 de junio de 2016	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	10:30	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	16-1547-1		
Lote:	16-1547		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 15 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 17:51  
Fecha de informe: 05 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	1.20	37.57	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.060	< 0.060	0.3	—	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.050	5.14	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.015	< 0.015	0.1	0.4	STM 3111 B
Potasio	mg/L - K	0.080	4.301	—	—	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0.085	6.92	—	—	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 29 001)

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

**Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13**

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA  
Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714

Guatemala, 11 de julio de 2016

Señor  
José Juan Ochoa Quezada  
**Asociación Vivamos Mejor**  
Presente.

Estimado Sr. Ochoa Quezada

Según el análisis efectuado a la muestra;

- Tomada por: personal de su empresa
- En fecha: 22 de junio de 2016
- Lugar de muestreo: Ix 03, Panajachel, Sololá
- Referencia del cliente: Pacamache

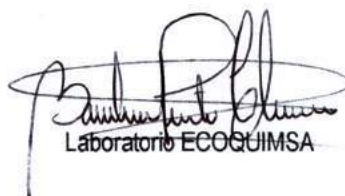
Le manifiesto que los resultados obtenidos, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, no cumplen con la norma Coguanor NTG 29 001 – Agua para consumo humano (Agua potable), pues las Coliformes totales y *Escherichia coli* se encontraron fuera de los límites permisibles indicados en dicha norma.

El total de bacterias coliformes incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, incluye especies fecales y ambientales. Como incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. Después de la desinfección debe haber ausencia de coliformes totales. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

*Escherichia coli* está presente en grandes concentraciones en la microflora intestinal normal de las personas y los animales donde, por lo general, es inocua. Sin embargo, en otras partes del cuerpo *E. coli* puede causar enfermedades graves, como infecciones de las vías urinarias, bacteriemia y meningitis. Un número reducido de cepas enteropatógenas pueden causar diarrea aguda. La infección con *E. coli* se asocia con la transmisión de persona a persona, el contacto con animales, los alimentos y el consumo de agua contaminada. La transmisión de persona a persona es particularmente frecuente en comunidades donde hay personas en proximidad estrecha, como en residencias y guarderías. *E. coli* es un microorganismo elegido como indicador de contaminación fecal. El agua destinada al consumo humano no debe contener microorganismos indicadores. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

Sin otro particular, le reiteramos que para Ecoquimsa es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Ix 03, Panajachel, Sololá  
Referencia cliente: Pacamache  
Fecha de monitoreo: 22 de junio de 2016  
Hora de monitoreo: 14:00  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano  
Código de muestra: 16-1653-1  
Lote: 16-1653

Muestra simple o compuesta: Simple  
Responsable del muestreo: CLIENTE  
Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Recipiente utilizado: Plástico  
Método de preservación: INS04-MUE

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 23 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:00  
Fecha de informe: 11 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
Aluminio	mg/L - Al	0.020	< 0.020	0.050	0.100
Amonio	mg/L - NH4+	0.010	< 0.010	—	—
Arsénico	mg/L - As	0.0020	< 0.0020	—	—
Bicarbonatos	mg/L - HCO3-	1.0	< 1.0	—	—
Boro	mg/L - B	0.10	< 0.10	—	0.30
Caudal (in-situ)	mL/s	—	34.38	—	—
Cloro Residual	mg/L - Cl2	0.05	< 0.05	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - Cl-	2.5	< 2.5	100	250
Color	u Pt-Co	0.5	5.0	5.0	35.0
Conductividad	uS/cm @ 25°C	0.1	125.4	750	1,500
Dureza	mg/L - CaCO3	3.2	99.4	100	500
Fluor	mg/L - F-	0.10	0.06	—	1.70
Fosfatos	mg/L - PO4-3	0.03	0.15	—	—
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	4.6	—	50.0
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	< 0.010	—	3.0
Olor	—	—	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	—	0.01	6.81	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
pH (in-situ)	—	0.01	7.00	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Silíce	mg/L - SiO2	0.011	95.20	—	—
Sulfatos	mg/L - SO4-2	25	< 25	100	250
Sulfuros	mg/L - S-2	0.08	< 0.08	—	—
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	22.2	—	—
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.1	240	—	< 1.1
Escherichia coli	NMP/100 mL	1.1	3.6	—	< 1.1

(1) mL/s = milímetros por segundo; mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto; uS/cm = micro siemens por centímetro;

Unit = unidades de turbiedad; NMP/100mL = Numero más probable por 100 milímetros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 29 001)

Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA  
Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714



## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Ix 03, Panajachel, Sololá	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Pacamache	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	22 de junio de 2016	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	14:00	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	16-1653-1		
Lote:	16-1653		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 23 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:00  
Fecha de informe: 11 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	1.20	31.05	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.060	< 0.060	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.050	5.32	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.015	< 0.015	0.1	0.4	STM 3111 B
Potasio	mg/L - K	0.080	6.54	--	--	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0.085	8.97	--	--	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 29 001)

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA  
Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714

Guatemala, 19 de julio de 2016

Señor  
José Juan Ochoa Quezada  
**Asociación Vivamos Mejor**  
Presente.

Estimado Sr. Ochoa Quezada

Según el análisis efectuado a la muestra;

- Tomada por: personal de su empresa
- En fecha: 29 de junio de 2016
- Lugar de muestreo: Chuituj, IX04, Panajachel, Sololá
- Referencia del cliente: Tanque de captación

Le manifiesto que los resultados obtenidos, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, no cumplen con la norma Coguanor NTG 29 001 – Agua para consumo humano (Agua potable), pues los sulfatos y las Coliformes totales se encontraron fuera de los límites permisibles indicados en dicha norma.

La presencia de sulfato en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles muy altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución. El deterioro del sabor varía en función de la naturaleza del catión asociado. Por lo general, se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor que 250 mg/l. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato. No obstante, debido a los efectos gastrointestinales de la ingestión de agua de consumo con concentraciones altas de sulfato, se recomienda notificar a las autoridades de salud las fuentes de agua de consumo en las que las concentraciones de sulfato rebasen los 500 mg/l. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

El total de bacterias coliformes incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, incluye especies fecales y ambientales. Como incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. Después de la desinfección debe haber ausencia de coliformes totales. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

Sin otro particular, le reiteramos que para Ecoquimsa es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Chuituj, IX04, Panajachel, Sololá  
Referencia cliente: Tanque de captación  
Fecha de monitoreo: 29 de junio de 2016  
Hora de monitoreo: 12:32  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano  
Código de muestra: 16-1723-1  
Lote: 16-1723

Muestra simple o compuesta: Simple  
Responsable del muestreo: CLIENTE  
Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Recipiente utilizado: Plástico  
Método de preservación: INS04-MUE

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 29 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:00  
Fecha de informe: 19 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
Aluminio	mg/L - Al	0.020	< 0.020	0.050	0.100
Amonio	mg/L - NH4+	0.010	< 0.010	—	—
Arsénico	mg/L - As	0.0020	< 0.0020	—	—
Bicarbonatos	mg/L - HCO3-	1.0	< 1.0	—	—
Boro	mg/L - B	0.10	< 0.10	—	0.30
Caudal (in-situ)	Gal/s	—	0.34	—	—
Cloro Residual	mg/L - Cl2	0.05	< 0.05	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - CL-	2.5	< 2.5	100	250
Color	u Pt-Co	0.5	< 0.5	5.0	35.0
Conductividad	uS/cm @ 25°C	0.1	108.0	750	1,500
Dureza	mg/L - CaCO3	3.2	55.0	100	500
Fluor	mg/L - F-	0.10	< 0.10	—	1.70
Fosfatos	mg/L - PO4-3	0.03	0.37	—	—
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	4.1	—	50.0
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	< 0.010	—	3.0
Olor	—	—	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	—	0.01	7.05	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
pH (in-situ)	—	0.01	6.50	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Silice	mg/L - SiO2	0.011	57.70	—	—
Sulfatos	mg/L - SO4-2	25	251	100	250
Sulfuros	mg/L - S-2	0.08	< 0.08	—	—
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	16.8	—	—
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.1	9.2	—	< 1.1
Escherichia coli	NMP/100 mL	1.1	< 1.1	—	< 1.1

(1) Gal/s = galones por segundo; mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto; uS/cm = micro siemens por centímetro;

Unit = unidades de turbiedad; NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 29 001)

Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.

  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Lic. Edgar del Pozo  
Químico  
Colegiado No. 4943

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Chuituj, IX04, Panajachel, Sololá	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Tanque de captación	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	29 de junio de 2016	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	12:32	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	16-1723-1		
Lote:	16-1723		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 29 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:00  
Fecha de informe: 19 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	1.20	13.15	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.060	< 0.060	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.050	5.38	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.015	< 0.015	0.1	0.4	STM 3111 B
Potasio	mg/L - K	0.080	2.15	--	--	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0.085	9.19	--	--	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (Coguanor NTG 29 001)

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA  
Lic. Edgar del Pozo  
Químico  
Colegiado No. 4943

Guatemala, 19 de julio de 2016

Señor  
José Juan Ochoa Quezada  
**Asociación Vivamos Mejor**  
Presente.

Estimado Sr. Ochoa Quezada

Según el análisis efectuado a la muestra;

- Tomada por: personal de su empresa
- En fecha: 29 de junio de 2016
- Lugar de muestreo: Pacanal IX05, Panajachel, Sololá
- Referencia del cliente: Tanque de captación

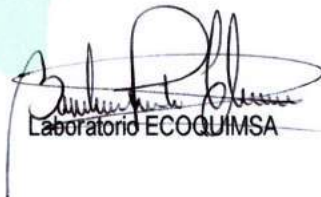
Le manifiesto que los resultados obtenidos, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, no cumplen con la norma Coguanor NTG 29 001 – Agua para consumo humano (Agua potable), pues el pH y las Coliformes totales se encontraron fuera de los límites permisibles indicados en dicha norma.

La Organización Mundial de la Salud no propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, siendo su valor óptimo generalmente de 6.5 a 9.5. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

El total de bacterias coliformes incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, incluye especies fecales y ambientales. Como incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. Después de la desinfección debe haber ausencia de coliformes totales. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

Sin otro particular, le reiteramos que para Ecoquimsa es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Pacanal, IX05, Panajachel, Sololá Muestra simple o compuesta: Simple  
Referencia cliente: Tanque de captación Responsable del muestreo: CLIENTE  
Fecha de monitoreo: 29 de junio de 2016 Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Hora de monitoreo: 13:55 Recipiente utilizado: Plástico  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano Método de preservación: INS04-MUE  
Código de muestra: 16-1724-1  
Lote: 16-1724

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 29 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:00  
Fecha de informe: 19 de julio de 2016


Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
Aluminio	mg/L - Al	0.020	< 0.020	0.050	0.100
Amonio	mg/L - NH4+	0.010	< 0.010	—	—
Arsénico	mg/L - As	0.0020	< 0.0020	—	—
Bicarbonatos	mg/L - HCO3-	1.0	< 1.0	—	—
Boro	mg/L - B	0.10	< 0.10	—	0.30
Caudal (in-situ)	Gal/s	—	0.57	—	—
Cloro Residual	mg/L - Cl2	0.05	< 0.05	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - CL-	2.5	< 2.5	100	250
Color	u Pt-Co	0.5	< 0.5	5.0	35.0
Conductividad	uS/cm @ 25°C	0.1	45.7	750	1,500
Dureza	mg/L - CaCO3	3.2	21.5	100	500
Fluor	mg/L - F-	0.10	< 0.10	—	1.70
Fosfatos	mg/L - PO4-3	0.03	0.12	—	—
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	2.5	—	50.0
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	< 0.010	—	3.0
Olor	—	—	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	—	0.01	7.02	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
pH (in-situ)	—	0.01	6.00	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sílice	mg/L - SiO2	0.011	40.20	—	—
Sulfatos	mg/L - SO4-2	25	29	100	250
Sulfuros	mg/L - S-2	0.08	< 0.08	—	—
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	19.1	—	—
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.1	12	—	< 1.1
Escherichia coli	NMP/100 mL	1.1	< 1.1	—	< 1.1

(1) Gal/s = galones por segundo; mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto; uS/cm = micro siemens por centímetro; Uré = unidades de turbidez; NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coganor NTG 29 001)

Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada. Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012 El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coganor.

  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Pacanal, IX05, Panajachel, Sololá	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Tanque de captación	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	29 de junio de 2016	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	13:55	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	16-1724-1		
Lote:	16-1724		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 29 de junio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:00  
Fecha de informe: 19 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	1.20	5.66	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.060	< 0.060	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.050	1.80	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.015	< 0.015	0.1	0.4	STM 3111 B
Potasio	mg/L - K	0.080	0.71	--	--	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0.085	9.19	--	--	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 29 001)

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.



Laboratorio ECOQUIMSA

Inga. Bárbara Pinto Classon  
Ingeniera Química  
Colegiado No. 1714

Guatemala, 27 de julio de 2016

Señor  
José Juan Ochoa Quezada  
**Asociación Vivamos Mejor**  
Presente.

Estimado Sr. Ochoa Quezada

Según el análisis efectuado a la muestra;

- Tomada por: personal de su empresa
- En fecha: 06 de julio de 2016
- Lugar de muestreo: Pacaman, (IX06) Panajachel, Sololá
- Referencia del cliente: Nacimiento

Le manifiesto que los resultados obtenidos, de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, no cumplen con la norma Coguanor NTG 29 001 – Agua para consumo humano (Agua potable), pues el pH se encontró fuera de los límites permisibles indicados en dicha norma.

La Organización Mundial de la Salud no propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, siendo su valor óptimo generalmente de 6.5 a 9.5. (Tomado de: Guías para la calidad del agua potable, Organización Mundial de la Salud, 2006).

Sin otro particular, le reiteramos que para Ecoquimsa es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA



## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Pacaman, (X06) Panajachel, Sololá  
Referencia cliente: Nacimiento  
Fecha de monitoreo: 06 de julio de 2016  
Hora de monitoreo: 10:46  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano  
Código de muestra: 16-1784-1  
Lote: 16-1784

Muestra simple o compuesta: Simple  
Responsable del muestreo: CLIENTE  
Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Recipiente utilizado: Plástico y bols  
Método de preservación: INS04-MUE

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 06 de julio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:00  
Fecha de informe: 27 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
Aluminio	mg/L - Al	0.020	< 0.020	0.050	0.100
Amonio	mg/L - NH4+	0.010	0.06	—	—
Arsénico	mg/L - As	0.0020	< 0.0020	—	—
Bicarbonatos	mg/L - HCO3-	1.0	< 1.0	—	—
Boro	mg/L - B	0.10	< 0.10	—	0.30
Caudal (in-situ)	Gal/s	—	0.13	—	—
Cloro Residual	mg/L - Cl2	0.05	0.13	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - Cl-	2.5	2.1	100	250
Color	u Pt-Co	0.5	< 0.5	5.0	35.0
Conductividad	uS/cm @ 25°C	0.1	74.4	750	1,500
Dureza	mg/L - CaCO3	3.2	53.7	100	500
Fluor	mg/L - F-	0.10	< 0.10	—	1.70
Fosfatos	mg/L - PO4-3	0.03	0.18	—	—
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	< 0.9	—	50.0
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	0.099	—	3.0
Olor	—	—	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	—	0.01	7.62	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
pH (in-situ)	—	0.01	<b>6.00</b>	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sílice	mg/L - SiO2	0.011	61.00	—	—
Sulfatos	mg/L - SO4-2	25	< 25	100	250
Sulfuros	mg/L - S-2	0.08	< 0.08	—	—
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	13.4	—	—
Coliformes Totales	NMP/100 mL	1.1	< 1.1	—	< 1.1
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1.1	< 1.1	—	< 1.1

(1) Gal/s = galones por segundo; mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto; uS/cm = micro siemens por centímetro;

Unit = unidades de turbiedad; NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable, LMP: Límite Máximo Permisible (Código NTG 29 001)

Nota: Datos in-situ proporcionados por el cliente.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 201  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguano



Laboratorio ECOQUIMSA  
Inga. Bárbara Pinto Clason  
Ingeniera Química  
Colegiada No. 1714

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Asociación Vivamos Mejor  
Responsable: Sr. José Juan Ochoa Quezada  
Dirección: Panajachel, Sololá

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Pacaman, (IX06) Panajachel, Sololá	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Nacimiento	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	06 de julio de 2016	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	10:46	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	16-1784-1		
Lote:	16-1784		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 06 de julio de 2016  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:00  
Fecha de informe: 27 de julio de 2016

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	1.20	17.03	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.060	< 0.060	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.045	2.72	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.015	< 0.015	0.1	0.4	STM 3111 B
Potasio	mg/L - K	0.095	3.52	--	--	STM 3111 B
Sodio	mg/L - Na	0.085	6.15	--	--	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (Coguanor NTG 29 001)

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma Coguanor.

  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Ing. Bárbara Pinto Clason  
Ingeniera Química  
Colegiada No. 1714

**USAC  
CUNOR**

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario del Norte



El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer los dictámenes de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

**INGENIERO GEOLOGO**

Al trabajo titulado:

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO E HIDROGEOQUIMICO DE LA MICROCUENCA DEL RIO IXTACAPA, CUENCA ALTA DEL RIO NAHUALATE, SOLOLA**

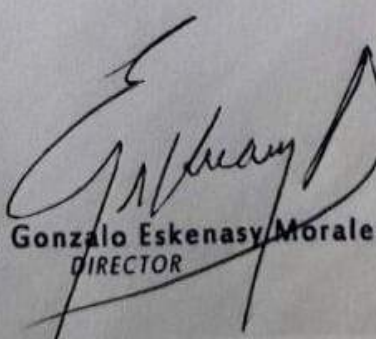
Presentado por el (la) estudiante:

**JOSÉ JUAN OCHOA QUEZADA**

Autoriza el

**IMPRIMASE**

Cobán, Alta Verapaz 12 de Julio de 2017

  
Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
DIRECTOR



