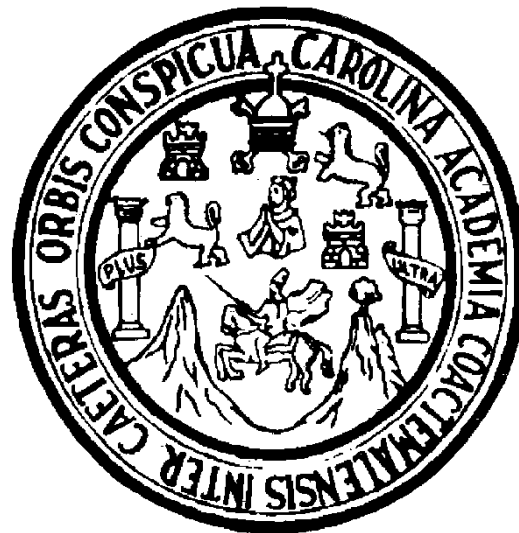


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN



ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A LA
CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS CÁRSTICOS, POR
MEDIO DEL MÉTODO EPIK, EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ
VERAPAZ, A.V.

ANDREA MARÍA REICHE DE LA CRUZ

COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE DE 2015

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A LA
CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS CÁRSTICOS, POR
MEDIO DEL MÉTODO EPIK, EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ
VERAPAZ, A.V.

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR

ANDREA MARÍA REICHE DE LA CRUZ
CARNÉ 200840412

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA
GEÓLOGA

COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE DE 2015

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovani Macz Choc
SECRETARIO:	Licda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE DOCENTE:	Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE EGRESADOS:	Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	Br. Fredy Enrique Gereda Milián PEM. César Oswaldo Bol Cú

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR CARRERA GEOLOGÍA

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

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

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Geol. Ricardo Enrique Milián de la Cruz

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Geol. Mario Roberto García Milián

ASESOR

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



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

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

Ref. 15-CG-54/2015
09 de febrero de 2015.


Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

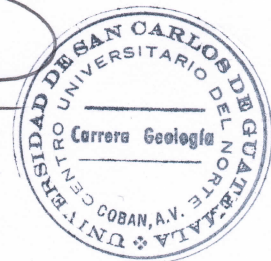
Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación de la T.U. **GEOL. ANDREA MARÍA REICHE DE LA CRUZ**, carné No. **200840412**, titulado: **“ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS CÁRSTICOS, POR MEDIO DEL MÉTODO EPIK, EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ, A.V.”**, 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. Sergio David Morán Icaí
Docente Asesor
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



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

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

Ref. 15-CG-355/2015
01 de octubre de 2015


Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

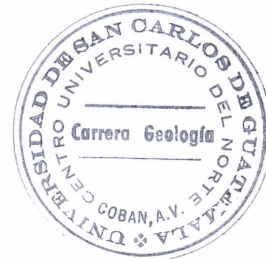
Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación de la **T.U. GEOL. ANDREA MARÍA REICHE DE LA CRUZ**, carné No. **200840412**, titulado: **“ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS CÁRSTICOS, POR MEDIO DEL MÉTODO EPIK, EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ, A.V.”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



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

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

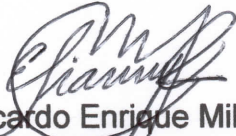
Ref. 15-CG-394/2015
27 de octubre de 2015.

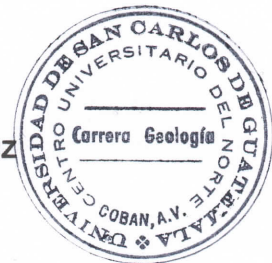
Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio remito el informe Final de Trabajo de Graduación a nivel de grado titulado: **“ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS CÁRSTICOS, POR MEDIO DEL MÉTODO EPIK, EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ, A.V.”**, realizado por la T.U. **GEOL. ANDREA MARÍA REICHE DE LA CRUZ**, carné No. **200840412**, 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. Geol. Ricardo Enrique Milián de la Cruz
Comisión Redacción y Estilo
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: "ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS CÁRSTICOS, POR MEDIO DEL MÉTODO *EPIK*, EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ, A.V.", como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniera Geóloga.



T.U. Geol. Andrea María Reiche de la Cruz
Carné No. 200840412

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.

DEDICATORIA A:

Dios
Mi abuelita Ana
Mis padres
Mi esposo

Especialmente a dos grandes amores y pilares de mi vida: Mi Papito Julio que me ha dado todo lo que ha podido y más de lo que he pedido, gracias por su apoyo incondicional, este logro es suyo también. Y a mi esposo Fernando gracias por ser mi amigo, esposo, amante, guía pero sobre todo mi compañero de vida. LOS AMO.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios, por todas las bendiciones que me ha brindado en la vida.

Mi Papá Julio Reiche, por su amor y ejemplo en cada etapa de mi vida, permitiéndome alcanzar cada uno de mis sueños.

Mi madre Zoila Elena De la Cruz, por haberme dado la oportunidad de vivir, por su amor y esfuerzo que me han permitido llegar hasta aquí.

A mi amado esposo Fernando López Hércules, por su amor, cariño, comprensión, palabras de ánimo en todo momento, gracias por creer en mí y soñar conmigo en que este día llegaría.

Mis hermanos Edin, Diego y Ana Paula por su amor, espero que este logro sea inspiración para ellos.

A mis abuelas Ana y Carmelina, mis mejores ejemplos de vida, fortaleza y perseverancia, mi amor, respeto y admiración para ellas.

A mis tíos, por su cariño, confianza y amor incondicional.

Mis amigos y compañeros, por su cariño y amistad.

Al ingeniero Sergio Morán, por su apoyo y asesoramiento de este trabajo de graduación.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y al Centro Universitario del Norte, por haberme brindado la oportunidad de estudiar la carrera de geología.

Al claustro de catedráticos quienes me impartieron valiosos conocimientos teóricos y prácticos que fueron aplicados directa e indirectamente en este trabajo de graduación. Especialmente al Dr. Jesús De la Cruz, Ing. Julio Reynosa, Ing. Sergio Morán, Ing. Bernie Castillo, Ing. Fernando Monterroso, Ing. Osmín Vásquez e Ing. Ricardo Milián.

A la Unidad de saneamiento ambiental, Dirección área de salud del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, por facilitar la ejecución de los análisis bacteriológicos para cada muestra de agua.

Al laboratorio de la carrera de Geología, por facilitar todas las herramientas, equipo necesario y tiempo para el análisis de los diferentes parámetros evaluados.

A todos ellos, gracias.

ÍNDICE GENERAL

Índice de contenidos	i
Índice de tablas	iii
Índice de mapas	iv
Índice de figuras	iv
Índice de fotografías	v
Resumen	vii
Introducción	1
Objetivos	3
General	3
Específicos	3

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Planteamiento del problema	5
1.2	Justificación	6
1.3	Hipótesis	7
1.4	Antecedentes	8
1.5	Revisión de literatura	8
1.5.1	Vulnerabilidad	8
1.5.2	Vulnerabilidad intrínseca	9
1.5.3	Vulnerabilidad específica	10
1.5.4	Acuífero	10
1.5.5	Procesos cársticos	11
1.5.6	Parámetros microbiológicos de calidad del agua	11
1.5.7	Escherichia coli (E-coli)	12
1.5.8	Coliformes (totales)	12
1.5.9	Normas guatemaltecas obligatorias para la calidad del agua potable (COGUANOR NGO 29001)	13
1.5.10	Límite máximo aceptable (LMA)	14
1.5.11	Límite máximo permisible (LMP)	14
1.5.12	Índice o nivel de contaminación bacteriana (ICOBA)	14
1.6	Localización y extensión	15
1.7	Vías de acceso	16
1.8	Geología	18
1.8.1	Contexto geológico regional	18
1.8.2	Contexto geológico local	20
A.	Formación Tactic	22
B.	Formación Todos Santos (JKts)	22

C. Formación Cobán	23
D. Depósitos terciarios-cuaternarios	23

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA EPIK

2.1 Metodología EPIK	25
2.1.1 Epikarst (E)	26
A. Geomorfología	28
2.1.2 Cubierta protectora (P)	31
A. Puntos de muestreo	31
B. Determinación textural del suelo	34
C. Determinación de espesores de suelo	46
2.1.3 Infiltración (I)	52
2.1.4 A. Descripción de los puntos de infiltración	56
2.1.4 Red cárstica	59
A. Puntos de muestreo	64

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis y discusión de resultados	71
3.1.1 Parámetro epikarst (E)	71
3.1.2 Parámetro cubierta protectora (P)	74
3.1.3 Parámetro infiltración (I)	77
3.1.4 Red cárstica (K)	80
3.2 Zonas vulnerables a la contaminación	86

CONCLUSIONES

General	91
Específicas	91

RECOMENDACIONES	93
------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	95
---------------------	----

ANEXOS

1	Ponderación de parámetros evaluados	97
2	Lista de abreviaturas	99
3	Análisis bacteriológicos de agua	101
4	Mapa coliformes totales contenidos en el agua toma 1 y 2	115
5	Mapa coliformes fecales contenidos en el agua toma 1 y 2	121
6	Mapa de pH toma 1 y 2	127
7	Mapa de vulnerabilidad del acuífero cárstico según el método EPIK	133

ÍNDICE DE TABLAS

1	Parámetros bacteriológicos y sus límites máximos	14
2	Clasificación para la contaminación bacteriana según el nivel de riesgo para la salud	15
3	Coordenadas del municipio de Santa Cruz, A.V.	16
4	Parámetro Epikarst	26
5	Puntos de muestreo de suelos	32
6	Porcentajes de arena, limo y arcillas	37
7	Sedimentación de muestras analizadas 1	39
8	Sedimentación de muestras analizadas 2	40
9	Sedimentación de muestras analizadas 3	41
10	Sedimentación de muestras analizadas 4	42
11	Sedimentación de muestras analizadas 5	43
12	Sedimentación de muestras analizadas 6	44
13	Cubierta protectora	50
14	Condiciones de infiltración	54
15	Comparación textura de suelos vs. Velocidad infiltración	57
16	Desarrollo Cárstico	61
17	Puntos de muestreo bacteriológico	64
18	Variabilidad bacteriológica	66
19	Resumen de la calidad del agua con base a COGUANOR 29001	81
20	Coeficientes de ponderación	86
21	Factor de protección a la vulnerabilidad de acuíferos	87
22	Valores de las categorías E,P,I,K	87
23	Ponderaciones de vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación	89

ÍNDICE DE MAPAS

1	Vías de acceso municipio de Santa Cruz, A.V.	17
2	Mapa de rasgos tectónicos de Centro América	19
3	Mapa geológico local	21
4	Mapa geomorfología	30
5	Puntos de muestreo suelos e infiltración	33
6	Mapa textura de suelos	45
7	Pendientes	55
8	Velocidad de infiltración	58
9	Lineaciones	63
10	Muestreo bacteriológico del agua	65
11	Parámetro epikarst (E)	73
12	Parámetro cubierta de protección (P)	75
13	Parámetro condiciones de infiltración (I)	79
14	Parámetro desarrollo de la red cárstica (K)	84
15	Densidad de dolinas	85
16	Zonas potenciales a la contaminación de acuíferos cársticos	90

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Árbol de problemas para el área investigada	6
2	Secciones estratigráficas para el oeste y este de Guatemala	20
3	Proceso para determinar textura (Método Bouyoucos)	35
4	Triángulo textural con las 21 muestras analizadas en laboratorio	38
5	Perfiles de suelos para el área de estudio	49
6	Efectos de la diferencia de los niveles de agua entre ambos anillos	52
7	Metodología del infiltrómetro de Munz	53
8	Metodología de muestreo bacteriológico del agua	60

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Epikarst del municipio de Santa Cruz Verapaz	27
2	Equipo necesario para la aplicación de Bouyoucos	36
3	Suelo arcilloso derivados de areniscas	46
4	Suelo arcillo-limoso derivado de calizas	47
5	Formación geológica (caliza brechosa)	48
6	Cubierta protectora	51
7	Pruebas de infiltración	56
8	Karstificación	68
9	Red cárstica bien desarrollada	69

RESUMEN

El estudio realizado de trabajo de graduación lleva por nombre “Análisis e identificación de zonas vulnerables a la contaminación intrínseca de acuíferos cársticos, por medio del método *EPIK*, en el municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz”.

La metodología propuesta para este estudio consistió en identificar las zonas más propensas a la vulnerabilidad dentro del municipio de Santa Cruz Verapaz. Considerando los siguientes parámetros: Epikarst “E”, propiedades de la cubierta protectora “P”, condiciones de infiltración “I” y el desarrollo de la red cárstica “K”.

Posteriormente se implementó la metodología overlayer y con los resultados de los rangos de valoración, se integraron los diferentes parámetros evaluados, con ello se logró identificar las zonas vulnerables a la contaminación intrínseca de acuíferos cársticos en el área de investigación.

Mediante la metodología *EPIK* se logró identificar las siguientes clases de vulnerabilidad a la contaminación: baja vulnerabilidad 6,89% de área ubicada al sur de municipio, clase moderada con 23,28% se encuentra en las comunidades de Chixojau, Najquitob, la clase de alta vulnerabilidad abarcando un 38,85% del área se encuentra en las aldeas Chicoyoj, Pansinic, Chiquihuital, Chitul, Las Victorias y la zona de muy alta vulnerabilidad cuenta con 30,98% en Pajatzunum, Acamal y el Arco.

Con esta identificación se lograron establecer las tres clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos cársticos, permitiendo conocer el potencial que este tiene a la contaminación, lo que contribuye a establecer las áreas prioritarias para la implementación de acciones que minimicen la contaminación de los acuíferos y proteger las aguas subterráneas.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico del país es abundante pero en los últimos años se ha vuelto vulnerable. Entre los principales factores que ha desencadenado este problema están: la erosión, la escorrentía superficial, el uso inmoderado de agroquímicos, aunado a eso la contaminación de las fuentes hídricas que ha ido en aumento, produciendo cambios en la calidad del agua, la tala inmoderada, la impermeabilización de las zonas de recarga, el aumento en la demanda del recurso.

Se tiene conocimiento de que en el municipio de Santa Cruz Verapaz existen acuíferos subterráneos, más no donde exactamente se encuentran ubicados, pero es importante tomar en consideración cuales pueden ser las zonas propensas a la contaminación, ya que en ciertas áreas puede existir un riesgo en la calidad de las aguas subterráneas y afectar los acuíferos por la existencia de contaminantes en su entorno.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar e Identificar las zonas vulnerables a la contaminación intrínseca de acuíferos cársticos por medio del método *EPIK* en el municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz.

Objetivos específicos

1. Definir el tipo de morfología y el desarrollo cárstico que afecta al área de investigación.
2. Realizar pruebas de infiltración de manera aleatoria de acuerdo a parámetros establecidos.
3. Estimar la vulnerabilidad de los acuíferos cársticos en el municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz.

CAPÍTULO 1

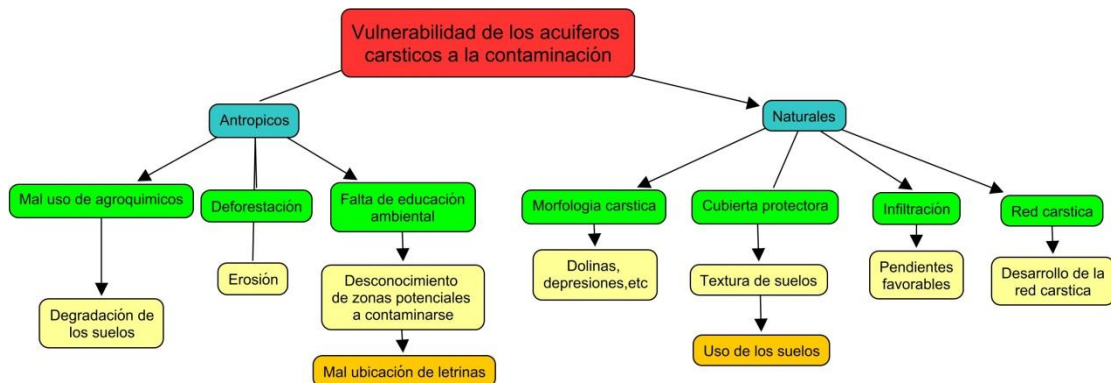
INTRODUCCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad la degradación de los recursos ha ido en aumento, principalmente el recurso hídrico, el cual se ha contaminado gradualmente tanto superficial como intrínsecamente, provocando que casi todos los ríos superficiales, nacimientos o pozos de agua estén contaminados; tanto de forma natural como antrópica, por lo cual, en el área de interés se planteó la siguiente pregunta: ¿Qué nivel de vulnerabilidad intrínseca presentan los acuíferos del municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz?

Por ello surge la necesidad de identificar las zonas con mayor índice de vulnerabilidad de acuíferos cársticos con el fin de darle el uso y manejo adecuado a los recursos naturales implementando mecanismos para la conservación del agua subterránea. Para el área investigada se han identificado y jerarquizado los problemas que llevan a determinar la necesidad de realizar este tipo de investigación. (Ver Figura 1).

FIGURA 1
ÁRBOL DE PROBLEMAS PARA EL ÁREA INVESTIGADA



Fuente: Investigación de campo. 2014.

1.2 Justificación

El municipio de Santa Cruz Verapaz se abastece de agua entubada, nacimientos, manantiales, ríos, y pozos provenientes de las formaciones acuíferas de las montañas del municipio, las cuales mantienen una calidad del recurso hídrico aceptable para los pobladores. El área de estudio que comprende la cabecera del municipio, debido a la importancia que presenta porque se encuentra dentro de la zona de alto consumo de agua y está sujeta a una fuerte urbanización.

El cuidado de los acuíferos es importante, porque de no hacerlo puede aumentar la contaminación debido a la intensa actividad humana que se desarrolle sobre ellos, dentro de estas actividades podemos mencionar: las actividades agrícolas, pecuarias y cotidianas (mal ubicación de pozos ciegos, letrinas, basureros, vertederos, etc.) que ha influido en gran manera sobre el vital líquido lo que ha permitido que aumenten las tasas de contaminación.

La contaminación en las aguas subterráneas puede llegar a tener efectos irreversibles debido a la ubicación en la que se encuentran en el subsuelo. Y cualquier actividad que produzca desechos líquidos o sólidos puede ser un medio potencial de contaminación.

Además fue pertinente realizar éste estudio por las características del área, ya que son terrenos carbonáticos donde se planteó trabajar con el método *EPIK*, el cual permitió obtener información útil para proponer alternativas con el fin de realizar ordenamientos territoriales que permitan lograr una adecuada protección y manejo de los acuíferos.

El uso de los mapas de vulnerabilidad permite evaluar la magnitud del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en diferentes zonas de la misma ante la presencia de diferentes actividades humanas. También éste estudio servirá a las autoridades para tener conocimiento de cómo realizar el ordenamiento territorial, así mismo es el punto de partida para futuras investigaciones en la región siendo una herramienta útil e informativa para la municipalidad, Ministerio de Ambiente y Recurso Naturales (MARN), pobladores, etc.

1.3 Hipótesis

Las zonas con mayor índice a la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos en el municipio de Santa Cruz Verapaz, se encuentran en la cabecera municipal.

1.4 Antecedentes

En lo que respecta a información relacionada con estudios de vulnerabilidad de acuíferos cársticos es muy limitada. En Guatemala no se ha trabajado y generado información en relación al tema de vulnerabilidad de acuíferos y mucho menos enfocado a acuíferos cársticos. Por ello es que se ha abordado este tema utilizando la metodología *EPIK* la cual está desarrollada por Doerfliger y Zwahlen (1997) para estimar la vulnerabilidad de acuíferos cársticos. Este se basa en la asignación de cuatro caracteres trascendentes en el flujo y transporte a través de sistemas cársticos.

1.5 Revisión de literatura

1.5.1 Vulnerabilidad

Según Vrba y Zaporozec (1994) la vulnerabilidad es “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”¹. De la definición se desprende que los autores incluyen en la misma tanto al sistema subterráneo como a los contaminantes y dentro de estos a los artificiales y a los naturales.

Foster e Hirata (1991) dicen que la “vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta”².

¹ Jaroslav, V. and A. Zaporozec.. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability International Contribution to Hydrogeology*. Londres, Inglaterra: Hannover: H. Heise.1 994.

² Foster Stephen, Hirata Ricardo. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes*. Lima, Perú. Organización Panamericana de la Salud, 1 991.

Cuando se refieren a una carga contaminante impuesta, parecen referirse solamente a una contaminación de origen artificial.

Los métodos utilizados para el análisis de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, pueden ser clasificados en tres grupos según Otalvaro, (1996):

Métodos basados en procedimientos: utilizan modelos matemáticos para analizar y simular los procesos que gobiernan el transporte de contaminantes en la subsuperficie.

Métodos estadísticos: utilizan grupos de variables que condicionan la vulnerabilidad de la contaminación de los acuíferos, proporcionando conclusiones según la asociación que presenten éstas áreas.

Métodos de Indexación y superposición: combinan un conjunto de características o atributos físicos del suelo, la zona no saturada y los acuíferos, a los cuales se asigna un valor numérico según su importancia en la evaluación de la vulnerabilidad.³

Son los más usados son por su mayor flexibilidad, en cuanto al conocimiento básico de la zona, aceptando ciertas estimaciones en caso de contar con información insuficiente.

1.5.2 Vulnerabilidad intrínseca

Este tipo de vulnerabilidad tiene mayor utilidad en los trabajos de planificación de uso del territorio y del agua, particularmente en lo que respecta a la preservación de la calidad del recurso, en los sitios

³ Otalvaro, Doris Liliana. *Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la sabana de Bogotá*. Colombia. Universidad de Caldas. Facultad de Geología y Minas. 1996.

donde no está afectado, ni se realizan prácticas como fertilización, aplicación de plaguicidas, riego, cría concentrada de ganado, ni actividades domésticas, urbanas, o industriales, que por su intensidad pudieren afectarlo.⁴

Para el estudio se consideró esta vulnerabilidad con el fin de preservar el recurso del agua en el municipio de Santa Cruz Verapaz, ubicando las zonas potenciales de vulnerabilidad para mitigar los daños que pudieran ocasionarse con las practicas agroquímicas excesivas, domesticas, etc.

1.5.3 Vulnerabilidad específica

Incluye parcialmente el concepto de riesgo, toda vez que se refiere al peligro de deterioro en relación a sustancias contaminantes específicas.

1.5.4 Acuífero

Es una estructura geológica que contiene agua y que es capaz de cederla en cantidades aprovechables mediante galerías, zanjas, pozo, sondeos o el uso directo de manantiales.⁵

Los acuíferos cársticos son un recurso estratégico en muchas regiones del mundo. Son acuíferos asociados, sobre todo, a

⁴ Auge Miguel. *Vulnerabilidad de acuíferos semiconfinados*. Red Cyted. La Plata Argentina 2 001.

⁵ Instituto Tecnológico Geominero de España. *Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, importancia de la protección de las aguas subterráneas*. http://www.igme.es/internet/divulgación_didactica/conoce_las_as/ficha4.pdf (15 de mayo de 2 014).

formaciones carbonatadas afectadas por fisuración y disolución (carstificación). La carstificación origina toda una jerarquización del drenaje subterráneo desde la superficie hasta la surgencia; es precisamente esta heterogeneidad organizada la que caracteriza el acuífero cárstico y lo diferencia del resto de acuíferos.

En el acuífero cárstico la función capacitiva reside en la propia matriz rocosa, más o menos permeable, mientras que la red de conductos es la que asegura la función transmisiva del flujo.⁶

1.5.5 Procesos cársticos

Los acuíferos cársticos presentan características geomorfológicas y fenómenos hidrológicos articulares. Los aspectos geomorfológicos incluyen la existencia de sumideros, ausencia de redes de drenaje superficiales y presencia de redes de drenaje cársticas debido a la disolución de la roca. Las características hidrológicas incluyen grandes manantiales cuyos hidrogramas presentan recargas en pico, recesión rápida y flujos de base bajos. La calidad del agua refleja variaciones químicas en función de las tasas de descarga.⁷

1.5.6 Parámetros microbiológicos de calidad del agua

El agua destinada al consumo humano y uso doméstico debe estar libre de patógenos. La mayor parte de las enfermedades

⁶ Instituto Geológico y Minero de España -IGME- *Los acuíferos kársticos. Casos del país vasco, The karstic aquifers. Cases of the Basque Country*, España: IGME., 2 014.

⁷ -----, *Protección de las captaciones de abastecimiento urbano en medios kársticos. Métodos y consideraciones específicas*. [http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro107/pdf/lib107/in_07 .pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro107/pdf/lib107/in_07.pdf). España (28 de abril de 2 014).

transmitidas a través del agua tienen su origen en la ingestión de agua contaminada por microorganismos de origen fecal (Henry y Heinke, 1999) y por lo tanto producen cuadros altos de diarrea en las personas.

Los principales indicadores para la evaluación de la calidad bacteriológica del agua son los coliformes fecales y la bacteria *Escherichia coli*, ambos provienen de las heces de origen humano y animal.

1.5.7 *Escherichia coli* (E-coli)

Si hay presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicativo de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otros tipos de desechos en descomposición.

Las bacterias coliformes fecales forman parte del total del grupo coliforme. Son definidos como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de las 24 horas ± 2 horas. La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el *Escherichia coli*.⁸

1.5.8 Coliformes (totales)

Esta prueba de coliformes totales y fecales también se utiliza para determinar la calidad bacteriológica de los esfuerzos de los sistemas de tratamiento de aguas servidas.

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas

⁸Perdomo C. *Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste de Uruguay*. Agrocienca. 2 001.

en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.⁹

1.5.9 Normas guatemaltecas obligatorias para la calidad del agua potable (COGUANOR NGO 29001)

Según la norma COGUANOR-NGO-29001, las bacterias coliformes se encuentra en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. Por ello es que se recomiendan los siguientes niveles de bacterias coliformes fecales para el agua:

Agua potable: menos de 1 colonia por 100 ml de la muestra de agua.

Natación: menos de 200 colonias por 100 ml de la muestra de agua.

Navegar/Pescar: menos de 1000 colonias por 100 ml de la muestra de agua.¹⁰

COGUANOR, en la calidad del agua para el consumo humano ha propuesto valores de concentraciones en los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, los rangos son el límite máximo aceptable (LMA) y el límite máximo permisible (LMP). A continuación se detalla más acerca de ellos.

⁹Wikipedia, *Coliformes totales y coliformes fecales*. http://es.wikipedia.org/wiki/Coliforme#Coliformes_totales_y_coliformes_fecales (24 de febrero de 2 014).

¹⁰ Comisión Guatemalteca de normas -COGUANOR- *Norma guatemalteca obligatoria, agua potable. NGO-29001*. Guatemala. Departamento de Regulación de los Programas de Salud y Ambiente. 1 999.

1.5.10 Límite máximo aceptable (LMA)

Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud (COGUANOR 29001, 1985).

1.5.11 Límite máximo permisible (LMP)

Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano (COGUANOR 29001, 1985) Tabla 1.

TABLA 1
PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS Y SUS LÍMITES
MÁXIMOS (COGUANOR 29001)

Parámetros	LMA	LMP
<i>E-coli</i>	--	< 1,1 NMP/100 mL
Coliformes totales	--	< 1,1 NMP/100 mL

NMP = número más probable

Fuente: Idexx Laboratories INC. *Parámetros bacteriológicos y sus límites máximos*. http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/agua/legislacion/COGUANOR_agua%20potable.pdf (28 de febrero de 2014).

1.5.12 Índice o nivel de contaminación bacteriana (ICOPA)

La contaminación bacteriana está determinada por la concentración de coliformes fecales (*Escherichia coli*). El grado de riesgo para la salud se determina por el nivel de contaminación bacteriana.

Según la concentración de coliformes fecales se han desarrollado cinco categorías (Tabla 2): A, B, C, D y E, dentro de las

cuales únicamente la A es de calidad potable y las demás corresponden a no potable¹¹.

TABLA 2
CLASIFICACIÓN PARA LA CONTAMINACIÓN
BACTERIANA SEGÚN EL NIVEL DE RIESGO PARA LA
SALUD

Grado	Coliformes fecales	Clasificación del riesgo	Código de color
A	< 1	Nulo	Azul
B	1 – 4	Bajo	Celeste
C	5 – 100	Intermedio	Verde
D	101 – 1 000	Alto	Amarillo
E	> 1 000	Muy alto	Rojo

Fuente: Yun, Zhen. *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste*. http://estatico.uned.ac.cr/investigación/documents/Tesis_BiYun_Zhen.pdf. San José, Costa Rica. 2 009 (28 de febrero de 2 014).

1.6 Localización y extensión

El municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz:

“Se encuentra en los límites territoriales: al norte municipio de Cobán, al Sur con el municipio de San Miguel Chicaj del departamento de Baja Verapaz, al este del municipio de Tactic, y al Oeste el municipio de San Cristóbal Verapaz.”¹²

¹¹ Yun, Zhen. *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica*. http://estatico.uned.ac.cr/investigación/documents/Tesis_BiYun_Zhen.pdf. San José, Costa Rica. 2 009 (28 de febrero de 2 014).

¹²Wikipedia. *Municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz* http://es.wikipedia.org/wiki/Santa_Cruz (15 de enero de 2014)

Santa Cruz, está ubicado al norte de la zona central de la República de Guatemala; en el municipio de Alta Verapaz, en la hoja topográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de 1976, con el nombre Cobán 2 162 II, a escala 1:50,000. El área de investigación tiene una superficie territorial de 48 kilómetros cuadrados.

1.7 Vías de acceso

Para llegar al municipio de Santa Cruz, Verapaz, se accede por las vías terrestres, carreteras asfaltadas; carretera de las Verapaces, carretera a San Cristóbal Verapaz, a San Juan Chamelco, carreteras de terracería; Chitul, Saquija, Santa Elena, Acamal I y II, Panaha, Valparaíso, Najquitob, Chilocom, San Rafael, Moxenja, Pambach, Rosario Italia, Chixajau, Chajcojoj, Panquiyou.¹³ En el Tabla 3 y Mapa 1 se presentan los vértices con las coordenadas en el sistema WGS 84, y la ubicación geográfica a nivel regional y local del área.

TABLA 3
COORDENADAS DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ, A.V.

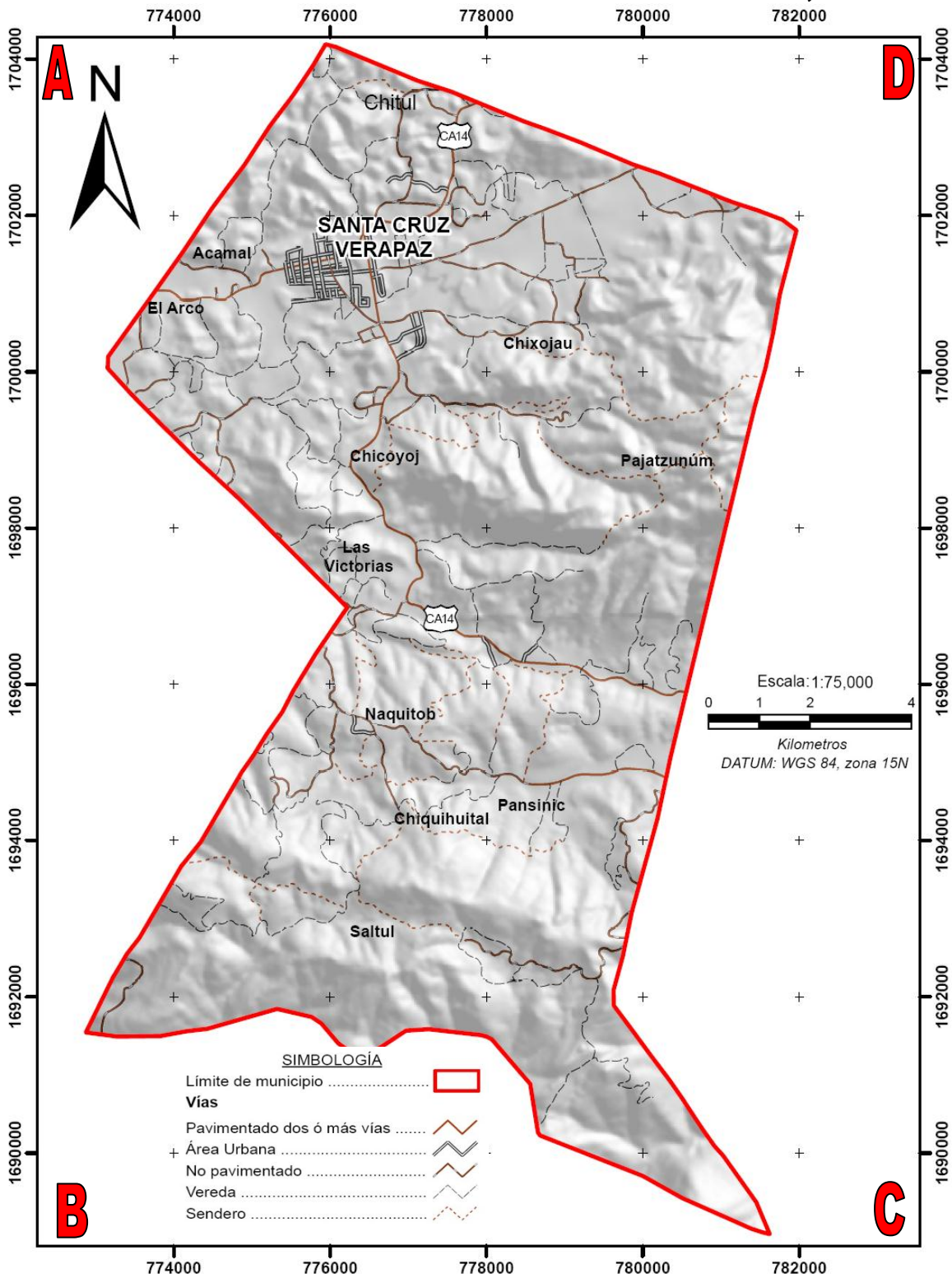
VÉRTICES	COORDENADAS UTM (WGS 84)	
	NORTE	ESTE
A	1704000	773000
B	1689000	773000
C	1689000	782000
D	1704000	782000

Fuente: Investigación de campo. 2014.

¹³ Ibidem.

MAPA 1

VÍAS DE ACCESO MUNICIPIO DE SANTA CRUZ, A.V.



Fuente: Investigación de campo. 2014.

1.8 Geología

A continuación se describe el contexto geológico regional y local del municipio de investigación.

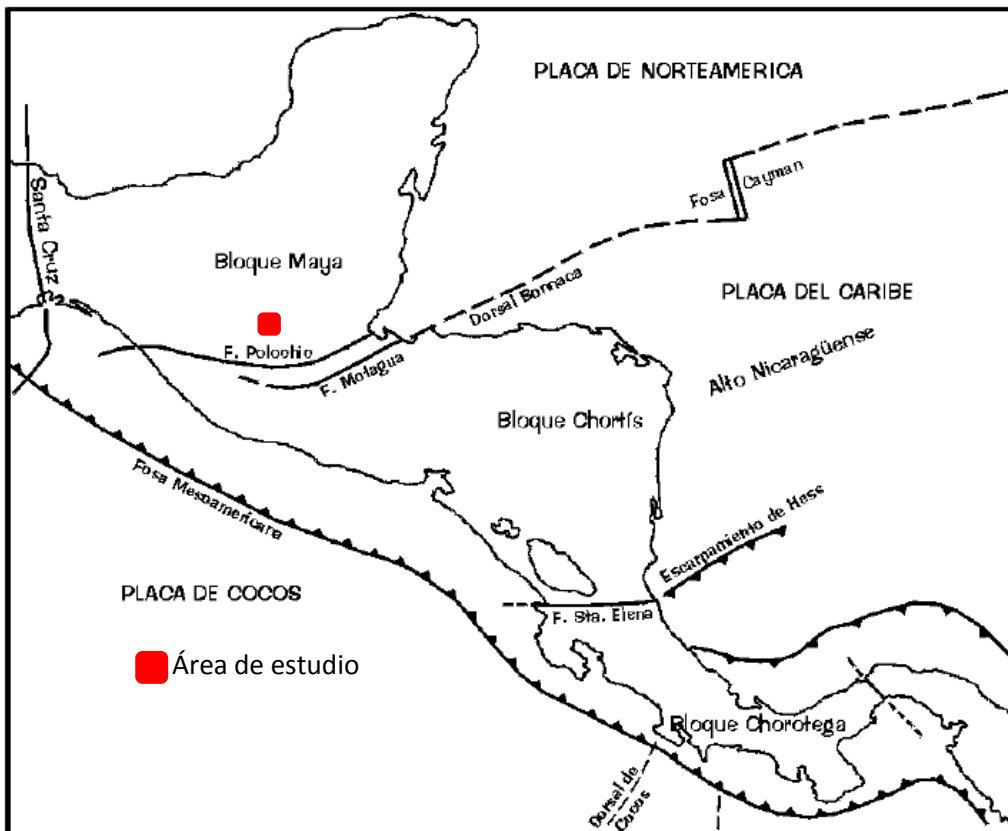
1.8.1 Contexto geológico regional

La geología de Guatemala se caracteriza por ser una de las más diversas de toda Centro América. Esta geología se debe principalmente a que Guatemala se localiza en la intersección de tres placas tectónicas principales siendo estas: 1) Cocos, 2) Caribe y 3) Norteamérica. Como lo describe el bloque Maya y Chortis, de la Sociedad Geológica de América.

La zona de sutura del Motagua se ha considerado como el límite entre las placas de Norteamérica (Bloque Maya) y la de Caribe (Bloque Chortis). El área de investigación es atravesada por la zona de falla del Polochic hacia el sur la cual tiene una orientación este-oeste.

El norte de Guatemala se caracteriza por tener una litología de rocas sedimentarias (siliciclásticas, químicas, bioquímicas, etc.), metamórficas (bajo grado) y de origen ígneo (ultramáficas y depósitos volcánicos eólicos). Esto descrito en el texto del Bloque Maya y Chortis de la Sociedad Geológica de América. Mapa 2.

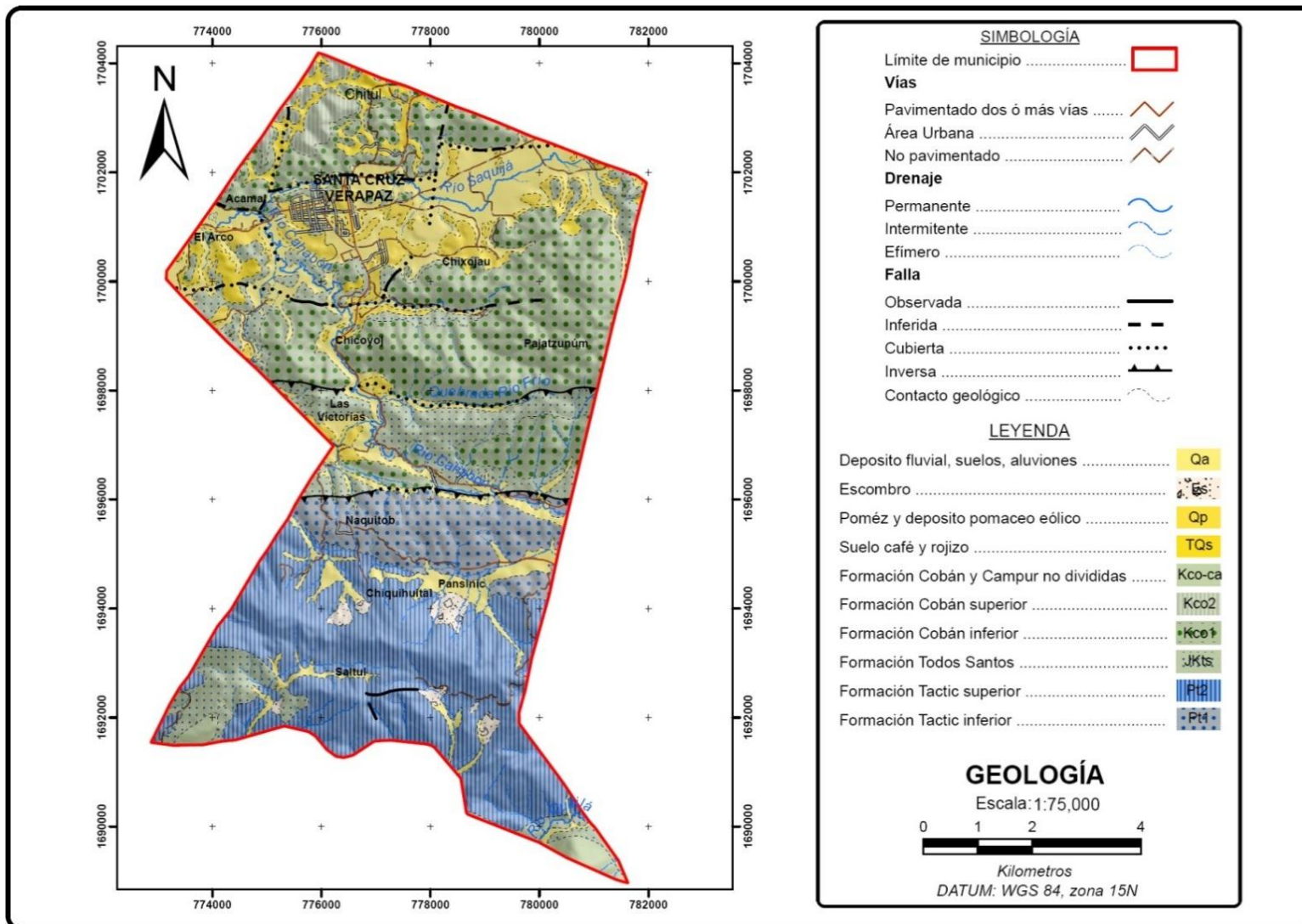
MAPA 2 RASGOS TECTÓNICOS DE CENTRO AMÉRICA.



Fuente: Chiquin Yoj, Mauricio (Comp.) Norte y Centro América: Bloque Maya y Chortís. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Dirección General de Investigación, 2 000.

El Bloque Maya se encuentra conformado por las siguientes unidades (Figura 2): Complejo Chuacús Grupo Santa Rosa, la Formación Chochal, la Formación Todos Santos, la Formación San Ricardo, la Formación Cobán, la Formación Campur, la Formación Angostura, la Formación Actelá, el Grupo Verapaz, el Grupo Petén, la Formación Toledo, la Formación Desempeño, la Formación Lacantún, la Formación Río Dulce, la Formación Herrería y la Formación Armas. Según el Bloque Maya y Chortis de la sociedad Geológica de América (1 990).

MAPA 3 GEOLÓGICO LOCAL



Fuente: Investigación de campo. 2014. Mapas Geológicos hoja TACTIC (2161 IV) y COBÁN (2162 III), escala 1:75, 000.

A. Formación Tactic

Se encuentra conformada por dos miembros un inferior (Pt1) consiste en lutita, lutita pizarrosa con intercalaciones de arenisca fina, no es fosilífera y su edad es incierta. En el área de investigación se encuentran en la parte central del municipio.

Y el miembro superior (Pt2) consiste en lutita y caliza intercaladas de edad Pérmica debido a los fósiles que presenta. Esta lutita muestra características impermeables. Se ubican en la parte sur del municipio de Santa Cruz Verapaz.

B. Formación Todos Santos (JKts)

Esta formación tiene su afloramiento tipo en la población de Todos Santos en los Altos Cuchumatanes en el departamento de Huehuetenango. En el departamento de Alta Verapaz se aloja en pequeñas zonas de los municipios de San Cristobal y Tactic. Consiste en arenisca conglomerática, limolita y lutita terrosa roja, con un cuerpo lenticular de estratos de caliza marina presente localmente en la parte superior de la secuencia (Millan, 1985).

Al norte de la zona de falla Chixoy-Polochic, la Formación Todos Santos aparece donde las calizas Cretácicas suprayacentes han sido removidas por fallamientos o erosión. A esta formación se le ha dado una edad de Triásico tardío a Jurásico tardío, pero de acuerdo a la escasez de fósiles que se tiene tiende a generar cierta incertidumbre. La fauna contenida indica una edad transicional Jurásico tardío-Cretácico temprano (Millan, 1985).

C. Formación Cobán

Según Donnelly 1 990, la formación Cobán está conformada por dos miembros, uno el dolomítico inferior (Kco1) consiste en dolomitas oscuras, algunas veces cristalinas, calizas dolomíticas con contenido de miliólidos, y ocasionalmente algunas listas de calizas cretácicas, capas de brechas métricas y pluridecamétricas de origen evaporítico¹⁴.

Y el dolomítico superior que se encuentra basado en la descripción del bloque maya y chortis de Donnelly está compuesto de lodolita, calizas *wackestone* o *packestone* con algunas listas de dolomitas y brechas, con elementos que pueden llegar a los 20 cm en tamaño. La parte superior de este miembro es de caliza de color claro y contiene fósiles distintivos, tales como: rudistas y foraminíferos grandes: *Dicyclina schlumbergeri*, *Pseudorhapydionina sp.* y *Valvulammina picardi*.

D. Depósitos terciarios-cuaternarios

Las principales formaciones de edad reciente que se encuentran dentro del área de investigación son: depósitos de suelos, pomáceos eólicos, redepositados y depósitos aluviales, este último predomina en la parte norte del municipio. Los depósitos aluvionales (Qa) más importantes se encuentran al norte del Río Cahabón.

¹⁴ Chiquin Yoj, Mauricio (Comp.) Norte y Centro América: Bloque Maya y Chortís. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Dirección General de Investigación, 2 000.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

EPIK

2.1. Metodología EPIK

En lo que respecta a información relacionada con estudios de vulnerabilidad de acuíferos cársticos es muy limitada. En Guatemala no se ha trabajado y generado información en relación al tema de vulnerabilidad de acuíferos y mucho menos enfocado a acuíferos cársticos. Por ello es que se ha abordado este tema utilizando la metodología *EPIK* la cual está desarrollada por Doerfliger y Zwahlen (1997) para estimar la vulnerabilidad de acuíferos cársticos. Este se basa en la asignación de cuatro caracteres trascendentes en el flujo y transporte a través de sistemas cársticos. El acrónimo significa: *Epikarst* (E), *Protective cover* (P), *Infiltration conditions* (I), *Karst network development* (K).

La evaluación de la vulnerabilidad del sistema acuífero del municipio de Santa Cruz Verapaz partió de la identificación de las metodologías que tendrían aplicabilidad en la zona, de acuerdo con sus características hidrogeológicas y la disponibilidad de información. Fue así como se decidió aplicar este procedimiento de evaluación denominado: EPIK. Debido a que es el más recomendable para áreas cársticas propias del municipio de Santa Cruz Verapaz.

Según VRBA y ZAPOROZEC (1994) la vulnerabilidad es “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”. De la definición se desprende que los autores incluyen en la misma tanto al sistema subterráneo como a los contaminantes y dentro de estos a los artificiales y a los naturales.

2.1.1 Epikarst (E)

Su caracterización se basó en el estudio de las morfologías del terreno. Se realizó mediante el mapa topográfico para identificar las geoformas las cuales fueron corroboradas en campo. El parámetro E se subdivide en tres categorías que indican vulnerabilidad decreciente (Tabla 4):

TABLA 4
PARÁMETRO EPIKARST

Morfología cárstica observada (correspondiente al epikarst).	E1	Cuevas, sumideros, dolinas, relieves ruinosos.
	E2	Zonas intermedias situadas en alineaciones de dolinas, valles secos, cañones.
Morfología cárstica ausente.	E3	Resto del área de alimentación.

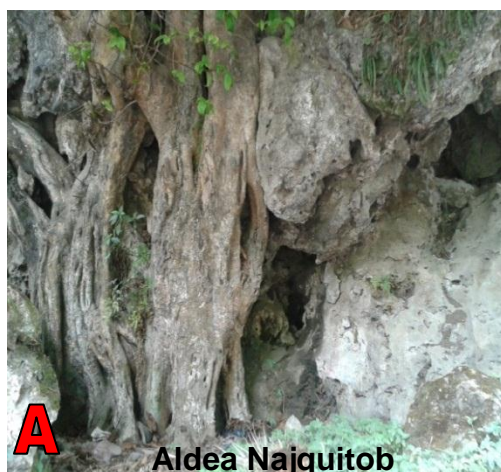
Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España. –IGME-. *Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, importancia de la protección de las aguas subterráneas.* http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/conoce_las_as/ficha4.pdf. (03 de Mayo de 2 013).

En la fotografía 1 en la sección A encuentra a la aldea Najquitob la cual muestra características del parámetro E1, representado por cuevas indicando que en este sector prevalece la actividad de disolución en las calizas y sumideros que son una de las formas más comunes de la topografía cárstica, originados por

depresiones en el terreno, en esta zonas se dan principalmente los sumideros de forma circular.

El valor E2, de la fotografía muestra un cañon ubicado en zonas aluviales de la parte media del municipio y algunos valles cercanos al municipio de Tactic, E3 muestra una morfología cárstica, caracterisca por tener una geomorfología de montañas altas.

FOTOGRAFÍA 1 EPIKARST DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ



A. E1, representado por cuevas y sumideros presentes dentro de esta área. B. E2, representado geomorfológicamente por el cañon en zonas aluviales. C. E3, característico por no mostrar morfología cárstica. D. E2, zona caracterizada por la representación de valles secos.

Tomadas por: Reiche Andrea. 2014.

A. Geomorfología

La evaluación de los diferentes parámetros de la metodología EPIK, se llevó a cabo mediante el análisis en puntos representativos ubicados en el municipio de Santa Cruz Verapaz, se elaboró el mapa geomorfológico y de acuerdo a las diversas geoformas cársticas identificadas, se plantearon puntos de muestreo los cuales fueron considerados para la evaluación de los parámetros del método. La geomorfología del municipio de Santa Cruz Verapaz se encuentra dada por:

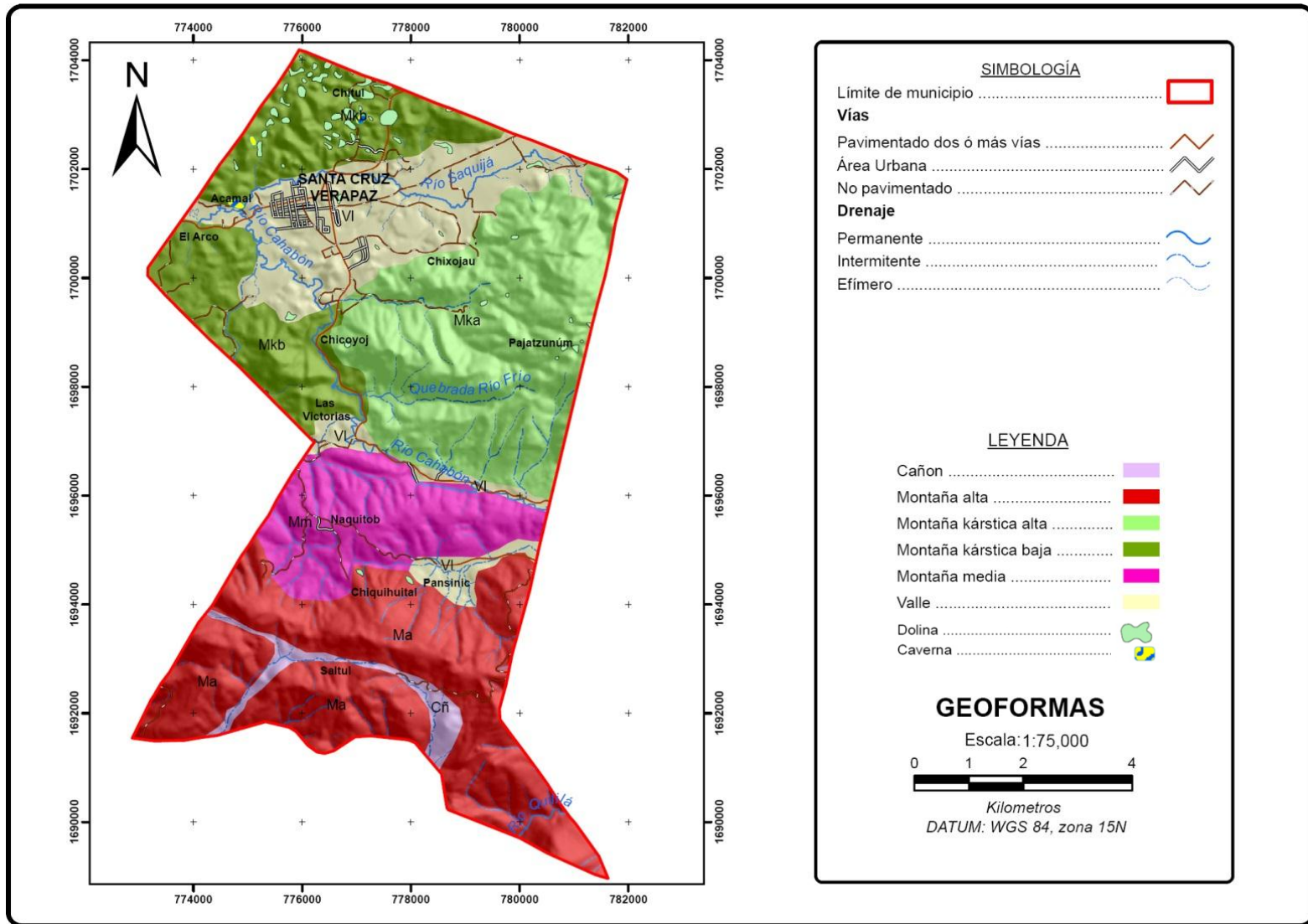
- **Cañon:** este se forma al ser cortadas capas de distintas resistencia de un valle en V.
- **Montaña cárstica alta:** Caracterizadas por las montañas carbonáticas que no han sufrido mucha disolución superficial.
- **Montaña alta:** La diferencia entre esta estas y las montañas altas kársticas es muy peculiar e inconfundible (por la disolución). Estas montañas son las más altas del área y no son carbonáticas, principalmente están compuestas por lutitas, lutitas pizarrosas, areniscas y limolitas.
- **Montaña media:** Estas son las montañas no carbonáticas, conformadas principalmente por la formación Todos Santos que consiste de areniscas conglomeráticas y lutitas, el relieve no es tan quebrado y su altura es menor en comparación con las montañas altas.

- **Valle:** Esta geoforma agrupa unidades de planicies cársticas (área de Santa Cruz) y los otros valles alargados cercanos a Tactic.

- **Dolinas o Sumideros:** Se forman como consecuencia de la acción cárstica, en esta área se encuentran en gran cantidad principalmente en la parte norte del municipio, también son conocidas en la región como siguanes. Estos se forman por el desplome o depresión del fondo donde se lleva a cabo la disolución de calizas.

- **Cavernas:** Conocidas también como cuevas subterráneas o cavidades típicas de los terrenos cársticos, su formación se debe a la disolución de la roca por el agua en circulación. En el municipio las podemos encontrar en la parte norte en donde se encuentra el mayor desarrollo cárstico del área, (Mapa 4).

MAPA 4 GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ VERAPAZ.



Fuente: Investigación de campo. 2014.

2.1.2 Cubierta protectora (P)

Para la vulnerabilidad intrínseca, en este parámetro se tomó en consideración el suelo (textura y espesores). El espesor del suelo se midió directamente en el terreno utilizando cinta métrica en los cortes o taludes de carreteras. Para la clasificación de este parámetro se consideraron dos casos, tomando en cuenta si existen o no formaciones de rocas.

Para la determinación se ubicaron diversos puntos de muestreo de la textura de suelos, en los cuales fue determinado sus respectivos espesores en base al parámetro de cubierta protectora.

A. Puntos de muestreo

Las zonas potenciales a la contaminación de acuíferos fue posible identificarlas a partir de los parámetros evaluados (Epikarst, Cubierta protectora, Infiltración, Karstificación) para lo cual primero se ubicaron los puntos de muestreo y a los cuales se le iban a realizar las pruebas de infiltración.

Los puntos de muestreo fueron propuestos a partir del mapa geomorfológico del área de estudio. Se consideraron 21 puntos para el muestreo de suelos y de éstos se consideraron 12 según la pendiente para el análisis de infiltración mediante pruebas de doble anillo, (Tabla 5).

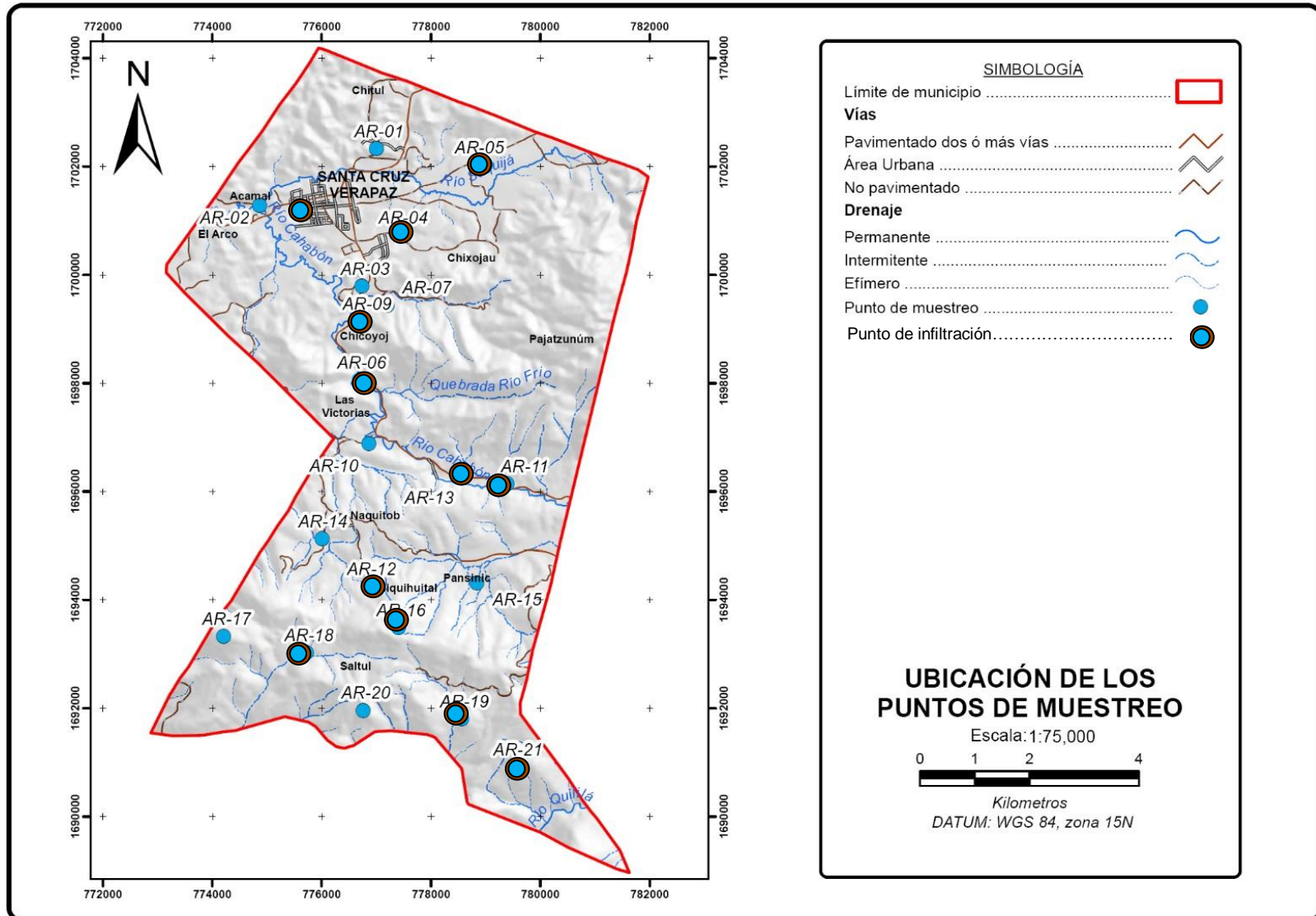
TABLA 5
PUNTOS DE MUESTREO DE SUELOS

No. Punto	X	Y	Muestreo suelo	Infiltración
AR-01	776240	1702385	X	
AR-02	774070	1700123	X	X
AR-03	775782	1699542	X	
AR-04	777280	1701071	X	X
AR-05	780000	1702018	X	X
AR-06	775996	1698075	X	X
AR-07	778900	1699787	X	
AR-08	780734	1700490	X	
AR-09	777860	1697831	X	X
AR-10	776454	1697128	X	
AR-11	779887	1697896	X	X
AR-12	777310	1695599	X	X
AR-13	778839	1695691	X	X
AR-14	775904	1694866	X	
AR-15	778839	1694315	X	
AR-16	777402	1693490	X	X
AR-17	774467	1692665	X	
AR-18	775721	1693032	X	X
AR-19	778563	1691809	X	X
AR-20	776760	1691962	X	
AR-21	779542	1690922	X	X

Fuente: Investigación de campo. 2014.

En el Mapa 6 se presenta la distribución de los puntos de muestreo de suelos dentro del municipio de Santa Cruz Verapaz.

MAPA 5 PUNTOS DE MUESTREO DE SUELOS E INFILTRACIÓN



Fuente: Investigación de campo. 2014.

B. Determinación textural del suelo

Las muestras recolectadas han sido analizadas mediante dos métodos siendo estos: el de hidrómetro de Bouyoucos y sedimentación. El primero consistió en la dispersión de las partículas de suelo, ya que como lo indica este método es necesario romper con los agregados, lo cual fue realizado agitando la muestra y con un químico dispersante, (hidróxido de sodio (NaOH)). Para cada uno de los métodos es necesario utilizar un tamiz con un diámetro de 0,002 m para que las partículas de suelo menores a este diámetro entren en suspensión.

La segunda técnica se basa en la velocidad de caída de las partículas en el agua. Según este método las partículas más grandes se precipitan primero a diferencia de las partículas pequeñas ya que éstas presentan mayor resistencia a la fricción por lo cual precipitan a velocidades menores.

En la Figura 3 se muestran los diferentes pasos para realizar la determinación de la textura a partir del método mencionado.

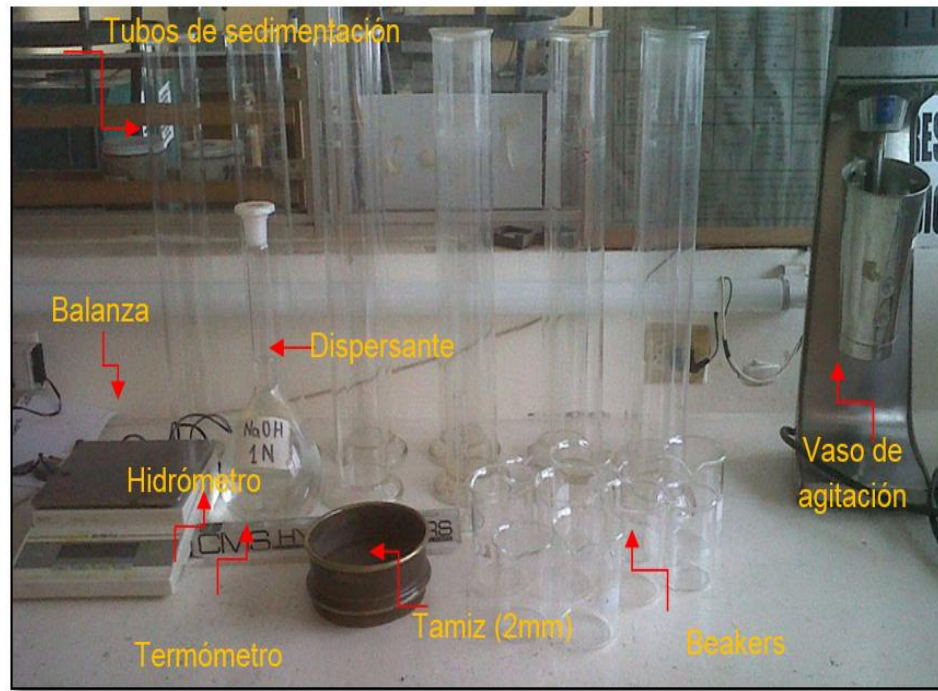
FIGURA 3
PROCESO PARA DETERMINAR TEXTURA
(MÉTODO BOUYOUCOS)



Fuente: Investigación de campo. 2014.

En la Fotografía 2 se observa parte del equipo utilizado para la aplicación de la metodología de Bouyoucos dentro de ellos encontramos: Tubos de sedimentación, Balanza, Hidrómetro, Vaso de agitación, Termómetro, Dispersante, Tamiz (0,002 m), Beackers, etc.

FOTOGRAFÍA 2 EQUIPO NECESARIO PARA LA APLICACIÓN DE BOUYOCOS (TEXTURA DE SUELOS)



Tomada por: Andrea Reiche. 2014.

Las texturas de suelos obtenidas en cada uno de los puntos es descrita en la Tabla 6, donde se indican los porcentajes de arena, limo y arcillas, además se indica a que textura corresponde cada punto de muestreo. Las texturas determinadas fueron las siguientes: Arcillosa, Franco arcillosa, Limosa, Franco-arcillo-limosa, Franco limosa, etc.

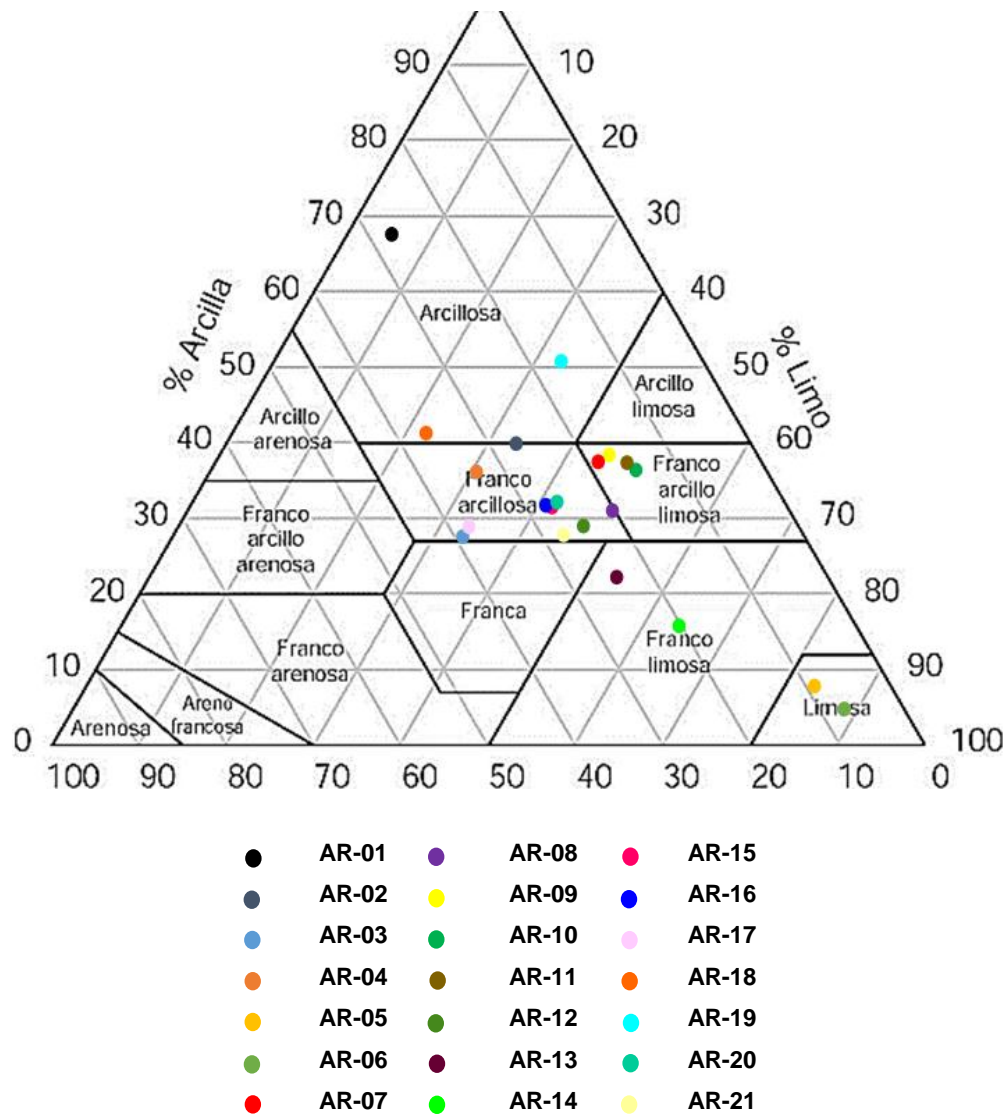
TABLA 6
PORCENTAJES DE ARENA, LIMO Y ARCILLA

PUNTO	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA
AR-01	24	8	68	Arcillosa
AR-02	25,25	35,32	39,43	Franco arcillosa
AR-03	35,71	35,71	28,57	Franco arcillosa
AR-04	30,8	32,5	36,7	Franco arcillosa
AR-05	7,83	84,35	7,82	Limosa
AR-06	5,64	90,15	5,2	Limosa
AR-07	17,45	44,7	37,85	Franco-arcillo-limoso
AR-08	18,7	50,3	31	Franco-arcillo-limoso
AR-09	15,35	46,6	38,05	Franco-arcillo-limoso
AR-10	13,7	49,8	36,5	Franco-arcillo-limoso
AR-11	13,4	48,3	38,3	Franco-arcillo-limoso
AR-12	22,7	47,95	29,35	Franco arcillosa
AR-13	22,8	54,5	22,7	Franco limosa
AR-14	18,6	64,8	16,6	Franco limosa
AR-15	25,3	43,7	31	Franco arcillosa
AR-16	26,2	42,1	31,7	Franco arcillosa
AR-17	36,8	34,75	28,45	Franco arcillosa
AR-18	34,9	24,1	41	Arcillosa
AR-19	13,86	34,7	51,44	Arcillosa
AR-20	24,7	43,8	31,5	Franco arcillosa
AR-21	25,5	46,75	27,75	Franco arcillosa

Fuente: Investigación de campo. 2014

En la Figura 4 se presenta el triángulo textural de suelos con la ubicación de cada una de las muestras de acuerdo a los porcentajes de arena, limo y arcilla, valores que fueron obtenidos a partir del método de Bouyoucus.




FIGURA 4
TRIÁNGULO TEXTURAL CON LAS 21 MUESTRAS
ANALIZADAS EN LABORATORIO



Fuente: Investigación de campo. 2014



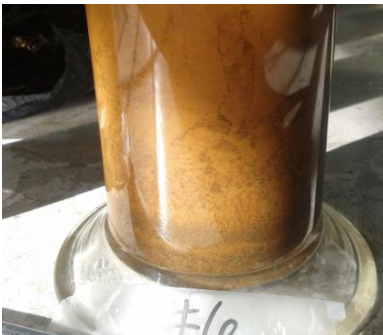

En lo que respecta al método de sedimentación se obtuvieron similares resultados, estos se calcularon de acuerdo al espesor de suelo sedimentado a cierto tiempo de reposo, mostrando en las Tablas 7,8,9,10,11 y 12 los resultados de la medición de espesores.

TABLA 7
SEDIMENTACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS 1

PUNTO	TEXTURA	FOTOGRAFIA
AR-01	Arcillosa Suelos derivados: Caliza	 A photograph of a glass containing a yellowish-brown sediment sample. The glass is labeled with a handwritten "#1" on a white piece of paper placed at the base. A metal tool is visible in the foreground.
AR-02	Franco arcillosa Suelos derivados: Caliza	 A photograph of a glass containing a yellowish-brown sediment sample. The glass is labeled with a handwritten "#2" on a white piece of paper placed at the base. A ruler is visible on the right side of the glass.
AR-03	Franco arcillosa Suelos derivados: Caliza	 A photograph of a glass containing a yellowish-brown sediment sample. The glass is labeled with a handwritten "#3" on a white piece of paper placed at the base. A ruler is visible on the right side of the glass.

Tomadas por: Andrea Reiche. 2014

TABLA 8
SEDIMENTACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS 2

PUNTO	TEXTURA	FOTOGRAFIA
AR-04	Franco arcillosa Suelos derivados: Caliza	
AR-05	Limosa Suelos derivados: Caliza	
AR-06	Limosa Suelos derivados: Caliza	
AR-07	Franco-arcillo- limoso Suelos derivados: Caliza	

Tomadas por: Andrea Reiche, 2014.

TABLA 9
SEDIMENTACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS 3

PUNTO	TEXTURA	FOTOGRAFIA
AR-08	Franco-arcillo- limoso Suelos derivados: Caliza	
AR-09	Franco-arcillo- limoso Suelos derivados: Caliza	
AR-10	Franco-arcillo- limoso Suelos derivados: areniscas	
AR-11	Franco-arcillo- limoso Suelos derivados: Caliza	

Tomadas por: Andrea Reiche. 2014.

TABLA 10
SEDIMENTACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS 4

PUNTO	TEXTURA	FOTOGRAFIA
AR-12	Franco arcillosa Suelos derivados: Lutitas	
AR-13	Franco limosa Suelos derivados: Lutitas	
AR-14	Franco limosa Suelos derivados: areniscas	
AR-15	Franco arcillosa Suelos derivados: Lutitas	

Tomadas por: Andrea Reiche. 2014

TABLA 11
SEDIMENTACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS 5

PUNTO	TEXTURA	FOTOGRAFIA
AR-16	Franco arcillosa Suelos derivados: areniscas	
AR-17	Franco arcillosa Suelos derivados: Lutita	
AR-18	Arcillosa Suelos derivados: Lutita	
AR-19	Arcillosa Suelos derivados: Lutita	

Tomadas por: Andrea Reiche. 2014

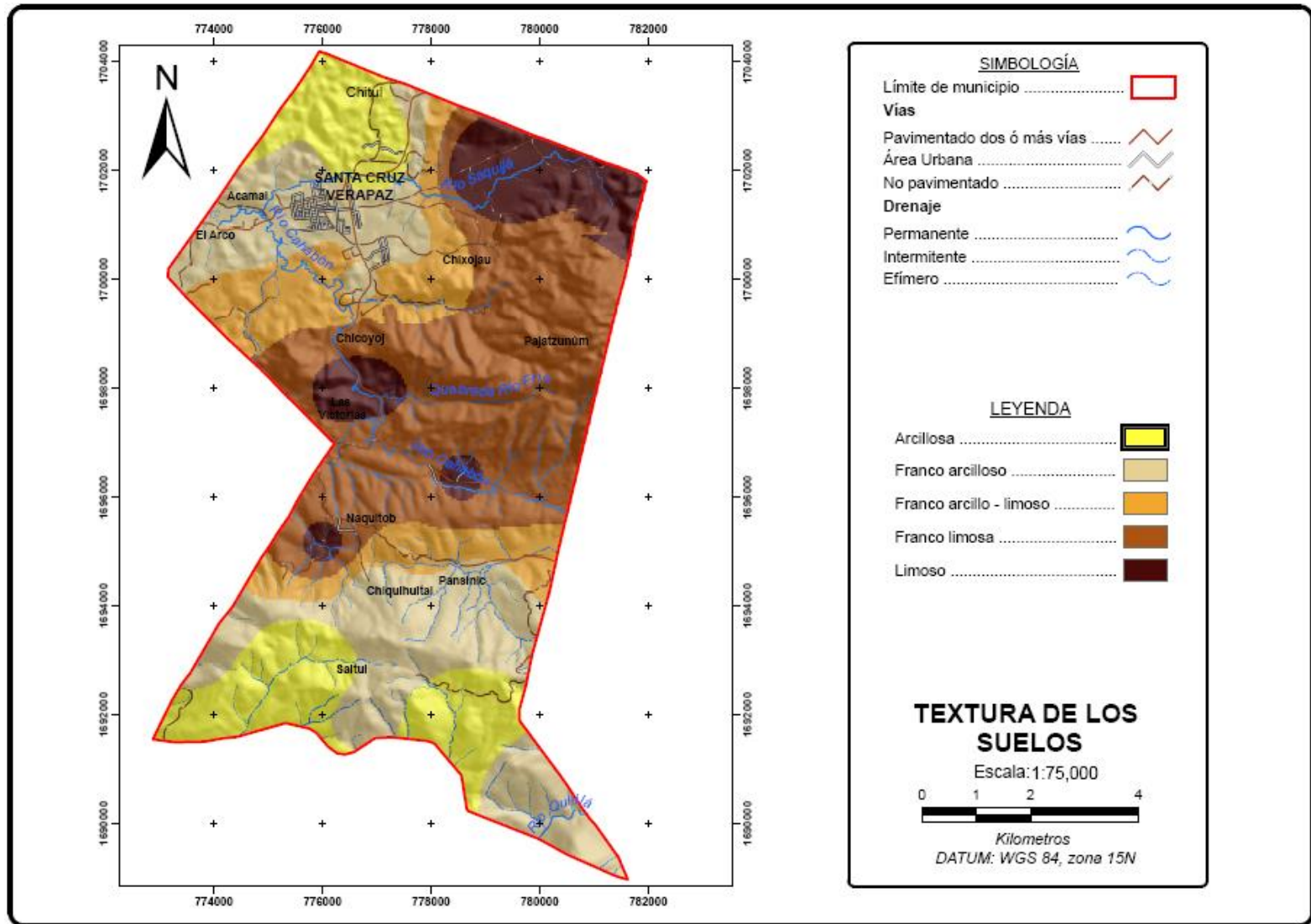
TABLA 12
SEDIMENTACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS 6

PUNTO	TEXTURA	FOTOGRAFIA
AR-20	Franco arcillosa Suelos derivados: Lutita	
AR-21	Franco arcillosa Suelos derivados: Lutita	

Tomadas por: Andrea Reiche. 2014

En el área de estudio en orden de abundancia predominan las texturas franco limosa, franco arcillosa, franco arcillo-limosa arcillosa y limosa. En el Mapa 6 se observa la distribución espacial de la textura en los suelos del municipio de Santa Cruz Verapaz.

MAPA 6 TEXTURA DE SUELO



Fuente: Investigación de campo. 2014

C. Determinación de espesores de suelo

En diferentes zonas del municipio de Santa Cruz Verapaz se determinó el tipo y espesor de suelo.

Las capas de la Fotografía 3 tienen los siguientes espesores: H=0,07 m, O=0,13 m y A=1,90 m. Siendo este punto AR-01, el cual fue determinado como P3 ubicado en los alrededores de la aldea Chitul, posee un suelo mayor a 1 m suelo y formaciones de baja conductividad hidráulica (arcillas), los suelos son derivados de arenisca, .

FOTOGRAFÍA 3 SUELO ARCILLOSO DERIVADOS DE ARENISCAS (TODOS SANTOS)



Tomada por: Fernando López. 2014.

En la fotografía 4, se tienen espesores de suelo en las capas: H=0,15 m, O=0,50 m y A=1,75 m. Este punto AR-04 fue determinado como P3, está ubicado en la cabecera municipal posee un suelo mayor a 1 m con contenido de formaciones de baja conductividad hidráulica (arcillas) derivados de caliza.

FOTOGRAFÍA 4 SUELO ARCILLO-LIMOSO DERIVADOS DE CALIZAS



Tomada por: Fernando López. 2014.

En la fotografía 5, se tienen los siguientes espesores: H=0,15 m, O=0,10 m y C=2,35 m. Se determinó que en este punto se tiene P4, abarca la aldea Chiquihuital en donde se encuentra el punto AR-16 posee formaciones geológicas (calizas) mayor a 6 m. En los perfiles se describen de mejor manera como se encuentra distribuida la cubierta protectora del municipio, la cual se encuentra representada por suelos arcillosos, limosos con formaciones calcáreas (calizas) y cenizas volcánicas típicos para el área.

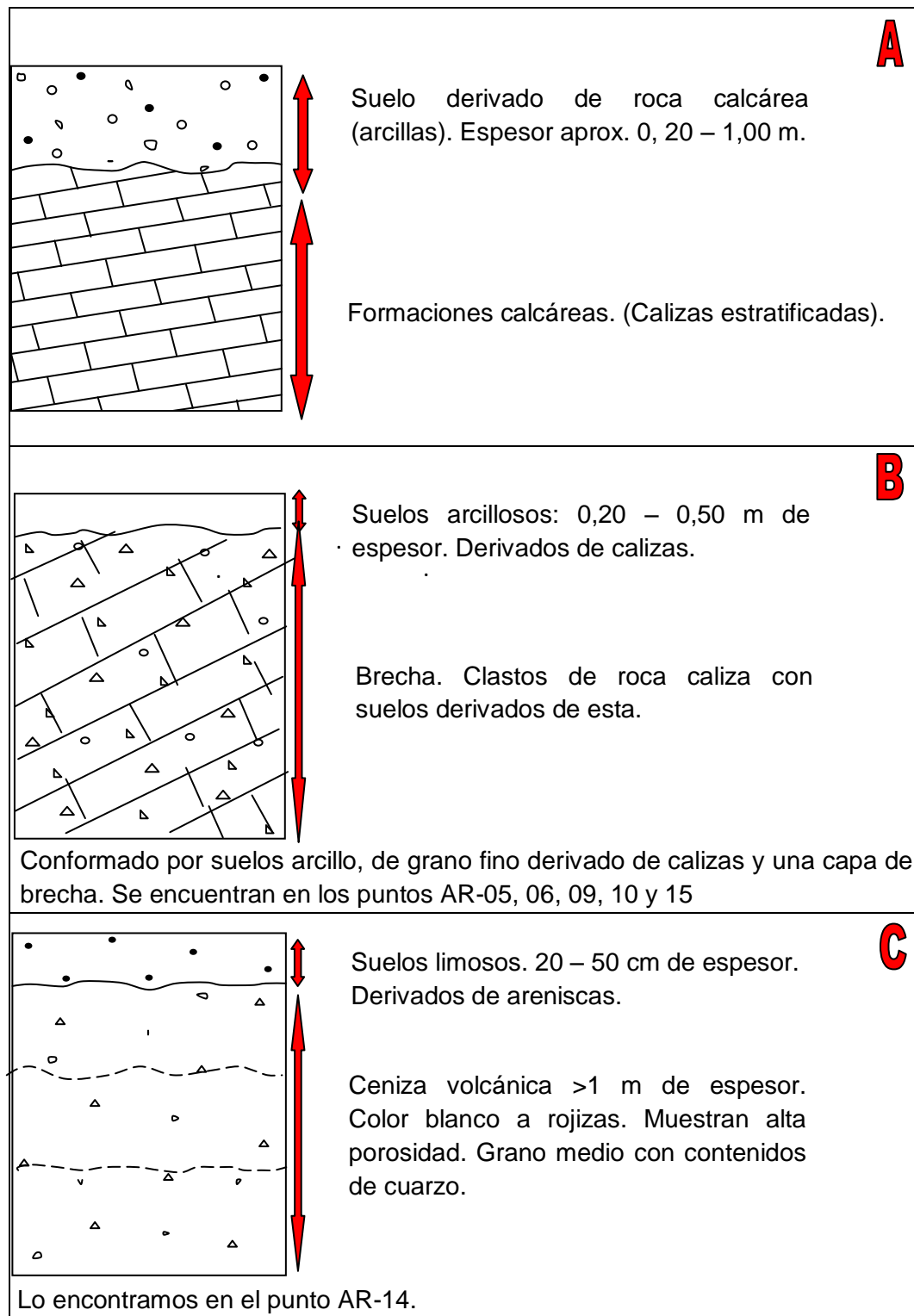
FOTOGRAFÍA 5 FORMACIÓN GEOLÓGICA (CALIZA BRECHOSA)



Tomada por: Andrea Reiche. 2014.

En los perfiles Figura 5, se distingue de mejor manera como se encuentra distribuida la cubierta protectora del municipio, se caracterizaron tres perfiles típicos del área de estudio representada por suelos arcillosos, limosos con formaciones calcáreas (calizas) y cenizas volcánicas.

FIGURA 5
PERFILES DE SUELO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo. 2014.

Para el municipio de Santa Cruz Verapaz, básicamente se consideraron ambos casos. Identificando la ausencia e importante cubierta de protección en área de acuerdo a los perfiles de suelos observados en campo (Tabla 13).

TABLA 13
CUBIERTA PROTECTORA (P)

Ausencia de cubierta de protección.	P1	0 – 20 cm de suelo
	P2	20 – 100 cm de suelo
	P3	> 1 m de suelo
Importante cubierta de protección.	P4	> 8 m de formaciones > 6 m de formaciones con 1 > m de suelo

*Ejemplos: gravas, morrenas glaciares laterales. **Ejemplos: limos, arcillas.

Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España. –IGME- . *Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, importancia de la protección de las aguas subterráneas.* http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/conoce_las_as/ficha4.pdf. (03 de Mayo de 2 013)

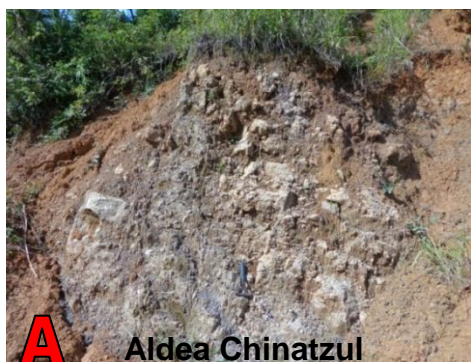
En la fotografía 6 sección A, se muestra un suelo de categoría P2 el cual es característico porque su cubierta tiene un espesor dentro de los rangos de 0,20 – 1,00 m de suelo y su protolito es roca calcárea (Caliza) de la formación Cobán.

En la sección B, de la aldea Panahá se observa un suelo de categoría P3 este presenta un espesor mayor a 1 m de suelo derivado de roca caliza de la Formación Cobán. En la finca el Cangrejo, en la sección C, se encuentra una importante cubierta

de protección representada por un espesor mayor a 8 m de roca calcárea de la Formación Tactic.

En la sección D, representado por suelos de origen volcánico del cuaternario (Qp) depósitos pomáceos con un espesor mayor a 1 m de cubierta protectora P3.

FOTOGRAFÍA 6 CUBIERTA PROTECTORA



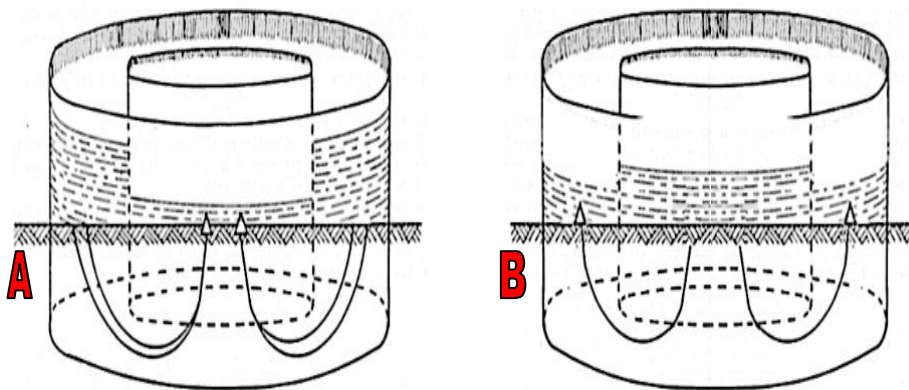
A. Representa a P2, cuenta con un espesor de suelo de 0,20 a 1,00 m y a su vez de roca caliza de la formación Cobán. B. Caracteriza a P3 por su espesor de suelo mayor a 1 m. C. Representa a P4, por su espesor mayor a 8 m de roca calcárea y D. Representa a P3, tiene un espesor mayor a 1 m de suelo.

Tomadas por: Andrea Reiche. 2014.

2.1.3 Infiltración (I)

La evaluación de este parámetro se fundamentó en la identificación de zonas de infiltración en base a la pendiente del terreno y de los suelos, lo cual guarda relación directa con la geomorfología del lugar.

FIGURA 6
EFFECTOS DE LA DIFERENCIA DE LOS NIVELES DE
AGUA ENTRE AMBOS ANILLOS



A) El flujo entre hacia el anillo interior, B) El flujo abandona el anillo interior.

Fuente: Ibañez Sara, *Características del infiltrómetro de doble anillo*. Universidad Politécnica de Valencia España. 2 010.

Para la aplicación de las pruebas de infiltración fue necesaria la metodología del infiltrómetro de doble anillo (anillos de Munz, 1962), el cual consiste en saturar una porción de suelo que se encuentra limitada por los dos anillos concéntricos estos de un material resistente para que al momento de introducirlos en el suelo se ubiquen de manera uniforme entre sí. Los cilindros tienen los diámetros de 9" (0,23 m) para el interior y 14" (0,35 m) para el externo, estas son fijadas parcialmente en el terreno a una profundidad aproximada de 0,10 m. (Figura 6).

En la aplicación de cada prueba se llenó de agua el cilindro interior hasta cubrir determinada lectura en un metro que se encuentra de forma vertical para realizar la medición. Es importante mencionar que los niveles de agua para ambos cilindros deben mantenerse igual, el cilindro externo tiene la función de impedir la expansión lateral del agua infiltrada a través de la proyección del perímetro del cilindro interior. (Figura 6).

Las mediciones son realizadas a determinados intervalos de tiempo (Ver Anexo 1). Las variaciones del nivel del agua son medidas en el cilindro interno.

FIGURA 7 METODOLOGÍA DEL INFILTRÓMETRO DE MUNZ



Fuente: Investigación de campo. 2014.

En la Figura 7 se observa el proceso de instalación del equipo y toma de datos con esta metodología.

Se realizaron un total de 12 pruebas de infiltración, basado en la realización del mapa geomorfológico del área de investigación. (Tabla 5 y Mapa 5)

Hay que indicar que en este parámetro la vulnerabilidad aumenta con el incremento de la pendiente que favorece la concentración de la escorrentía en las diferentes áreas. (Tabla 14).

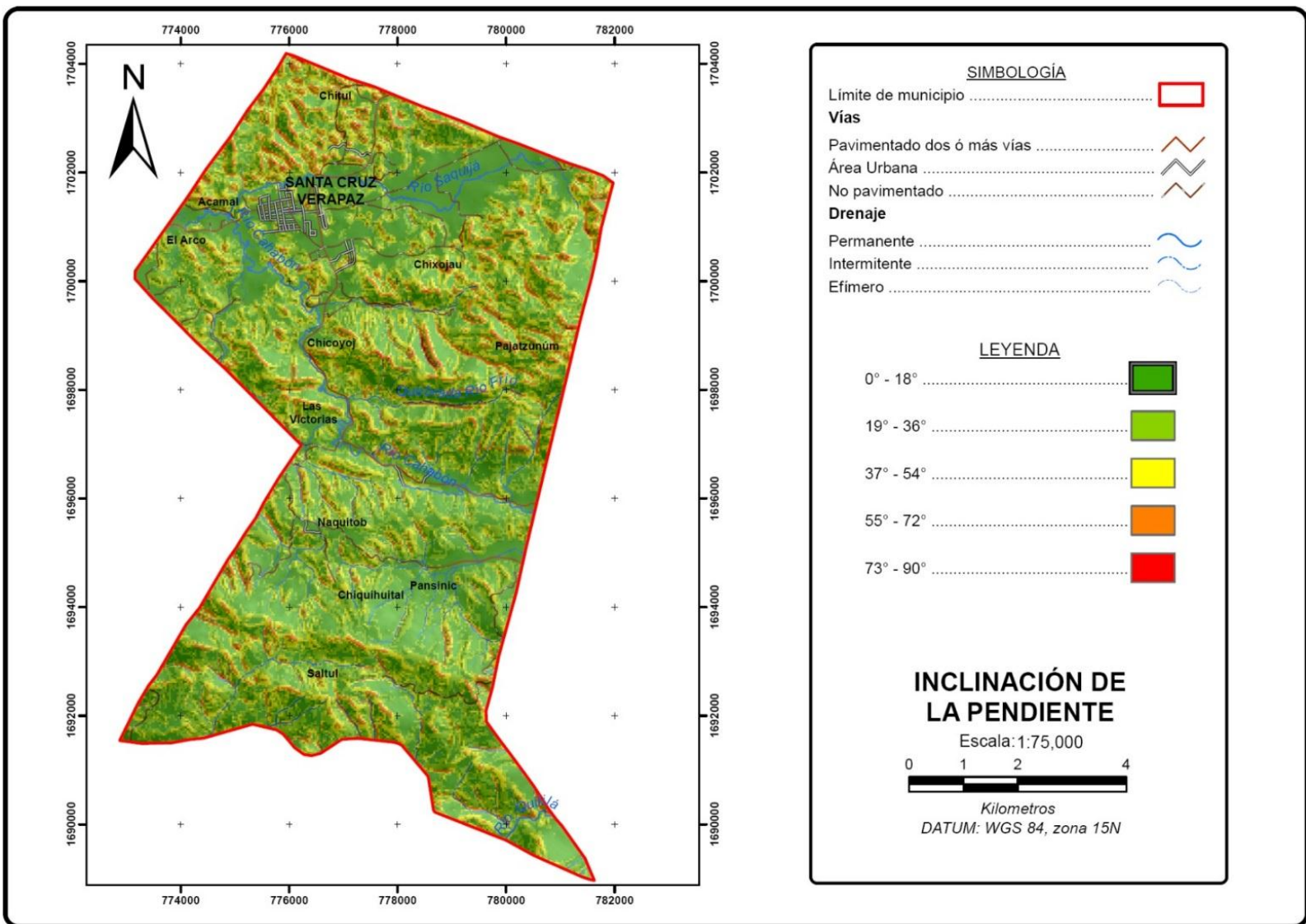
TABLA 14
CONDICIONES DE INFILTRACIÓN

Infiltración concentrada	I1	Regiones con vías accesibles para la infiltración discreta.
	I2	Zonas con pendientes moderadas
Infiltración difusa	I3	Zonas con elevadas pendientes
	I4	Resto del área de alimentación.

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España -IGME- *Los acuíferos kársticos. Casos del país vasco, The karstic aquifers. Cases of the Basque Country*, España: IGME., 2 014.

En el Mapa 7, se aprecian los grados de las diferentes categorías de pendientes en el municipio de Santa Cruz Verapaz: planas 0 ° - 18 °, suaves 19 ° - 26 °, moderadas 37 ° - 54 ° y fuertes 55 ° - 72 ° y abruptas 73 ° - 90 °.

MAPA 7 PENDIENTES



Fuente: Investigación de campo. 2014.

En la Fotografía 7 se muestran dos distintas velocidades de infiltración, en la sección A se presenta el punto 6 que tiene una tasa de infiltración baja con 1,23 cm/hr y en la sección B que representa el punto 11 el cual tiene una tasa de infiltración de 2,71 cm/hr.

FOTOGRAFÍA 7 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN



A. Punto 6 Vel. Infiltración 1,23 cm/hr

B. Punto 11 Vel. Infiltración 2,71 cm/hr

Tomadas por: Andrea Reiche. 2014.

A. Descripción de los puntos de infiltración

Estos han sido seleccionados en base a las características de pendiente.

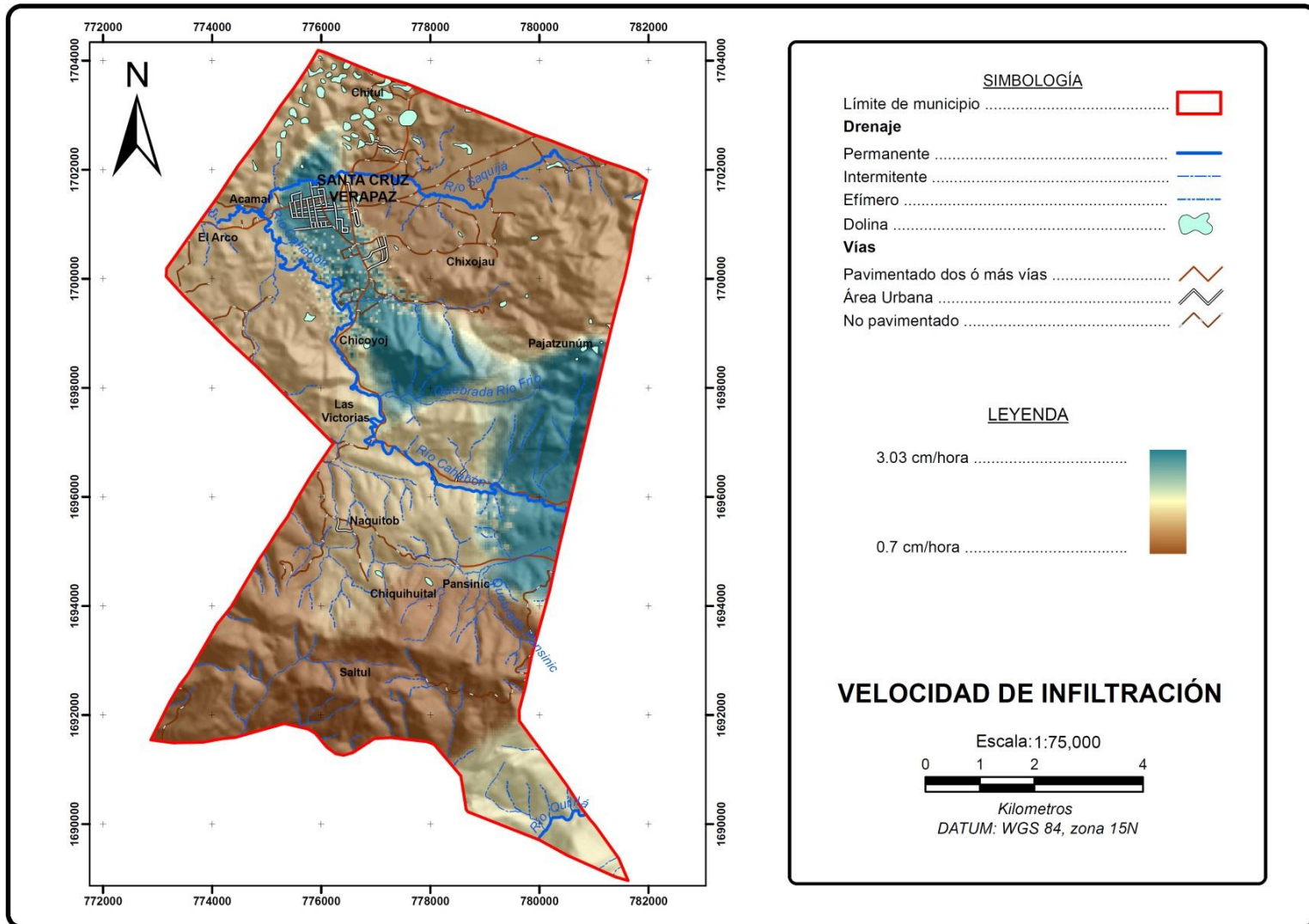
La velocidad de infiltración comprueba que se tienen velocidades muy rápidas con una textura arenosa, rápida en suelo con textura arenoso franco, moderada en textura franco-arcillo-limoso, moderadamente lenta en texturas limosa y franco arcillosa. (Mapa 8 y Tabla 15)

TABLA 15
COMPARACIÓN TEXTURA DE SUELOS VS.
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

No. Punto	Tipo de suelo (cm/hr)	Vel. Infiltración	Tipo de velocidad
AR-02	Franco arcillosa	1,26	Moderada
AR-04	Franco arcillosa	0,99	Moderada
AR-05	Limosa	1,04	Moderada
AR-06	Limosa	1,23	Moderada
AR-09	Franco-arcillo-limoso	3,03	Moderada
AR-11	Franco-arcillo-limoso	2,71	Moderada
AR-12	Franco arcillosa	1,28	Moderada
AR-13	Franco limosa	1,40	Moderada
AR-16	Franco arcillosa	0,72	Lenta
AR-18	Arenoso franco	18,38	Moderada
AR-19	Arenoso	42,92	Muy rápida
AR-21	Franco arcillosa	1,57	Lenta

Fuente: Investigación de campo. 2014.

MAPA 8 VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN



Fuente: Investigación de campo. 2014.

2.1.4 Red cárstica (K)

Se basó en la evaluación de la presencia o ausencia de una red cárstica y el grado de desarrollo que ésta tiene. Este parámetro fue evaluado a partir de la identificación directa de los factores de la red como lo son: cuevas, sumideros y de manera indirecta mediante el análisis de la variabilidad de la calidad del agua después de lluvias fuertes.

La variación de la calidad del agua en un manantial es un buen detector de la presencia o ausencia de red cárstica. Si la calidad del agua es bacteriológicamente estable tras precipitaciones de carácter fuerte, se infiere que la red cárstica se halla escasamente desarrollada o está protegida por un medio con porosidad intergranular y el conjunto del sistema se debe de considerar como un sistema de rocas fisuradas. En caso de que ésto no sea así, se puede considerar la existencia de una red cárstica.

La calidad de agua se determinó con el análisis bacteriológico de los principales manantiales y/o nacimientos de agua, recolectando muestras de 0,100 L que son almacenadas en una bolsa hermética. Posteriormente se ubicó en una hielera con el fin de mantener su temperatura ambiente, además se tomó el pH de la muestra en campo. La muestra de agua fue transportada al centro de salud para su respectivo análisis bacteriológico y en donde se determinaron los coliformes totales y coliformes fecales (Figura 8).

FIGURA 8 METODOLOGÍA DE MUESTREO BACTERIOLÓGICO DEL AGUA



Fuente: Investigación de campo. 2014.

A la red cárstica se le asignan tres valores de acuerdo al desarrollo que tenga en cualquier zona del área de estudio, está relacionada con la variable E. En la Tabla 16 se describen los tipos de valoraciones utilizados.

TABLA 16
DESARROLLO CÁRSTICO

Red cárstica bien desarrollada	K1	Red cárstica bien desarrollada
Red cárstica poco desarrollada	K2	Red cárstica pobremente desarrollada
Acuífero mixto o fisurado	K3	Zona de descarga en medio con porosidad intergranular. Acuífero fisurado no cárstico.

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España -IGME- *Los acuíferos kársticos. Casos del país vasco, The karstic aquifers. Cases of the Basque Country, España:* IGME., 2 014.

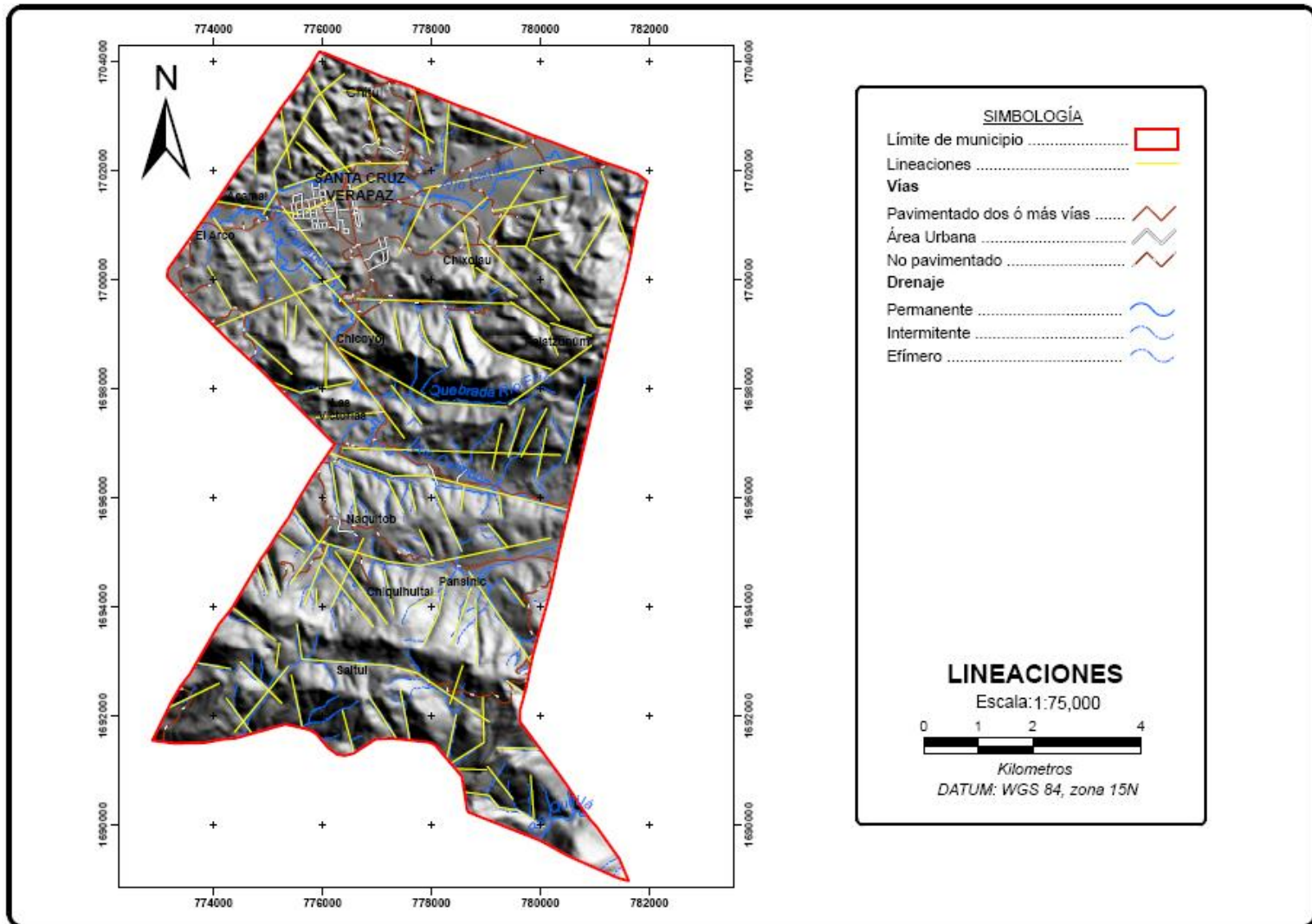
Para el estudio de la variabilidad del agua se tomaron muestras en las fuentes de agua pertenecientes a las comunidades de Panahá, Najquitob, San Rafael, Pambach, Parrochoch. En donde según el análisis microbiológico realizado, en acompañamiento por inspectores del Centro de Salud del municipio de Santa Cruz Verapaz, se identificaron características variables en el agua después de fuertes lluvias con presencia de *E. Coli* en ciertos nacimientos.

Esto presenta un problema para las comunidades a las que abastece; Panahá: este nacimiento abastece de agua a dieciséis comunidades siendo estas: Chitul, Saquija, Chisacsi, Panquiyou, Chixajau, Chajcojoj, Acamal I, Acamal II, al Arco Sacmes, La Laguneta I, La Laguneta II, Chicoyoj I, Chicoyoj II, Panahá, La Isla, Chilocom y el área urbana del municipio de Santa Cruz. Un nacimiento que solo abastece a la comunidad de San Rafael I.

El nacimiento ubicado en la finca Pancalach jurisdicción de la comunidad de Najquitob abastece a tres comunidades las cuales son: Najquitob, San Antonio Panec, Valparaíso. El nacimiento de Moxenja abastece a las comunidades de Rio Frio, Parrochoch, Moxenja.

En el Mapa 9 encontramos un sistema estructural complejo que se encuentra definido principalmente por fallas E-W, perpendicular a estas se forman lineaciones estructurales permitiendo con ello desarrollar un sistema fisurado principalmente al sur del municipio.

MAPA 9 LINEACIONES



Fuente: Investigación de campo. 2014.

A. Puntos de muestreo

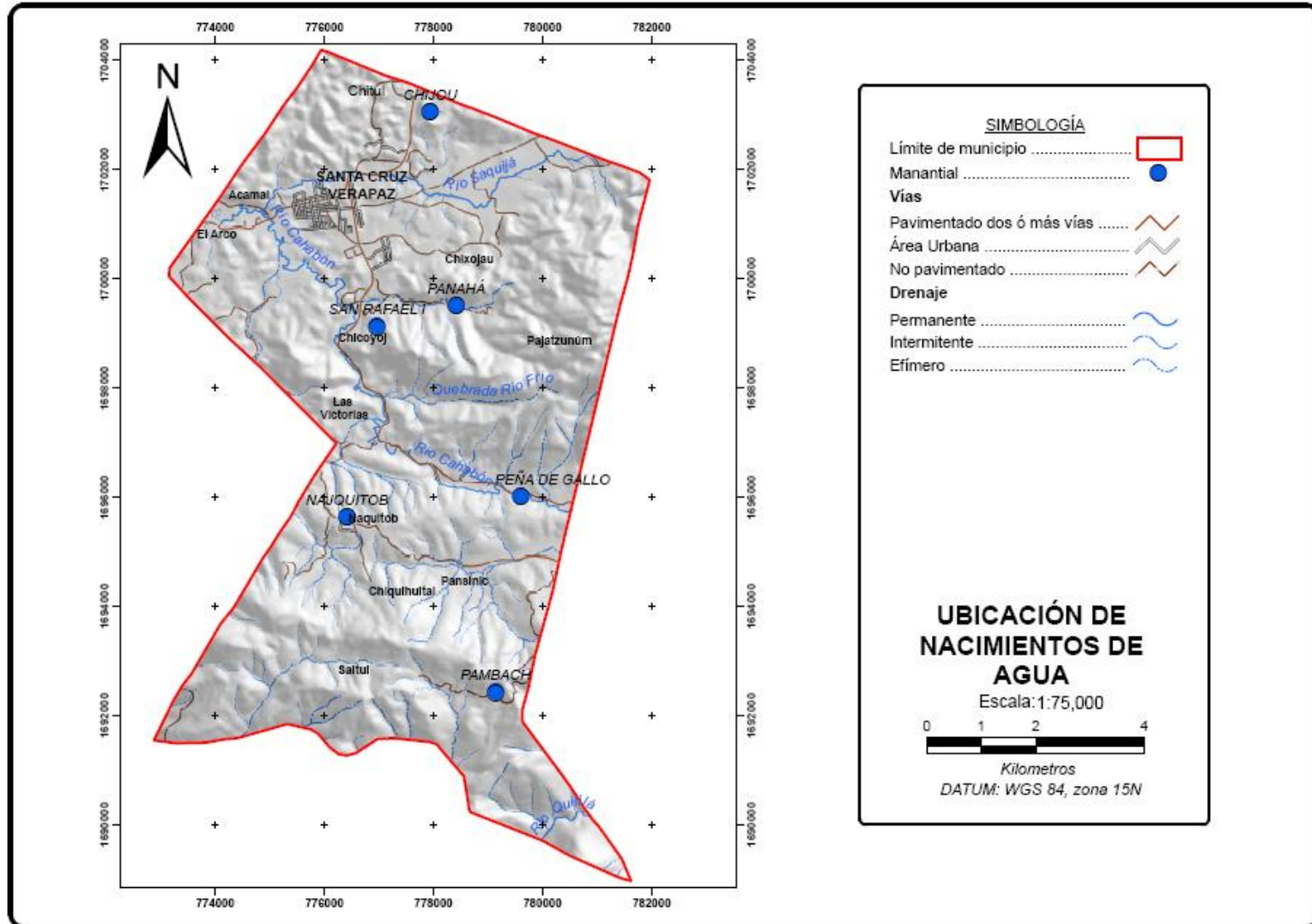
El análisis de los lugares o puntos donde se tomaron las muestras de agua para los análisis de laboratorio; se realizó en los manantiales que abastecen a las diferentes comunidades en el municipio de Santa Cruz Verapaz, siendo estas: Panahá, Najquitob, San Rafael, Pambach, Parrochoch. Los sitios de muestreo se ubican con las coordenadas que se presenta en la Tabla 17, además en el Mapa 10 se visualiza la ubicación de los mismos.

TABLA 17
PUNTOS DE MUESTREO BACTERIOLÓGICO

No.	X	Y	Z	LUGAR
1	778215	1691272	1758	PAMBACH
2	778401	1691119	1728	PAMBACH
3	778710	1690827	1710	PAMBACH
4	778485	1692094	1719	PAMBACH
5	778973	1691604	1712	PAMBACH
6	779137	1692419	1912	PAMBACH
7	778425	1699500	1875	PANAHÁ
8	776416	1695640	1908	NAJQUITOB
9	779600	1696010	1995	PEÑA DE GALLO
10	776095	1698880	1735	SAN RAFAEL
11	776965	1699125	1786	SAN RAFAEL

Fuente: Investigación de campo. 2014.

MAPA 10 MUESTREO BACTERIOLÓGICO DEL AGUA



Fuente: Investigación de campo. 2014.

La inestabilidad del agua fue determinada a partir de dos tomas de muestras permitiendo comprobar un sistema pobremente desarrollado debido a la variabilidad bacteriológica del agua después de precipitaciones fuertes (Tabla 18).

TABLA 18
VARIABILIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA

No.	Lugar toma de muestra	TOMA #1		
		Coliformes totales	Coliformes fecales	pH
1	San Rafael	12/100 ml	42/100 ml	7,6
2	Panahá	00/100 ml	01/100 ml	7,6
3	Parrochoch	00/100 ml	19/100 ml	7,6
4	Chijou	00/100 ml	00/100 ml	7,6
5	Najquitob	00/100 ml	00/100 ml	7,6
6	Pambach	02/100 ml	29/100 ml	7,4

No.	Lugar toma de muestra	TOMA #2 (Precipitaciones fuertes)		
		Coliformes totales	Coliformes fecales	pH
1	San Rafael	24/100 ml	43/100 ml	7,6
2	Panahá	00/100 ml	05/100 ml	7,6
3	Parrochoch	INC	25/100 ml	7,4
4	Chijou	00/100 ml	21/100 ml	7,6
5	Najquitob	00/100 ml	03/100 ml	7,6
6	Pambach	18/100 ml	32/100 ml	7,4

Fuente: Investigación de campo. 2014.

La variabilidad de los coliformes totales puede ser observada en el Anexo 4 y 5, en este se muestra que el mayor foco de contaminantes totales de coliformes se da en la aldea San Rafael, la cual aumenta en la segunda toma que se realizó después de precipitaciones fuertes, indicando la existencia de una red cárstica. También se muestra variación significativa en los resultados de los nacimientos de la aldea Pambach con presencia de coliformes totales de la toma 1 (02/100ml) los cuales aumentaron en la toma 2 (18/100ml) demostrando un sistema de rocas fisuradas.

La variabilidad de los coliformes fecales entre dos tomas de agua de manantiales puede ser observada en el Anexo 6 y 7, en este también al igual que el de coliformes totales muestra mayor concentración de coliformes fecales en la aldea San Rafael con un valor de 42/100ml variando significativamente en la segunda toma a 43/100ml,

Además, se puede identificar que en la mayor parte de manantiales los contaminantes bacterianos (coliformes fecales) están presentes y estos aumentan significativamente con precipitaciones fuertes.

Otro de los datos obtenidos en la toma de muestras fue el valor de pH, en cada una de las tomas de agua, mostrando un promedio de 7,6. Este en no muestra rangos muy variables de una a otra toma, básicamente se comporta de manera estable. (Anexos 8 y 9)

Para corroborar una red poco desarrollada también se consideró el número de manantiales presentes en el sistema, que basados en la teoría, se menciona que éste es un indicador final ya que un sistema bien desarrollado se caracteriza por la existencia de una única salida de descarga, mientras que un sistema pobremente desarrollado comúnmente tiene gran número de manantiales, tal como se determinó en el municipio, ya que existen 17 nacimientos de agua de los cuales 6 son los que abastecen a diferentes comunidades (Fotografía 8).

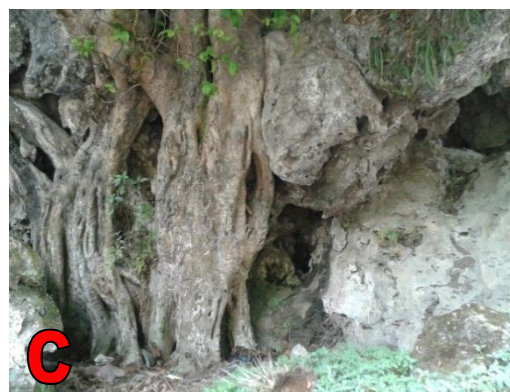
FOTOGRAFÍA 8 KARSTIFICACIÓN



Tomadas por: Andrea Reiche. 2014.

En la Fotografía 9, se observa una red cárstica bien desarrollada, determinada de manera directa en campo. Esta red se encuentra representada por cavernas y sumideros producto de la actividad de disolución en las rocas calizas.

FOTOGRAFÍA 9 RED CÁRSTICA BIEN DESARROLLADA



A, B Y C muestra una morfología de cavernas. D Sumidero
Tomada por: Andrea Reiche. 2014.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis de los parámetros de la metodología EPIK

EPIK, es un método propuesto para evaluar la vulnerabilidad en ambientes cársticos, consiste de 4 parámetros: a. Epikarst, b. Cubierta de protección, c. Condiciones de infiltración y d. Grado de desarrollo de la red cárstica. El método indica la sensibilidad de un acuífero cárstico a las influencias naturales y antrópicas, determinando ésta de manera general.

3.1.1 Parámetro epikarst (E)

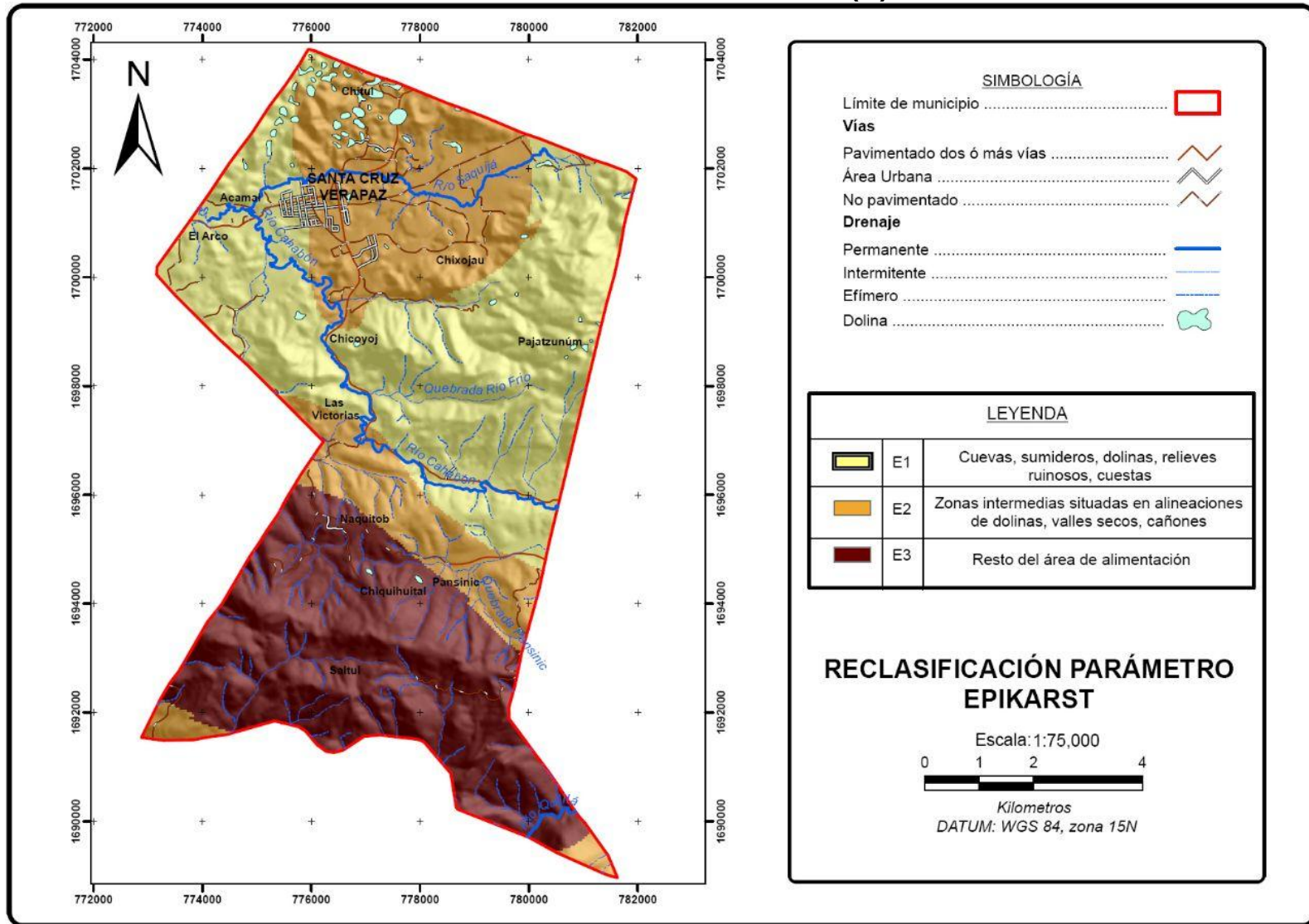
Se identificaron diferentes morfologías, la distribución en porcentajes de área de este parámetro en el municipio de Santa Cruz Verapaz, está representado por los siguientes valores: E1 (37,09%) reflejado por zonas altamente fisuradas, siendo esta la de mayor concentración en el municipio. Se caracteriza por presentar una morfología cárstica representada por cuevas, dolinas, sumideros, relieves ruinosos en su mayoría, los cuales han sido generados con la infiltración del agua que fluye por fisuras, permitiendo con ello la disolución de las rocas carbonáticas propias de la Formación geológica Cobán.

Abarca las comunidades de Pajatzunúm, la parte sur de Chicoyoj, El arco y Acamal.

La categoría E2 comprende un 32,36% del área total, es una zona intermedia que presenta geomorfología cárstica, encontrándose entre campos de dolinas y valles secos, lo que nos indica un epikarst presente, y geológicamente se encuentra representada por depósitos fluviales, aluviales y la Formación Tactic que está conformada por rocas calizas con intercalaciones de lutitas. La categoría E2 predomina en la zona norte y centro del municipio, abarcando principalmente la cabecera municipal y las comunidades como: Chitul, Chixojau, Chicoyoj así mismo la zona norte de la aldea Najquitob.

Representada por un 30,55% de área, se encuentra la categoría E3, siendo zonas con ausencia de morfología cárstica, la ausencia de epikarst en esta zona se encuentra asociada a la geología del lugar conformado por lutitas de la Formación Tactic Superior, esto impide el desarrollo de rasgos morfológicos propios de estos sistemas y por ende el proceso de karstificación (Mapa 11).

MAPA 11 PARÁMETRO EPIKARST (E)



Fuente: Investigación de campo. 2014.

3.1.2 Parámetro cubierta protectora (P)

La cubierta es uno de los parámetros de protección natural importantes para establecer la vulnerabilidad de un acuífero, este consideró la textura de los suelos mediante el método de Bouyoucus y sedimentación, identificando texturas arcillosas de suelos derivados de roca caliza principalmente de la Formación Cobán, franco arcillosas con protolito de lutitas de la Formación Tactic, algunos depósitos fluviales y aluviales del cuaternario, suelos limosos derivados de areniscas propias de la Formación Todos Santos, franco arcillo-limosa caracterizado por un protolito de roca caliza de la Formación Cobán.

Como se indicó en el Mapa 12 el porcentaje de área para la categoría P1 es de 8,48% indicando una ausencia de cubierta de protección desarrollada en un suelo sobre formaciones calcáreas de un espesor de 0,00 m -0, 20 m, lo cual considera que este ofrece una escasa protección a los acuíferos, este parámetro se identificó en las comunidades de Las Victorias, Chicoyoj y Pambach.

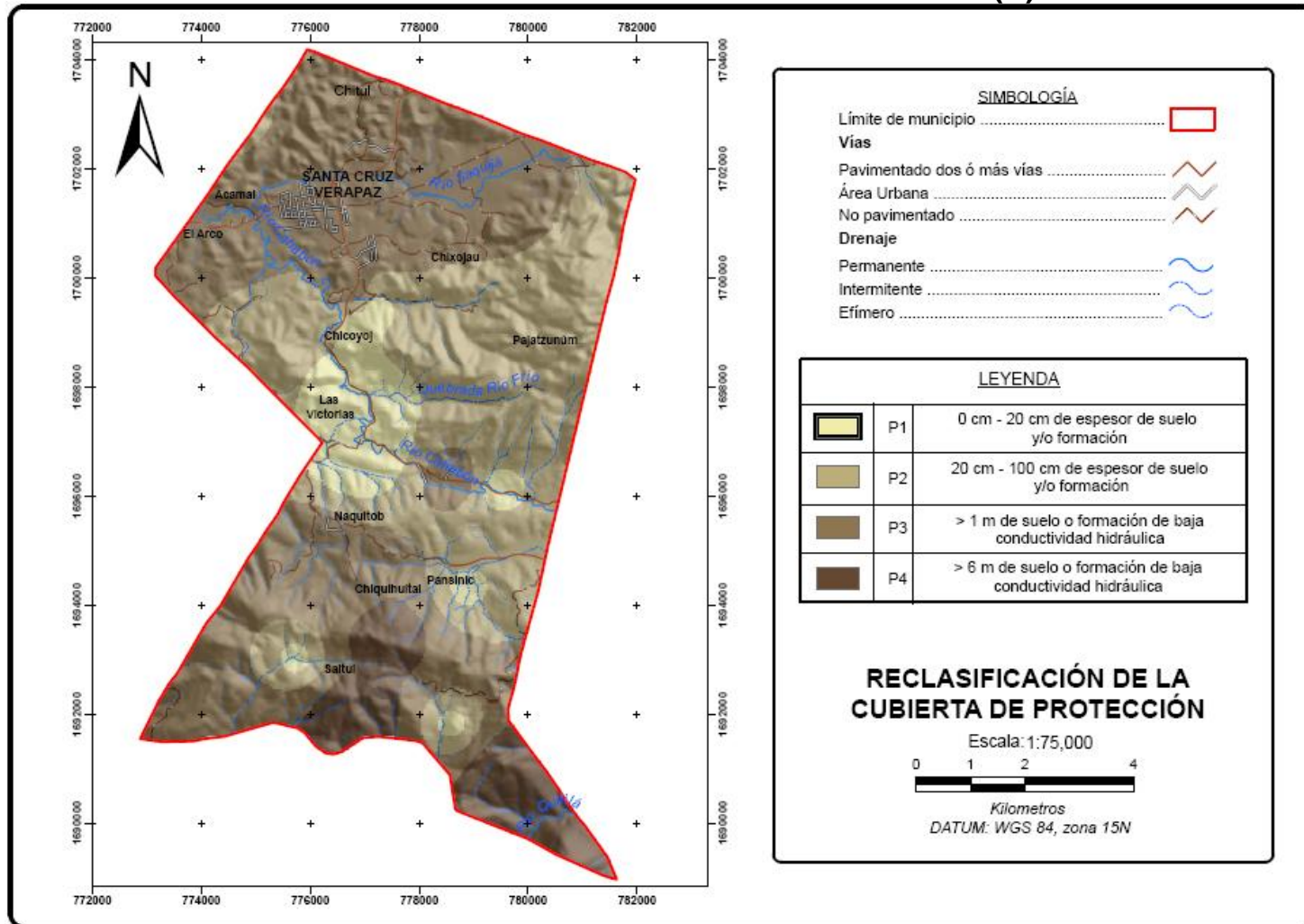
La categoría P2 combino su espesor de suelo con formaciones de baja permeabilidad en este caso con arcillas y algunos limos, mostrando un espesor de 20 cm – 100 cm, considerándolo que tiene un mejor efecto de protección. P2 predomina en las comunidades de Pajatuzunúm y Najquitob con 36,25% del área total.

Abarcando un 46,21% de área, se encuentra la categoría P3, indicando una notoria y a la vez importante cubierta de protección

mayor a 1 m de suelo, en combinación con algunas formaciones geológicas principalmente Cobán y algunos depósitos Fluviales y Aluviales del Cuaternario.

La categoría P4 presenta una importante cubierta de protección la cual se caracteriza por espesores >6 m de formaciones geológicas en su mayor parte lutitas las que le dan ese valor de importante cubierta de protección. Estas se encuentran combinadas con suelos de textura arcillosa que le dan impermeabilidad a los acuíferos. Abarca las comunidades Saltul y el sur de Chiquihuitl con una extensión de 9,06% del área total.

MAPA 12 PARÁMETRO CUBIERTA DE PROTECCIÓN (P)



Fuente: Investigación de campo. 2014.

3.1.3 Parámetro infiltración (I)

Las condiciones de infiltración permitieron determinar el modo en que se produce la recarga, de los suelos diferenciando: concentrada, intermedia y difusa, para lo cual fue de importancia la pendiente, la velocidad de infiltración y tipo de textura de suelo.

Además, se distinguieron cuatro categorías en la caracterización de este parámetro: I1, representa el 10,35% del área, presenta sumideros perennes y temporales o bien cursos de agua perennes y algunas partes que son drenadas artificialmente. Estos muestran una infiltración concentrada en corrientes de alimentación, la vulnerabilidad de esta es muy elevada, se identificó en la zona sur de la comunidad de Pansinic, al oeste de Chiquihuital, principalmente en zonas donde se tiene Cenizas Volcánicas que le permite tener una mayor velocidad de infiltración (18,38 cm/hr – 42,92 cm/hr).

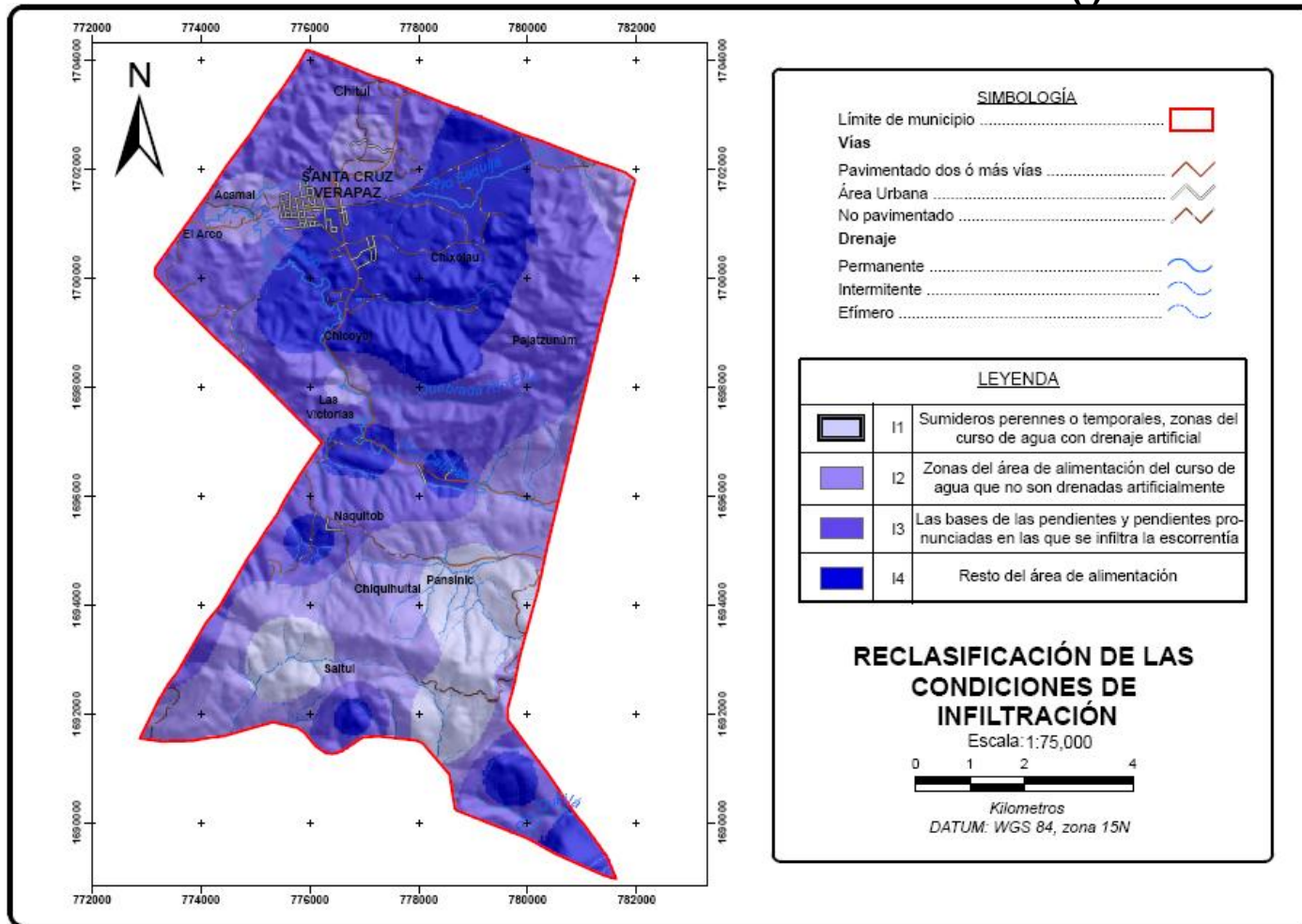
La categoría I2 con 24,00% del área total en las comunidades de Saltul y Chiquihuital en suelos franco arcillosos, está representada por zonas de alimentación de los sumideros o cursos de agua que no son drenados artificialmente principalmente en pendientes moderadas (37° - 54°) y fuertes (55° - 72°), permitiendo una notable escorrentía.

Representando un 39,98% de área, se encuentra la categoría I3, esta se caracterizó en áreas con pendientes abruptas (73° - 90°) que presentan una alta escorrentía, abarco las comunidades de Pajatzunum y Las Victorias y para las zonas que se encuentran

dentro de las áreas de alimentación de cursos de agua donde no hay drenaje artificial y las pendientes son planas (0° - 18°) a suaves (19° - 26°) demostrando una baja escorrentía, abarco la aldea Chitul y parte de la cabecera municipal encontrándose alimentadas por el Río Cahabón. Esta categoría la conforman básicamente suelos con texturas franco limosas, franco arcillo-limosas y franco limosas con velocidades que van de los rangos $0,68$ cm/hr – $3,03$ cm/hr.

La categoría I4, presenta una infiltración difusa (Mapa 13), el grado de vulnerabilidad se lo da el tiempo de tránsito de agua hasta llegar a la red cárstica a través del epikarst, se encuentra representada por el resto del área de alimentación, esta categoría está alimentada por los principales ríos: Río Cahabón, Río Saquijá y Río Quililá. Su velocidad de infiltración se mantiene en los valores de $0,68$ cm/hr a $2,00$ cm/hr

MAPA 13 PARÁMETRO CONDICIONES DE INFILTRACIÓN (I)



Fuente: Investigación de campo. 2014.

3.1.4 Red cárstica (K)

Éste parámetro fue evaluado por la presencia o ausencia de una red cárstica y el grado de desarrollo que esta presentará. Se realizó de dos maneras una directa de acuerdo a los factores de la red como lo son: cuevas, sumideros-dolinas y de manera indirecta mediante el análisis de la variabilidad de la calidad del agua en manantiales después de lluvias fuertes.

En el Mapa 14 podemos observar la distribución espacial que se tiene de los tres parámetros de K en dónde; La categoría K1, se delimita una red cárstica bien desarrollada ubicada principalmente en tres puntos marcados en el municipio, continuo a este la categoría K2, para una red pobremente desarrollada el cual cuenta con la mayor extensión del desarrollo de la red cárstica, y la categoría K3, para sistemas de calizas fisuradas no carstificadas.

Con base a los resultados finales del ICA (Índice de calidad del agua) para consumo humano, se determinó que después de precipitaciones fuertes en las zonas de manantiales la calidad del agua es variable. Promediando los resultados se infiere que las aguas se encuentran contaminadas. El nacimiento de Panahá muestra variación mínima indicando que presentan malas condiciones microbiológicas en el manantial, esto debido a que este afluente no se encuentra en contacto con agentes antrópicos muy marcados para que lo contamine.

Los nacimientos de Chijou, San Rafael, Pambach, presentan mayor grado de contaminación y se muestran muy variables bajo precipitaciones fuertes (Tabla 19). El origen de la contaminación radica en que son contaminados de manera directa cuando se lava

ropa en ellos, además de tener sembradíos cercanos. Las aguas de éstos nacimientos no son recomendables para consumo humano, a menos que se purifiquen con algún tratamiento físico y químico intensivo para eliminar la materia orgánica, sedimentos, material en suspensión, organismos patógenos, entre otros que pueda contener.

TABLA 19
RESUMEN DE LA CALIDAD DEL AGUA CON BASE A
COGUANOR 29001

No. Muestra	Lugar	Calidad	
		TOMA 1	TOMA 2
1	San Rafael	MALA	MALA
2	Panahá	MALA	MALA
3	Parrochoch	MALA	MALA
4	Chijou	BUENA	MALA
5	Najquitob	BUENA	MALA
6	Pambach	MALA	MALA

Fuente: Investigación de campo. 2014.

Con base a la norma COGUANOR 29001 se concluye que la calidad del agua es mala en las dos tomas (Toma 1: Seca, Toma 2: Después de precipitaciones fuertes) en San Rafael, Panahá, Parrochoch, Pambach aunque las concentraciones aceptables y/o permitidas por dicha norma, pero la cantidad de coliformes fecales y totales sobrepasan lo establecido y buena en Chijou y Najquitob presenta condiciones aceptables y/o permitidas por dicha norma.

Éste parámetro permitió identificar tres categorías de acuerdo al orden de vulnerabilidad de manera decreciente, siendo estas: Categoría K1 con 19,31% de área, ésta se presenta bien desarrollada y el indicador principal fue la variabilidad bacteriológica del agua en las aldeas Chitul, Acamal, Chixojau y el Arco, encontrándose en esta zona el manantial de Chijou el cual tiene una

variación de coliformes fecales de 0/100ml a 21/100ml de época seca a lluviosa.

Las geoformas del lugar también indican un fuerte desarrollo cárstico por la presencia de dolinas, sumideros, etc. En esta categoría el sistema de dolinas se encuentra más desarrollado, con una densidad que abarca de 21 d/km² a 102 d/km², favoreciendo el desarrollo de la red cárstica. Las dolinas se encuentran concentradas en la parte norte del municipio, geológicamente en los terrenos de calizas de la Formación Cobán, (Mapa 15).

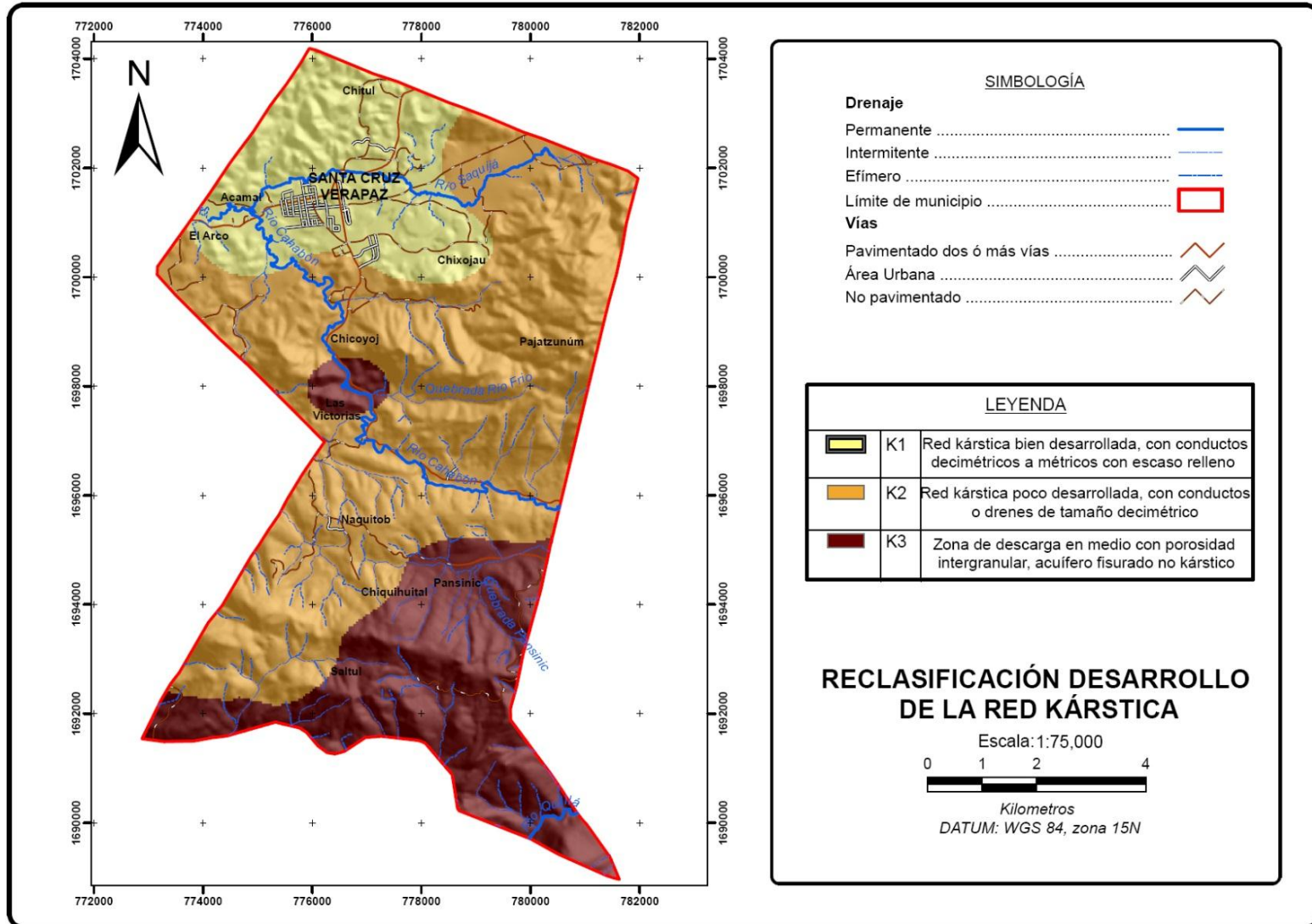
En la categoría K2 se presentó una red cárstica poco desarrollada principalmente en las cercanías del manantial de la aldea Parrochoch (Peña de Gallo), la cual presenta una variación de 19/100ml a 25/100ml en los coliformes fecales, además de un pH de 7,6 a 7,4 manteniéndose ligeramente dentro de rango para consumo humano.

También K2, se caracteriza por el gran número de manantiales, lo que indica diferentes salidas de descarga. Comprende un 56,25% de extensión dentro del municipio de Santa Cruz, A.V., abarcando las comunidades de San Rafael I y II, Najquitob, Chicoyoj y Pajatzunúm.

Representada por un 24,44% de área, se encuentra la categoría K3, ésta juega un papel importante en la filtración ya que le da efecto protector, manteniendo de manera estable la calidad del agua, abarca la zona sur de la comunidad Saltul, la que se encuentra conformada principalmente por lutitas de la Formación

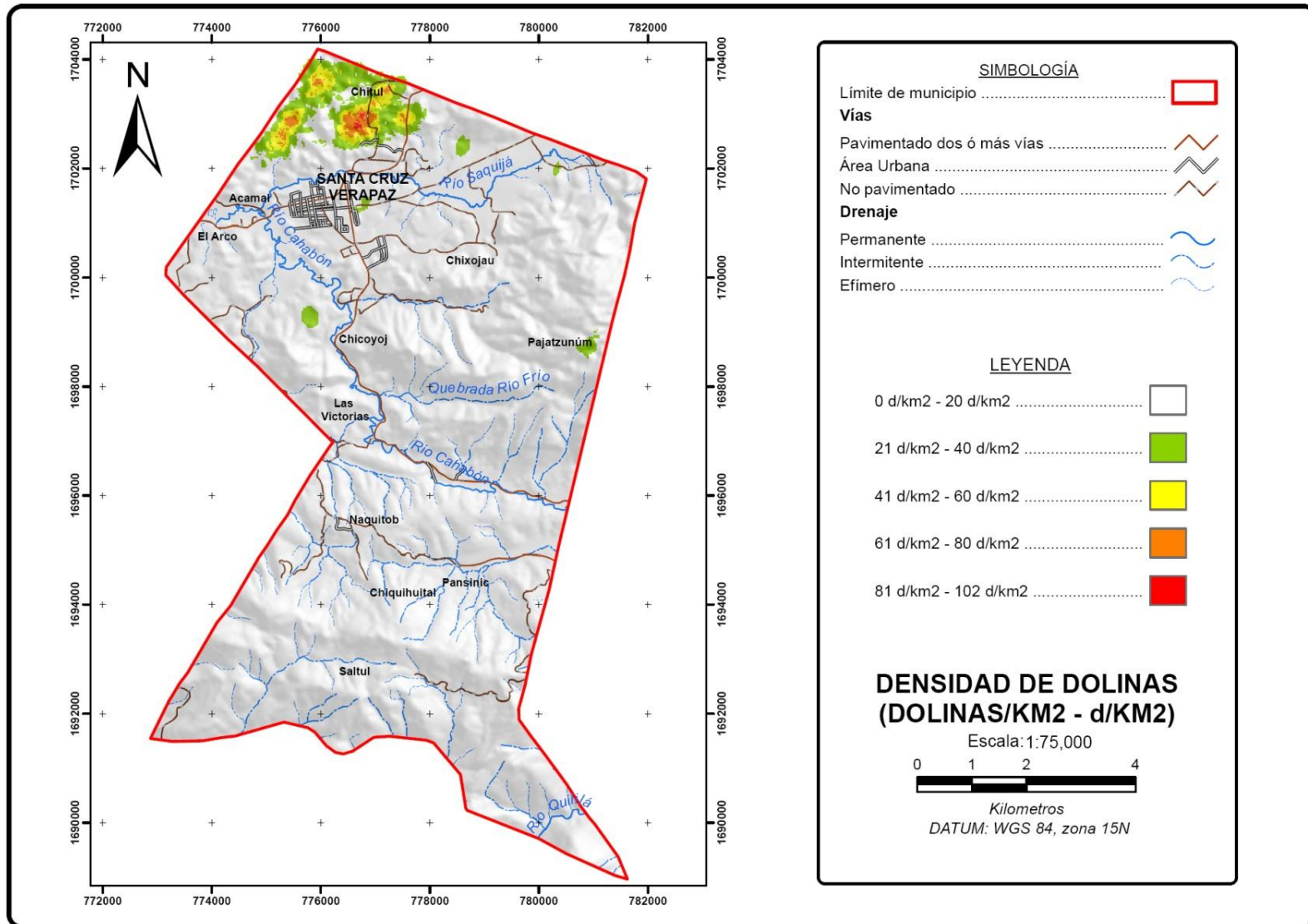
Tactic, dándole éstas un efecto de impermeabilizante a la red, donde las fracturas son las que permiten la filtración de agua, siendo este un acuífero mixto o fisurado en esta categoría.

MAPA 14 DESARROLLO DE LA RED CÁRSTICA



Fuente: Investigación de campo. 2014.

MAPA 15 DENSIDAD DE DOLINAS



Fuente: Investigación de campo. 2014.

3.2 Zonas vulnerables a la contaminación

A partir de los recorridos y evaluaciones en campo se determinaron los cuatro parámetros considerados en el método *EPIK*: Epikarst, Cubierta protectora, Infiltración y Red cárstica. El potencial de contaminación en los acuíferos cársticos se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$F = [\alpha (Ei) + \beta(Pi) + \gamma (Ii) + \delta (Ki)]$$

Dónde:

- E: Epikarst (Morfología cárstica)
- P: Cubierta protectora (Ausencia o importante cubierta de protección)
- I: Infiltración
- K: Red cárstica (Desarrollo de la red cárstica)

Cada uno de los parámetros conto con un coeficiente de ponderación (Tabla 20) que fue asignado en cada punto evaluado.

TABLA 20
COEFICIENTES DE PONDERACIÓN

Parámetro	E	P	I	K
Coeficiente de ponderación	α	β	γ	δ
Peso relativo	3	1	3	2

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España -IGME- *Los acuíferos kársticos. Casos del país vasco, The karstic aquifers. Cases of the Basque Country*, España: IGME., 2 014.

Posteriormente se hizo una sumatoria que permitió determinar el factor de protección (Tabla 21 y 22), con esta caracterización de puntos se realizó una interpolación permitiendo visualizar de manera espacial la distribución de las diferentes clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos encontradas en el área de estudio.

TABLA 21
FACTOR DE PROTECCIÓN A LA VULNERABILIDAD DE
ACUÍFEROS

Vulnerabilidad	Índice de protección "F"
Muy alta	9 - 19
Alta	20 -25
Moderada	> 25
Baja	> 25 (P4 + I3,4)

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España -IGME- *Los acuíferos kársticos. Casos del país vasco, The karstic aquifers. Cases of the Basque Country*, España: IGME., 2 014.

Los valores que se utilizaron para el cálculo del índice de protección son los mostrados en la Tabla 22.

TABLA 22
VALORES DE LAS CATEGORÍAS E, P, I, K.

E1	E2	E3	P1	P2	P3	P4	I1	I2	I3	I4	K1	K2	K3
1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España -IGME- *Los acuíferos kársticos. Casos del país vasco, The karstic aquifers. Cases of the Basque Country*, España: IGME., 2 014.

Dentro del municipio se determinaron los factores de protección que varían de 9 (máxima vulnerabilidad) a 34 (mínima vulnerabilidad) como se observa en el Mapa 16. Las zonas con alto grado de vulnerabilidad son las aldeas Acamal, El Arco, Pajatuzúm, las que se encuentran con un índice de protección en los rangos de 9 – 19 en valor *EPIK*, al analizar éste podemos apreciar que la mayor vulnerabilidad a la contaminación se concentra cerca de los cauces de los ríos Cahabón, Río Saquija y la Quebrada Río Frío ya que estos alimentan el acuífero de manera directa permitiendo una infiltración constante.

Además, se encuentran en rocas carbonatadas principalmente de la Formación Cobán de geomorfología de montañas cársticas altas y bajas, lo que indica que tienen un desarrollo cárstico alto y que las hace vulnerables a la contaminación (Tabla 23).

Las zonas con vulnerabilidad media, de índice de protección entre 20 – 25 de valor *EPIK*, las encontramos principalmente en las aldeas Chitul, Chixojau, Najquitob y Chiquihuital y parte de la cabecera municipal. Esta se caracteriza por zonas con alta presencia de dolinas, sumideros pero principalmente compuesto por valles secos. Además, se encuentra protegida por una cubierta mayor a 1 m de espesor de suelo de tipo franco arcilloso, en donde la infiltración se da en zonas de alimentación de cursos de agua, las cuales no son drenadas artificialmente, como es el caso del Río Saquija y Cabahón que pasan cercanos a estas áreas.

También la vulnerabilidad media se da en el sur del municipio en donde las pendientes pronunciadas permiten la infiltración por escorrentía en la parte sur del municipio.

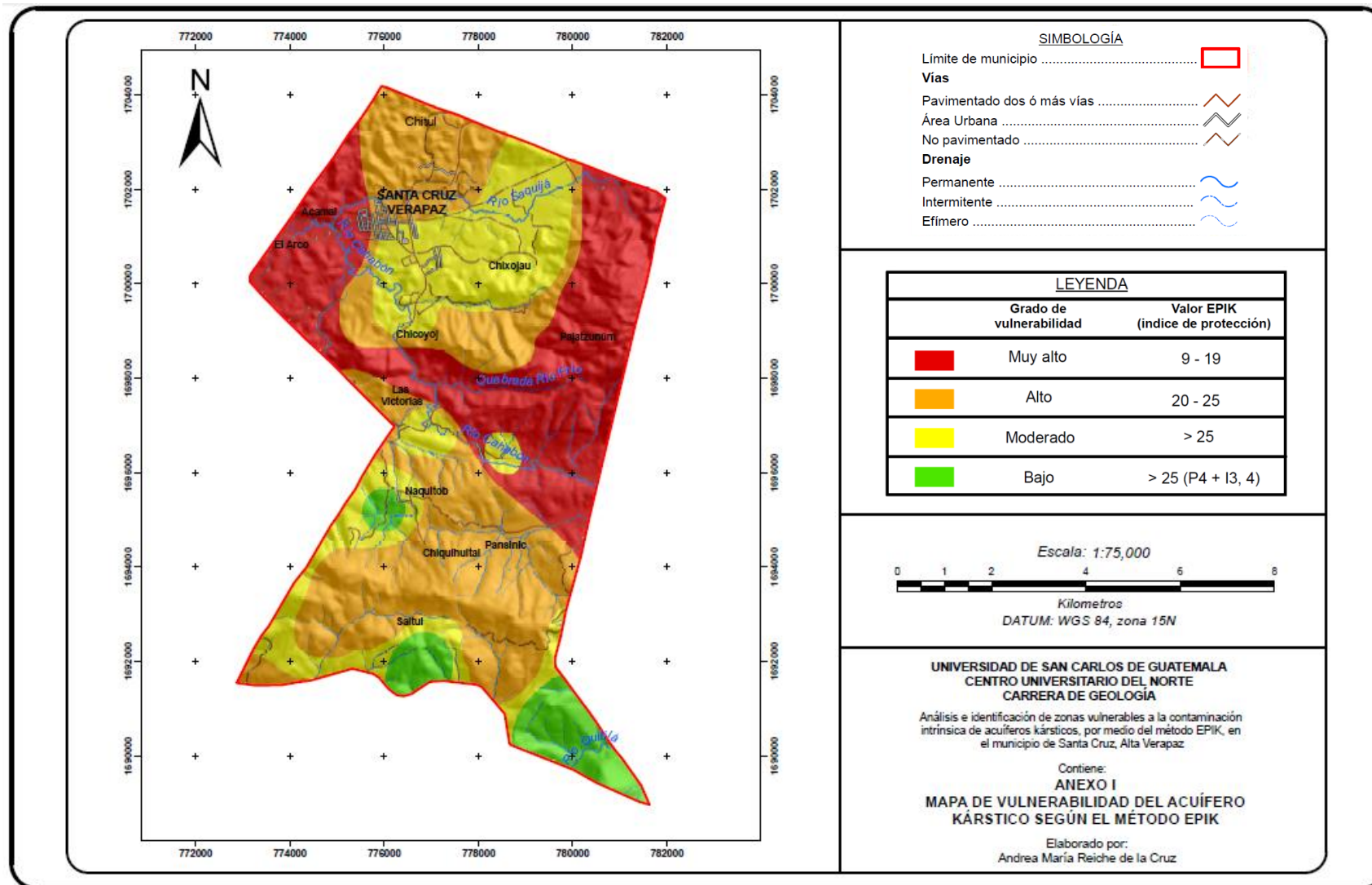
Las zonas de la aldea Carchela y finca el Zapote pueden presentar un riesgo alto de contaminación en el futuro si el crecimiento urbano alcanza las zonas de vulnerabilidad altas, también si las letrinas que se ubican en dolinas, sumideros, alcanzan las aguas subterráneas y las actividades industriales llegan a dar a los cursos de agua que no muestran mayor contaminación, (Anexo 10).

TABLA 23
PONDERACIONES DE VULNERABILIDAD DE
ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN

PUNTO	X	Y	Epikarst	Cubierta	Infiltración	Karst	F	CLASE
AR-01	777000	1702338	3	3	2	1	20	ALTA
AR-02	774861	1701285	1	3	2	1	14	MUY ALTA
AR-03	776734	1699801	3	3	4	2	28	MODERADA
AR-04	777444	1700738	3	3	3	1	23	ALTA
AR-05	779000	1702036	3	3	3	2	25	ALTA
AR-06	776688	1698063	1	2	2	3	17	MUY ALTA
AR-07	777197	1699444	1	2	3	2	18	MUY ALTA
AR-08	776783	1699147	3	2	2	2	21	ALTA
AR-09	776783	1699147	1	2	3	2	18	MUY ALTA
AR-10	776864	1696894	3	1	3	2	23	ALTA
AR-11	779391	1696146	1	2	2	2	15	MUY ALTA
AR-12	776867	1694250	4	3	2	2	25	MODERADA
AR-13	778603	1696311	1	3	3	2	19	MUY ALTA
AR-14	776011	1695130	4	3	3	2	28	BAJA
AR-15	778839	1694315	3	2	1	3	20	ALTA
AR-16	777402	1693490	4	4	2	3	28	MODERADA
AR-17	773413	1693831	4	3	3	2	28	BAJA
AR-18	775721	1693032	3	2	2	2	21	ALTA
AR-19	778563	1691809	3	2	2	3	23	ALTA
AR-20	776760	1691962	4	4	3	3	31	BAJA
AR-21	779542	1690922	4	4	3	3	31	BAJA

Fuente: Investigación de campo. 2014.

MAPA 16 MAPA DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS CÁRSTICOS “EPIK”



Fuente: Investigación de campo. 2014.

CONCLUSIONES

General

La metodología EPIK, utilizada para determinar zonas vulnerables a la contaminación intrínseca, con el fin de preservar la calidad de los acuíferos cársticos en el municipio de Santa Cruz Verapaz, permitió identificar las siguientes clases de vulnerabilidad a la contaminación: baja vulnerabilidad (6,89% de área) ubicada al sur del municipio, moderada con un 23,28% del área se encuentra en las comunidades de Chixojau, Najquitob, alta vulnerabilidad ocupando un 38,85% del área y se encuentra en las aldeas Chicoyoj, Pansinic, Chiquihuital, Chitul, Las Victorias y la zona de muy alta vulnerabilidad cuenta con 30,98% del área y se ubica en Pajatzunum, Acamal y El Arco.

Específicas

1. La geomorfología está representada por montañas cársticas bajas que agrupa las áreas de mucha disolución en los carbonatos (sumideros, grutas, dolinas, depresiones) se ubican al norte y centro del municipio, en su mayoría tienden a ser más vulnerables por la infiltración que puede darse y por el desarrollo cárstico que presenta.

Montaña cárstica alta, caracterizadas por mostrar mucha disolución visible en campo (afloramientos de calizas con estratos) también muestran alto grado de vulnerabilidad el cual se debe a que son zonas de área de alimentación de cursos de agua donde se infiltran los contaminantes principalmente agentes agroquímicos utilizados en esta zona.

Montaña media y alta, éstas no son carbonáticas, son lutitas pertenecientes a la Formación Tactic con pendiente y altura menor, lo que permite un bajo grado de vulnerabilidad debido a su factor impermeabilizante.

2. En el municipio de Santa Cruz Verapaz mediante las pruebas de infiltración se identificaron dos velocidades predominantes; la primera de estas una infiltración moderada en suelos limosos, caracterizada por velocidades entre el rango de 2 cm/hr a 12,7 cm/hr; la segunda velocidad de infiltración lenta en suelos franco arcillosos con velocidades entre 0,3 cm/hr – 2 cm/hr. Esto permite indicar que las zonas que presentan velocidades de infiltración lenta favorece a que el grado de vulnerabilidad sea bajo.

3. La red cárstica permitió identificar áreas con una red bien desarrollada, la cual está representada por la densidad de dolinas, cuevas y sumideros, los cuales mostraron variaciones notables en la calidad bacteriológica del agua, esto en el lado oeste de la cabecera municipal y las comunidades Acamal, El arco y Parrochoch. En estas zonas se encuentra una sola salida de descarga (manantial) indicando que el sistema se encuentra bien desarrollado, a diferencia de las aldeas Panahá y Pambach, que presentan un gran número de manantiales lo que es propio de un sistema pobremente desarrollado. Estas variaciones en la red cárstica indican una susceptibilidad que pueden presentar los acuíferos de acuerdo a su desarrollo en el sistema.

RECOMENDACIONES

1. Establecer una comisión municipal en la que intervengan autoridades comunitarias, municipales, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales en la que se busquen las alternativas para reducir la contaminación de las aguas subterráneas por agentes externos, tomando como base fundamental y punto de partida el mapa de vulnerabilidad de acuíferos cársticos, priorizando las áreas identificadas como de alta vulnerabilidad.
2. Con base al mapa de vulnerabilidad de acuíferos cársticos, se recomienda a las autoridades municipales implementar en las zonas de vulnerabilidad media y baja, un plan estratégico para el uso del territorio en busca de reducir los contaminantes que afectan las aguas subterráneas, en los que se tomen en cuenta acciones tales como ubicación y/o reubicación de letrinas y basureros comunes, concientización sobre el uso racional y adecuado de productos agroquímicos, con el fin de minimizar los contaminantes que se lixivian hacia las aguas subterráneas.
3. Sensibilizar a los productores respecto a las repercusiones ambientales y sanitarias que genera el mal uso de agroquímicos e informarle sobre las pérdidas económicas en abono y combustible que conlleva la no optimización de sus prácticas de riego y abonado.
4. Es necesario instalar una red de monitoreo en los principales nacimientos de agua del municipio para medir la variación de la calidad del agua,

principalmente en la comunidad Pambach y San Rafael que presentan la mayor variación bacteriológica, y de comunidades y cabecera central del municipio.

BIBLIOGRAFÍA

- Amado Álvarez, Jesús. *Diagnóstico y Predicción, Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo*. [http://www.revista.-phyton.fund-romularoggio.org.ar/vol75/Amado_Alvarez .pdf](http://www.revista.-phyton.fund-romularoggio.org.ar/vol75/Amado_Alvarez.pdf) . México (15 de febrero de 2 014).
- Chiquin Yoj, Mauricio (Comp.) *Norte y Centro América: Bloque Maya y Chortís. Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Dirección General de Investigación, 2 000.
- Choza, L.A. *Estrategia de protección para las aguas subterráneas en la subcuenca oriental del acuífero de Managua*. Nicaragua: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, 1 997.
- Cruz S., Jorge René de la. *Clasificación de las zonas de vida en Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala: Inafor., 1 982.
- Foster Stephen, Hirata Ricardo. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes*. Lima, Perú. Organización Panamericana de la Salud, 1 991.
- Instituto Geológico y Minero de España -IGME- *Los acuíferos kársticos. Casos del país vasco, The karstic aquifers. Cases of the Basque Country*, España: IGME., 2 014.
- , *Protección de las captaciones de abastecimiento urbano en medios kársticos. Métodos y consideraciones específicas*. [http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro107/pdf/lib107/in_07 .pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro107/pdf/lib107/in_07.pdf). España (28 de abril de 2 014).
- Instituto Geográfico Nacional -IGN-. *Base de datos tabla Excel de georeferencias con coordenadas*. Guatemala: IGN., 2 010.
- Instituto Nacional de Estadística –INE-. *Ubicación de Santa Cruz, Verapaz, Alta Verapaz*. Censos Nacionales Integrados XI de población y VI habitación, Guatemala: INE., 2 002.

Instituto Tecnológico Geominero de España. *Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, importancia de la protección de las aguas subterráneas*. http://www.igme.es/internet/divulgación_divulgación_conoce_las_as/ficha4.pdf (15 de mayo de 2 014).

Jaroslav, V. and A. Zoporozec.. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability International Contribution to Hydrogeology*. Londres, Inglaterra: Hannover: H. Heise.1 994

Machatschek, F., *Geomorphology tex*, University of East Anglia, New York, United States of America: American Elsevier Publishing Company, 1 969.

Radu C. And A. Dassargues. *Sensitivity analysis for the EPIK method of vulnerability assessment in a small carstic aquifer*, Shouthern Belgium: Hydrogeology, Journal, 2 000.

Yun, Zhen. *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste*. http://estatico.uned.ac.cr/investigación/documents/Tesis_BiYun_Zhen.pdf. San José, Costa Rica. 2 009 (28 de febrero de 2 014).



V.º B.º

Adán García Véliz

Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa

BIBLIOTECARIO



ANEXOS

LISTA DE ABREVIATURAS

A.V.	Alta Verapaz
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de normas
cm/hr	Centímetros por hora
CUNOR	Centro Universitario del Norte
E-coli	Escherichia coli
Es	Escombro
ICOBA	Índice o nivel de contaminación bacteriana
JKts	Formación Todos Santos
Kco1	Formación Cobán Inferior
Kco2	Formación Cobán Superior
Kco-ca	Formación Cobán y Campur no dividida
L	Litro
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
m	Metro
ml	Mililitro
NaOH	Hidróxido de Sodio
pH	Potencial de Hidrogeno
Pt1	Formación Tactic Superior
Pt2	Formación Tactic Inferior
Qa	Deposito aluvial
Qp	Pómez y depósito pomáceo eólico
TQs	Suelo café y rojizo
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
UTM	Universal Transversal Mercator



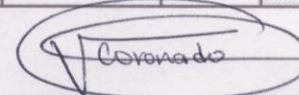
MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DE AGUA

Procedencia: NAJQUITOB
Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso: 27 DE ENERO DEL 2014 Nombre del Sistema: NAJQUITOB
Fecha Egreso: 28 DE ENERO DEL 2014

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	ESCUELA OFICIAL RURAL MIXTA DE NAJQUITOB	09:21	0/100mL	0/100 MI	0		7.6
2	PUESTO DE SALUD DE NAJQUITOB	09:40	0/100mL	0/100 MI	0		7.6



VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coguanor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado


Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.


Dr. EMILIO ORTEGA HERNÁNDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD GUATEMALA
SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



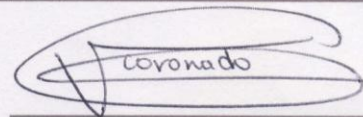
MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia: PARROCHOCH
Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso: 22 DE AGOSTO DEL 2013 Nombre del Sistema: MOXENJA Y RIO FRIO
Fecha Egreso: 23 DE AGOSTO DEL 2013

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	CASA DE OLGO POP (RIO FRIO)	10:00	INC.	28/100 MI	0		7.4
2	CASA DE GUILLERMO CAAL (MOXENJA)	10:30	INC.	25/100 MI	0		7.4


VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coganor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado

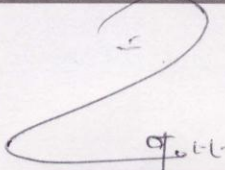
Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.


Dr. EMILIO ORTEGA HERNÁNDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
 DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
 Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
 ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia: PAMBACH
 Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
 Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
 Fecha Ingreso: 06 DE AGOSTO DEL 2013 Nombre del Sistema:
 Fecha Egreso: 7 DE AGOSTO DEL 2013

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	NACIMIENTO No. 2 PAMBACH	09:40	0/100mL	INC.	0		7.4
2	NACIMIENTO No. 1 PAMBACH	09:21	3/100mL	68/100mL	0		7.4
3	NACIMIENTO No. 3 PAMBACH	09:58	2/100mL	29/100mL	0		7.4
4	NACIMIENTO No. 6 PAMBACH	08:40	2/100mL	43/100mL	0		7.4
5	NACIMIENTO No. 5 PAMBACH	11:00	18/100mL	32/100mL	0		7.4
6	NACIMIENTO No. 4 PAMBACH	10:20	1/100mL	INC.	0		7.4

VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
 Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coganor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelometrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado

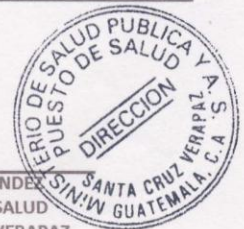
Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):
 SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.

Dr. EMILIO ORTEGA HERNANDEZ
 DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
 SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



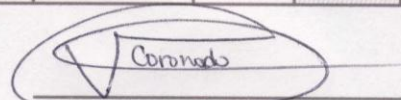
MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
 DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
 Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
 ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia:	SAN RAFAEL I Y II		
Municipio:	SANTA CRUZ VERAPAZ	Departamento:	ALTA VERAPAZ
Responsable Toma:	VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE	Cargo:	Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso:	18 DE FEBRERO DEL 2014	Nombre del Sistema:	SAN RAFAEL I
Fecha Egreso:	19 DE FEBRERO DEL 2014		

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	SAN RAFAEL II (NACIMIENTO)	08:48	0/100mL	INC	0		7.6
2	SAN RAFAEL II (NACIMIENTO)	09:40	0/100mL	INC	0		7.6
1	SAN RAFAEL I CASA DE ADELA CHO	09:10	0/100mL	0/100 MI	0		7.6
2	SAN RAFAEL I CASA DE CARLO CAAL	09:40	0/100mL	0/100 MI	0		7.6
1	SAN RAFAEL I TANQUE DE CAPTACION	10:17	0/100mL	INC	0		7.6
2	SAN RAFAEL I TANQUE DE CAPTACION	10:15	0/100mL	INC	0		7.6


 VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
 Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coguanor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.
 mL mililitros
 No muestreado

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestrá(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

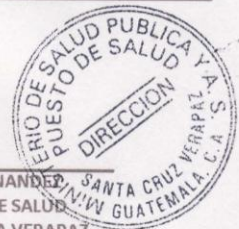
MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.



Dr. EMILIO ORTEGA HERNÁNDEZ
 DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
 SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



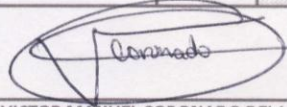
MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia: NACIMIENTO PANAHA
Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso: 27 DE ENERO DEL 2014 Nombre del Sistema:
Fecha Egreso: 28 DE ENERO DEL 2014

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	NACIMIENTO PANAHA	10:15	0/100mL	1/100 MI	0		7.6
2	NACIMIENTO PANAHA	10:20	0/100mL	0/100 MI	0		7.6


VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coguanor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelometrica de turbiedad.
mL mililitros
 No muestreado

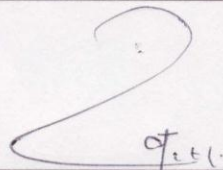
Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

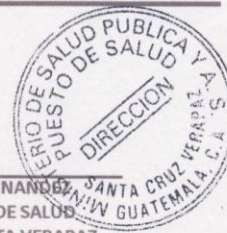
OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.


Dr. EMILIO ORTEGA HERNÁNDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
 DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
 Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
 ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia: PARROCHOCH
 Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
 Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
 Fecha Ingreso: 28 DE ENERO DEL 2014 Nombre del Sistema: RIO FRIO Y MOXENJA
 Fecha Egreso: 29 DE ENERO DEL 2014

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	ESCUELA OFICIAL RURAL MIXTA DE PARROCHOCH	09:40	0/100mL	21/100 MI	0		7.6
2	TANQUE MONXEJA DE PARROCHO (30/01/2014)	10:00	0/100mL	38/100 MI	0		7.6
3	CASA DE GUILLERMO CAAL (TANQUE MONXEJA)	09:00	0/100mL	19/100 MI	0		7.6
4	TANQUE RIO FRIO DE PARROCHOCH	10:32	0/100mL	25/100 MI	0		7.6
5	TANQUE RIO FRIO DE PARROCHOCH	10:40	0/100mL	22/100 MI	0		7.6

Coronado

VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
 Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coguanor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

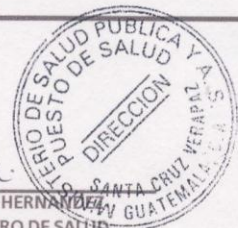
OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.

Dr. E. Ortega
 Dr. EMILIO ORTEGA HERNANDEZ
 DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
 SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
 DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
 Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
 ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia: CHIJOU
 Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
 Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
 Fecha Ingreso: 23 DE ENERO DEL 2014 Nombre del Sistema: CHIJOU
 Fecha Egreso: 24 DE ENERO DEL 2014

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
2	ESCUELA OFICIAL RURAL MIXTA DE CHIJOU	08:59	0/100mL	21/100 MI	0		7.6

VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
 Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coguanor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.

Dr. EMILIO ORTEGA HERNÁNDEZ
 DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
 SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia:	CHIJOU		
Municipio:	SANTA CRUZ VERAPAZ	Departamento:	ALTA VERAPAZ
Responsable Toma:	VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE	Cargo:	Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso:	27 DE DICIEMBRE DEL 2013	Nombre del Sistema:	CHIJOU
Fecha Egreso:	28 DE DICIEMBRE DEL 2013		

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	PUESTO DE SALUD DE CHIJOU	10:37	0/100mL	0/100 MI	0		7.6
2	ESCUELA OFICIAL RURAL MIXTA DE CHIJOU	11:06	0/100mL	0/100 MI	0		7.6

VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coguanor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.

Dr. EMILIO ORTEGA HERNANDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia: ACAMAL I
Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso: 11 DE DICIEMBRE DEL 2013 Nombre del Sistema: ACAMAL I
Fecha Egreso: 12 DE DICIEMBRE DEL 2013

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	ACAMAL I CENTRO DE CONVERGENCIA	08:58	0/100mL	0/100 MI	0		7.6
2	ACAMAL I ESCUELA OFICIAL RURAL MIXTA	09:24	0/100mL	01/100 MI	0		7.6

VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coganor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.

Dr. EMILIO ORTEGA HERNANDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ

----- ÚLTIMA LINEA -----



MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
 DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
 Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DE AGUA

Procedencia:	PANQUIYOU		
Municipio:	SANTA CRUZ VERAPAZ	Departamento:	ALTA VERAPAZ
Responsable Toma:	VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE	Cargo:	Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso:	09 DE DICIEMBRE DEL 2013	Nombre del Sistema:	CHIXAJAU
Fecha Egreso:	10 DE DICIEMBRE DEL 2013		

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	PANQUIYOU CENTRO DE CONVERGENCIA	10:05	0/100mL	05/100 MI	0		7.6
2	PANQUIYOU ESCUELA OFICIAL RURAL MIXTA	10:20	0/100mL	01/100 MI	0		7.6

VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
 Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coganor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelométrica de turbiedad.
 mL mililitros
 No muestreado

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.

Dr. EMILIO ORTEGA HERNANDEZ
 DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
 SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



República de Guatemala

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
DIRECCION AREA DE SALUD, ALTA VERAPAZ
Unidad de Saneamiento Ambiental

Información de la(s) Muestra(s)
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA

Procedencia: SAN RAFAEL I, SAN RAFAEL II
Municipio: SANTA CRUZ VERAPAZ Departamento: ALTA VERAPAZ
Responsable Toma: VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE Cargo: Inspector Saneamiento Ambiental
Fecha Ingreso: 08 DE OCTUBRE DEL 2013 Nombre del Sistema: SAN RAFAEL I
Fecha Egreso: 9 DE OCTUBRE DEL 2013

Resultado del Análisis

No.	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	HORA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	CLORO mg/L	TURBIDEZ UNT	pH
1	SAN RAFAEL I EORM	10:58	12/100mL	42/100 MI	0		7.6
2	SAN RAFAEL I CASA DE CARLOS CAAL	11:16	5/100mL	56/100mL	0		7.6
3	SAN RAFAEL II (NACIMIENTO)	11:03	0/100mL	INC.	0		7.4
4	SAN RAFAEL II (NACIMIENTO)	11:05	0/100mL	INC.	0		7.4

VICTOR MANUEL CORONADO DEL VALLE
Inspector de Saneamiento Ambiental

Método:

Membrana de filtración, La Norma Coguanor NGO 29 001 Agua Potable: Establece "...El volumen de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de Escherichia Coli en 100 mL. de agua. La ausencia de coliformes se interpreta que la muestra aislada satisface la norma de calidad para consumo humano..."

MUESTRA(S) ACEPTABLE(S): Unidad Nefelometrica de turbiedad.

mL mililitros
 No muestreado

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

MUESTRA(S) NO ACEPTABLE(S):

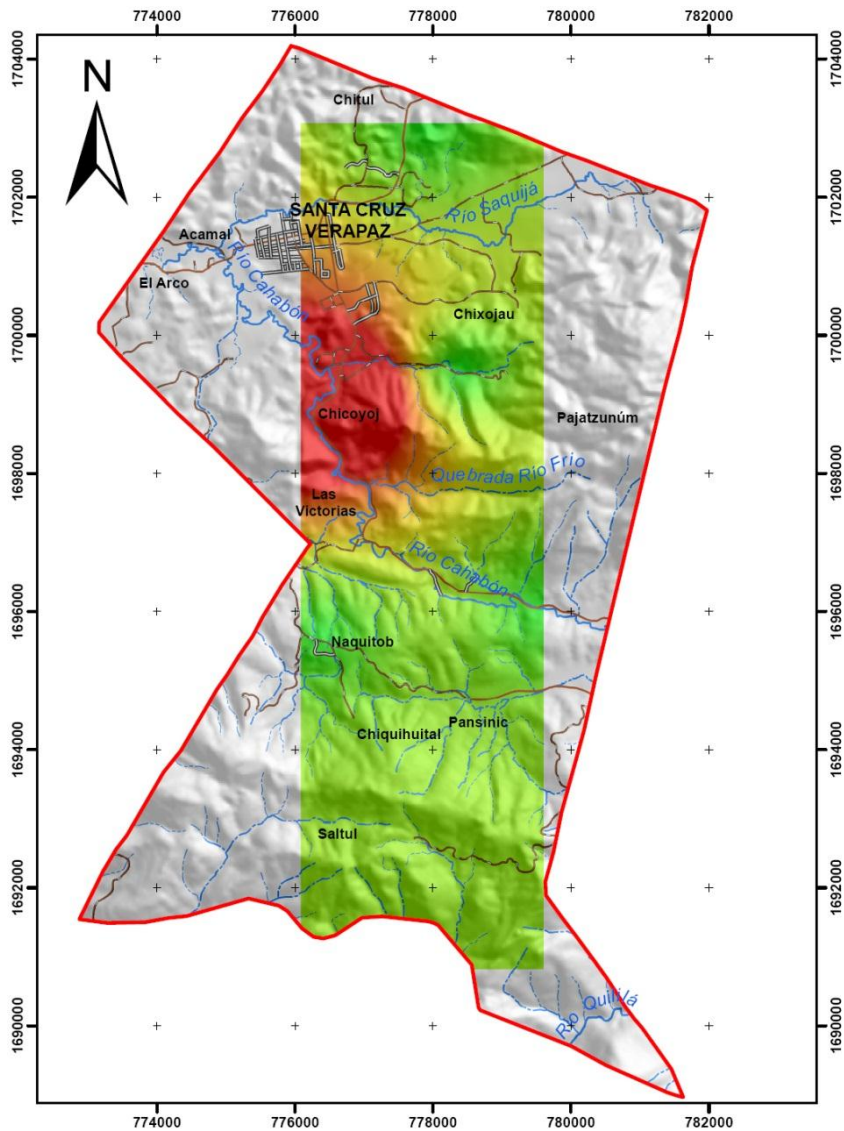
SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 29001 "ESPECIFICACIONES PARA AGUA POTABLE",

Vo.Bo.








Dr. EMILIO ORTEGA HERNANDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO DE SALUD
SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ



----- ÚLTIMA LINEA -----



SIMBOLOGÍA

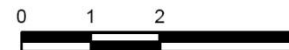
- Límite de municipio 
- Vías**
- Pavimentado dos ó más vías 
- Área Urbana 
- No pavimentado 
- Drenaje**
- Permanente 
- Intermitente 
- Efímero 

LEYENDA

- 12/100 ml 
- 0/100 ml 

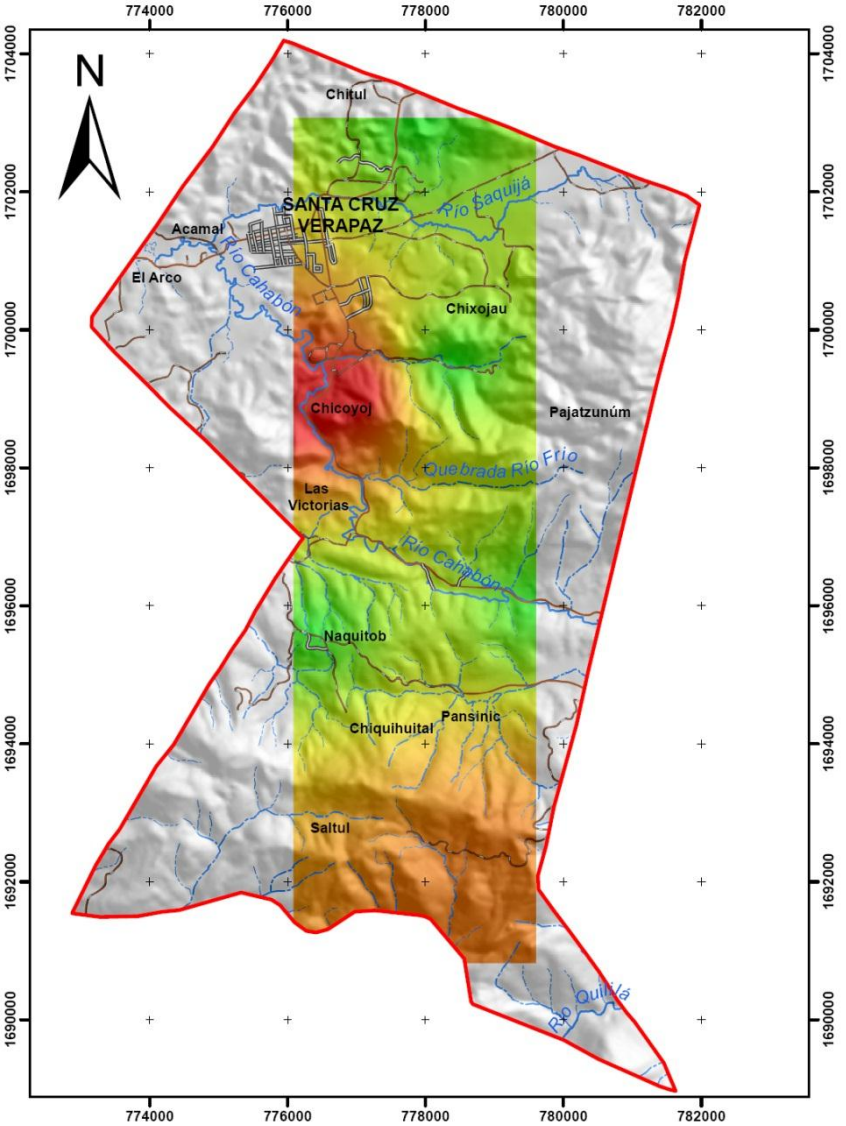
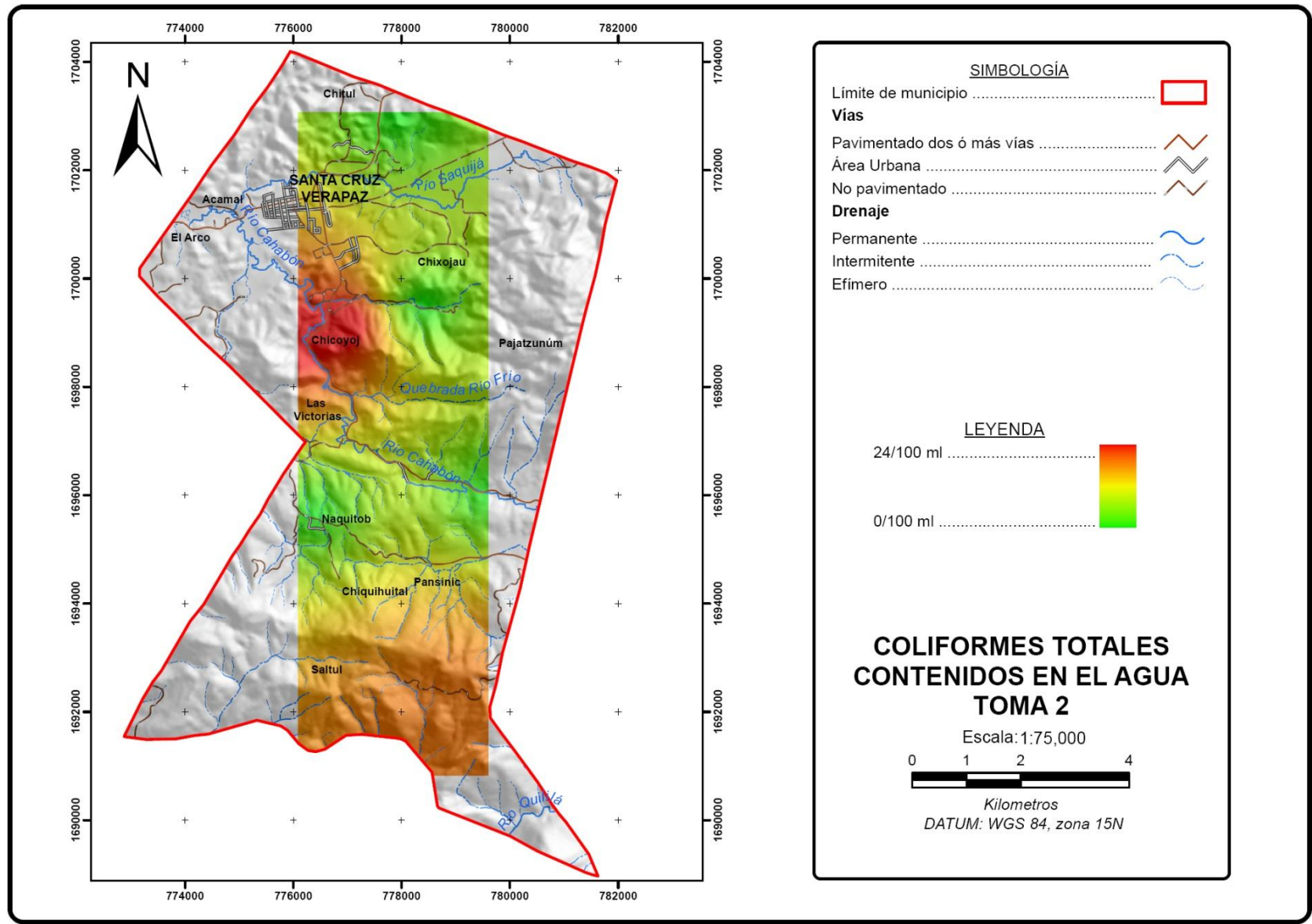
**COLIFORMES TOTALES
CONTENIDOS EN EL AGUA
TOMA 1**

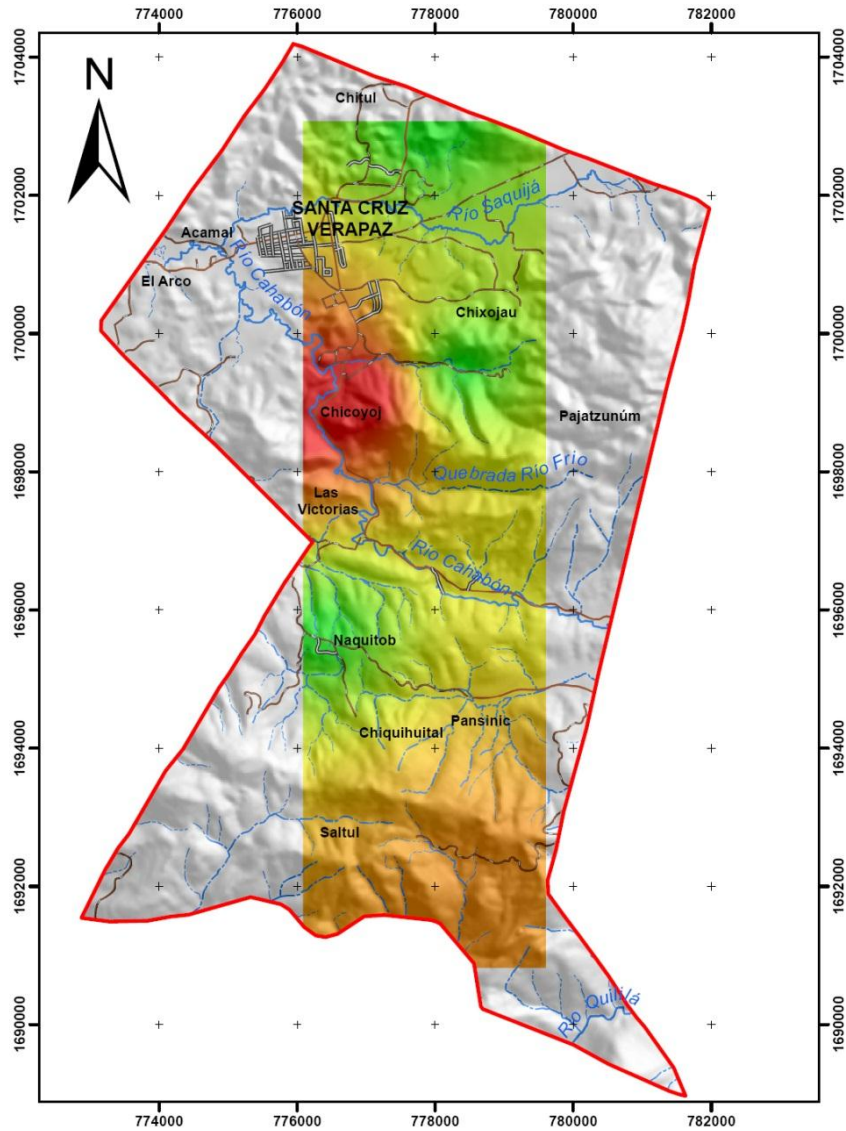
Escala: 1:75,000










Kilometros

DATUM: WGS 84, zona 15N





SIMBOLOGÍA

- Limite de municipio 
- Vías**
- Pavimentado dos ó más vías 
- Área Urbana 
- No pavimentado 
- Drenaje**
- Permanente 
- Intermitente 
- Efímero 

LEYENDA

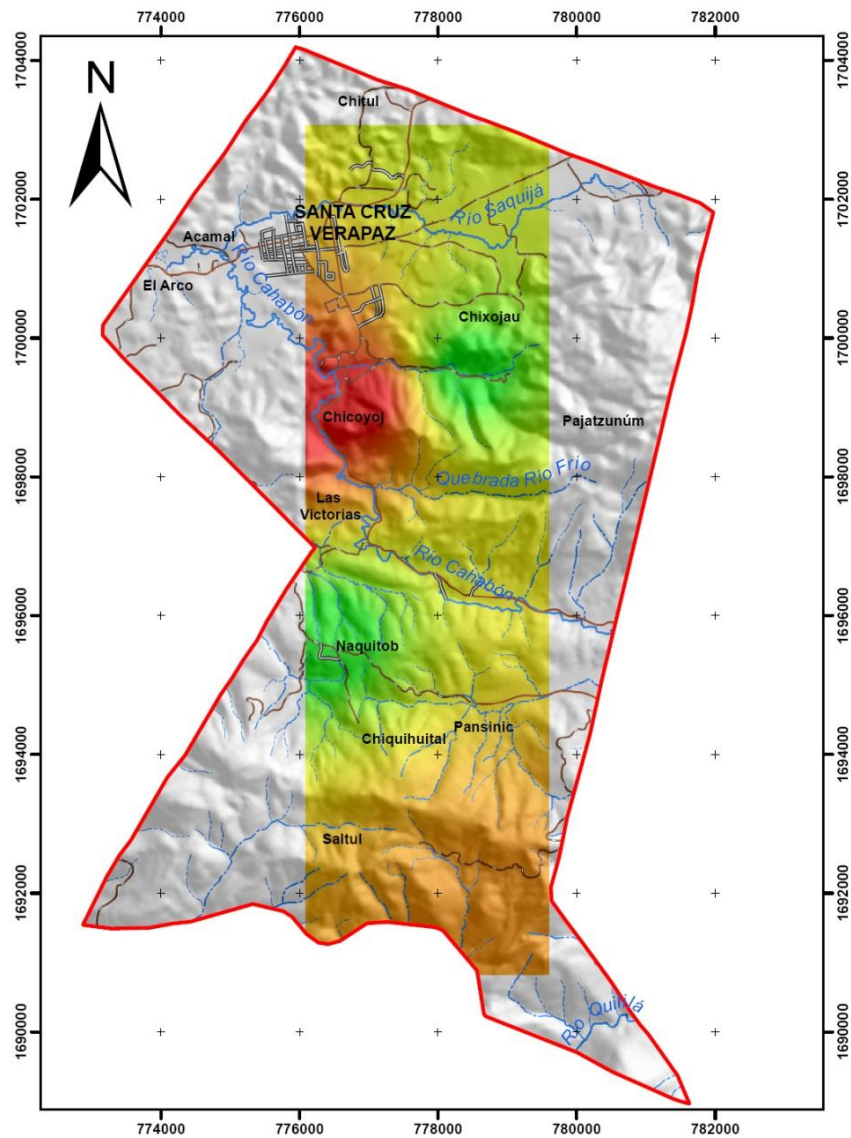
- 42/100 ml 
- 0/100 ml 

**COLIFORMES FECALES
CONTENIDOS EN EL AGUA
TOMA 1**








Escala: 1:75,000



Kilometros
DATUM: WGS 84, zona 15N



SIMBOLOGÍA

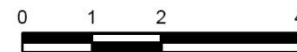
- Límite de municipio 
- Vías**
- Pavimentado dos ó más vías 
- Área Urbana 
- No pavimentado 
- Drenaje**
- Permanente 
- Intermitente 
- Efímero 

LEYENDA

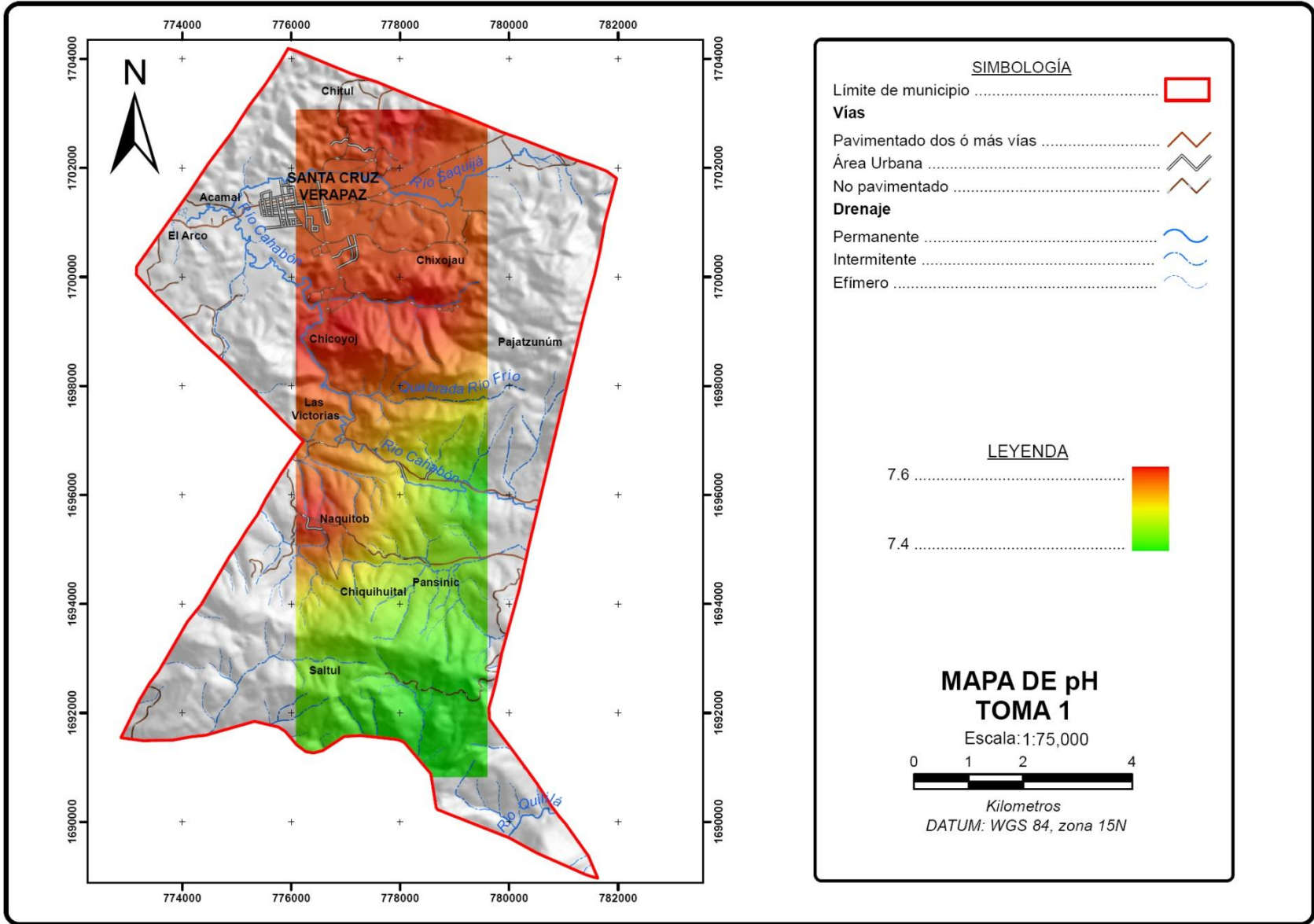
- 43/100 ml 
- 3/100 ml 

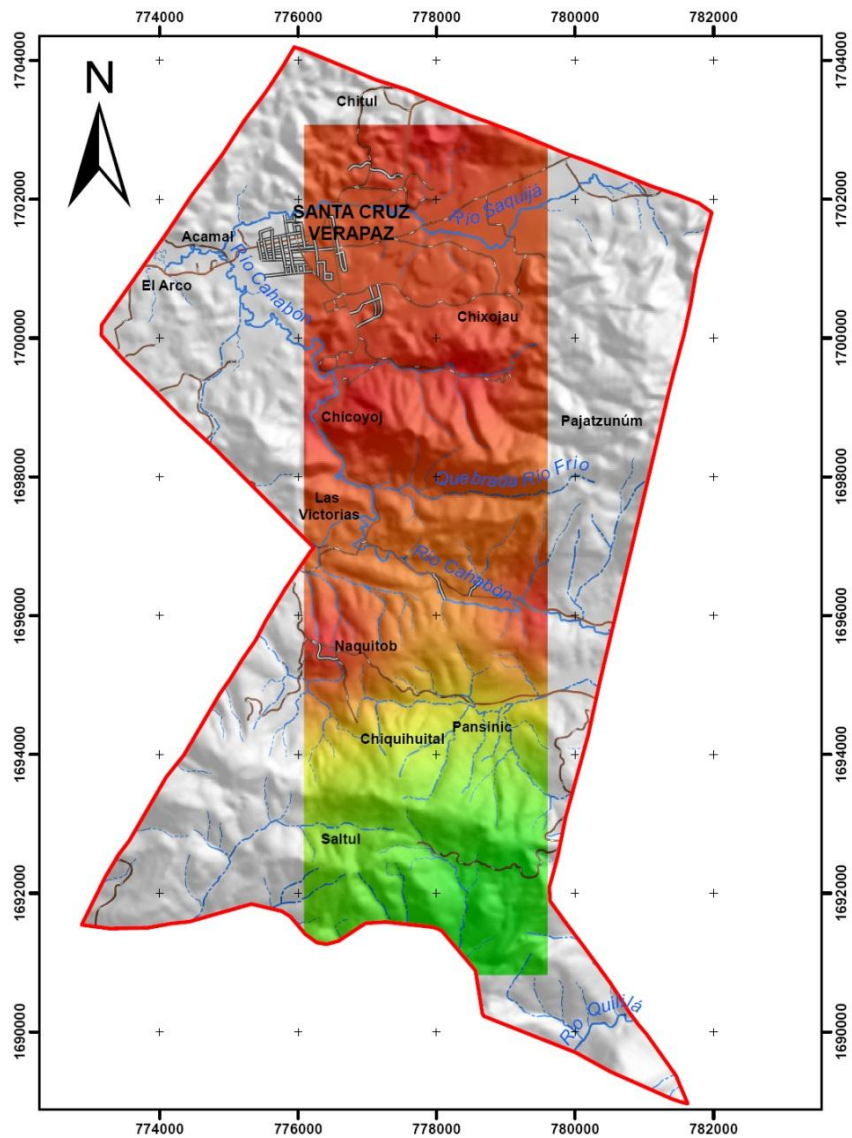
**COLIFORMES FECALES
CONTENIDOS EN EL AGUA
TOMA 2**

Escala: 1:75,000










Kilometros
DATUM: WGS 84, zona 15N





SIMBOLOGÍA

- Límite de municipio 
- Vías**
- Pavimentado dos ó más vías 
- Área Urbana 
- No pavimentado 
- Drenaje**
- Permanente 
- Intermitente 
- Efímero 

LEYENDA

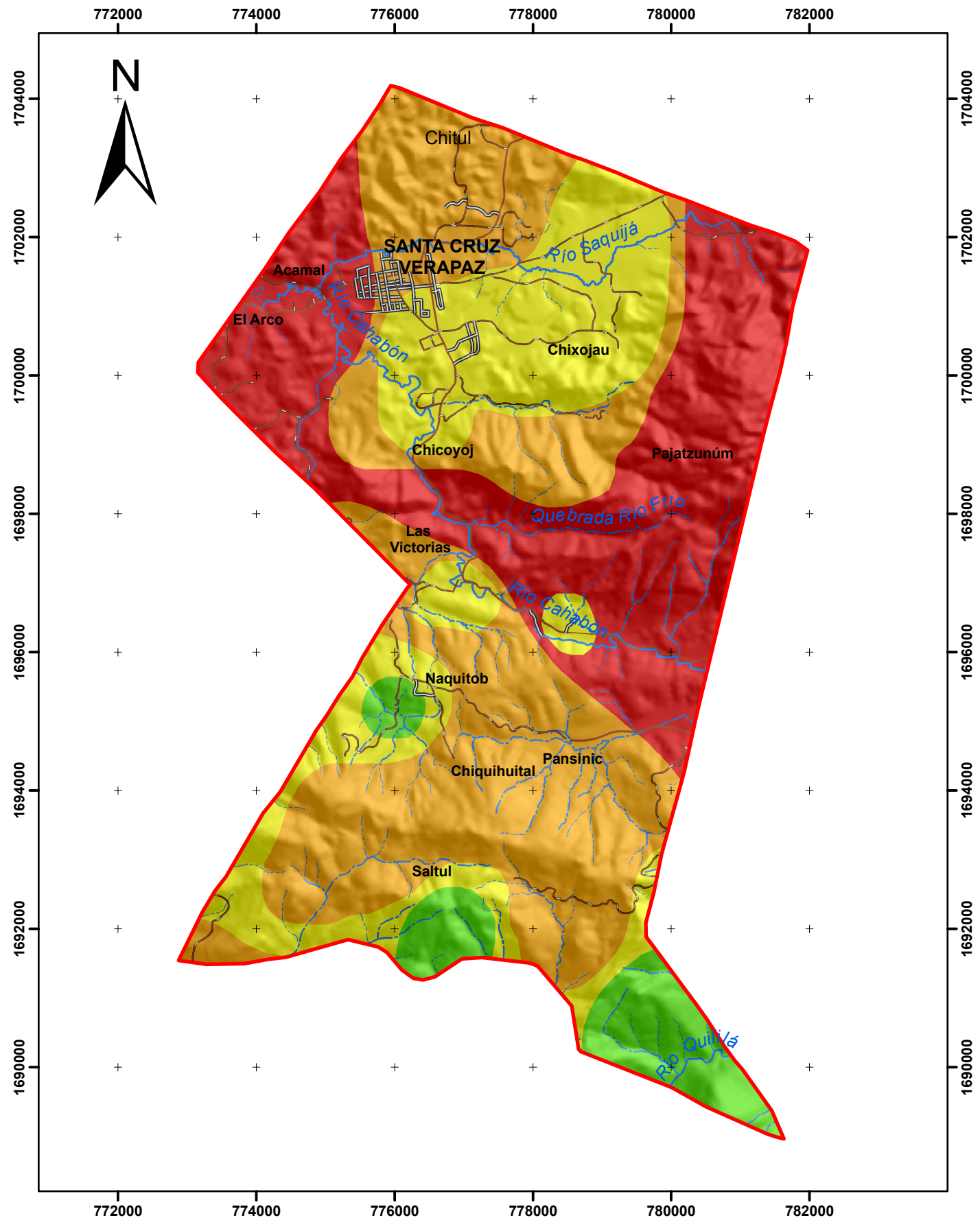


**MAPA DE pH
TOMA 2**








Escala: 1:75,000




Kilometros
DATUM: WGS 84, zona 15N



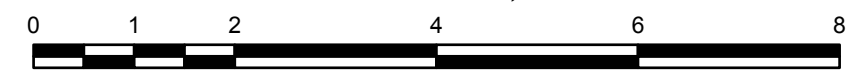
SIMBOLOGÍA

- Límite de municipio 
- Vías**
- Pavimentado dos ó más vías 
- Área Urbana 
- No pavimentado 
- Drenaje**
- Permanente 
- Intermitente 
- Efímero 

LEYENDA

	Grado de vulnerabilidad	Valor EPIK (índice de protección)
	Muy alto	9 - 19
	Alto	20 - 25
	Moderado	> 25
	Bajo	> 25 (P4 + I3, 4)

Escala: 1:75,000



Kilometros
DATUM: WGS 84, zona 15N

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

Análisis e identificación de zonas vulnerables a la contaminación intrínseca de acuíferos kársticos, por medio del método EPIK, en el municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz

Contiene:
ANEXO I
MAPA DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO KÁRSTICO SEGÚN EL MÉTODO EPIK

Elaborado por:
Andrea María Reiche de la Cruz



CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15247

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

Geología

Al trabajo titulado:

"Análisis e identificación de zonas vulnerables a la contaminación intrínseca de acuíferos cársticos, por medio del método EPIK, en el municipio de Santa Cruz Verapaz, A.V."

Presentado por el (la) estudiante:

Andrea María Reiche de la Cruz

Autoriza el

IMPRIMASE

"Id y enseñad a todos"

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



Cobán, Alta Verapaz octubre del 2015