



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE
COMITÁN**

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el Título de:
INGENIERA GEÓLOGA

PRESENTA:

EVELYN LUCERO JUÁREZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DOCTOR OSCAR A. ESCOLERO FUENTES



CD. Universitaria, México, D.F., 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Los datos de este trabajo derivan del proyecto denominado "Estudio Hidrológico y de Calidad del Agua del Sistema Lagunar de Montebello, en el estado de Chiapas", clave 000000000167603. Bajo la coordinación técnica del Dr. Oscar A. Escolero fuentes del Instituto de Geología, UNAM. Financiado por Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua CONAGUA-CONACYT.

CONTENIDO		PÁG.
	Agradecimientos	10
	Resumen	11
CAPÍTULO 1	Introducción	12
	1.1 Objetivos	16
	a) Objetivo general	16
	b) Objetivo particular	16
	c) Alcance	16
	1.2 Método de trabajo	16
	a) Recopilación de información	16
	b) Actividades de campo	17
	c) Actividades de Gabinete	17
CAPÍTULO 2	Geografía	18
	2.1 Localización y descripción del área de estudio	18
	2.2 Vías de comunicación y acceso	20
	2.3 Orografía	21
	2.4 Hidrografía	23
	2.5 Clima	24
	2.6 Población y cultura	25
CAPÍTULO 3	Geología	27
	3.1 Terrenos Tectonoestratigráficos	27
	3.2 Geología Regional	28
	3.3 Geología Local	32
	3.4 Fisiografía y geomorfología	34
	3.5 Estratigrafía	35
	3.6 Análisis de los principales rasgos estructurales	39
	3.7 1Geología histórica	42
CAPÍTULO 4	Hidrogeología	46
	4.1 Análisis físico-químico del agua en pozos y manantiales	46

CAPÍTULO 5	Hidrogeoquímica	51
5.1	Muestreo de agua	51
a)	Determinación de propiedades químicas de los manantiales	55
b)	Caracterización de las aguas deducidas de los diagramas de Piper-Hill-Langellier y de Stiff	65
5.2	Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico	74
CAPÍTULO 6	Conclusiones y recomendaciones	91
BIBLIOGRAFÍA		94
ANEXO		101

INDICE DE MAPAS

PÁG.

Mapa 1. Ubicación geográfica de Chiapas y Comitán	18
Mapa 2. Mapa de localización del Río Grande	20
Mapa 3. Carreteras principales del estado de Chiapas. Tomado de la SCT, 2000	21
Mapa 4. Fisiografía del estado de Chiapas que cuenta con siete regiones, modificado de Mullerried	22
Mapa 5. Croquis de las Redes Fluviales de Chiapas. Modificado de Mullerried, 1957	23
Mapa 6. Límites de los Terrenos Tectonoestratigráficos de México (Campa y Coney, 1983)	28
Mapa 7. Litología de la parte sur de la Altiplanicie de Chiapas (INEGI, 1997; 2007)	33
Mapa 8. Principales rasgos estructurales del Estado de Chiapas (Silva- Romo y Mendoza-Rosales, 2009)	42
Mapa 9. Puntos de muestreo de agua	52
Mapa 10. Delimitación de la Cuenca Río Grande en MDT.	76
Mapa 11. Cuenca Río Grande en MDE.	77
Mapa 12. Flujo subterráneo del agua en la Cuenca Río Grande, Comitán	78
Mapa 13. Concentraciones de sulfato en la cuenca Río Grande, Comitán	81

Mapa 15. Concentraciones de nitrato en la cuenca Río Grande, Comitán	82
Mapa 16. Concentraciones de cloro en la cuenca Río Grande, Comitán	83
Mapa 17. Concentraciones de los valores de conductividad eléctrica en la cuenca Río Grande, Comitán	83
Mapa 18. Concentraciones de bicarbonato en la cuenca Río Grande, Comitán	86
Mapa 19. Concentraciones de calcio en la cuenca Río Grande, Comitán	87
Mapa 20. Concentraciones de magnesio en la cuenca Río Grande, Comitán	87

INDICE DE TABLAS

PÁG.

Tabla 1. Clasificación de las Cuencas de acuerdo a sus dimensiones. Tomado de Arellano M., 2005	15
Tabla 2. Resultados de análisis físicos de muestras de agua tomadas en la zona de estudio	48
Tabla 3. Resultados de los análisis químicos del agua en los puntos muestreados	48
Tabla 4. Análisis químico del agua en el municipio Comitán	57
Tabla 5. Análisis químico del agua en el municipio La Independencia	58
Tabla 6. Análisis químico del agua en el municipio Las Margaritas	59
Tabla 7. Análisis químico del agua en el municipio Las Cruces	60
Tabla 8. Análisis químico del agua en el municipio La Trinitaria	61
Tabla 9. Análisis químico del agua en el municipio Emiliano Zapata	62
Tabla 10. Análisis químico del agua en el municipio El Triunfo	63
Tabla 11. Análisis químico del agua en Carretera Trinitaria-Palenque	64
Tabla 12. Valores de concentraciones Nitrato-Sulfato	87
Tabla 13. Valores de concentraciones Cloro –Nitrato	88
Tabla 14. Valores de concentraciones Cloro –Sulfato	89

INDICE DE IMÁGENES

PÁG.

Imagen 1. Proceso de formación de la cuenca y zona de recarga. Tomado de Ruiz Meza y Arellano M. CONAGUA, 2007.	14
Imagen 2. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Comitán	57
Imagen 3. Diagramas radiales de concentraciones de iones en La Independencia	58
Imagen 4. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Las Margaritas	59
Imagen 5. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Las Cruces	60
Imagen 6. Diagramas radiales de concentraciones de iones en La Trinitaria	61
Imagen 7. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Emiliano Zapata	62
Imagen 8. Diagramas radiales de concentraciones de iones en El Triunfo	63
Imagen 9. Diagramas radiales de concentraciones de iones en carretera Trinitaria-Palenque	64
Imagen 10. Diagrama de Piper en el área de Comitán	65
Imagen 11. Diagrama de Stiff en el área de Comitán	66
Imagen 12. Diagrama de Piper en el área de La Independencia	66
Imagen 13. Diagrama de Stiff en el área de La Independencia	67

Imagen 14. Diagrama de Piper en el área de Las Margaritas	67
Imagen 15. Diagrama de Stiff en el área de Las Margaritas	68
Imagen 16. Diagrama de Piper en el área de Las Cruces	68
Imagen 17. Diagrama de Stiff en el área de Las Cruces	69
Imagen 18. Diagrama de Piper en el área de La Trinitaria	69
Imagen 19. Diagrama de Stiff en el área de La Trinitaria	70
Imagen 20. Diagrama de Piper en el área Emiliano Zapata	70
Imagen 21. Diagrama de Stiff en el área Emiliano Zapata	71
Imagen 22. Diagrama de Piper en el área de El Triunfo	71
Imagen 23. Diagrama de Stiff en el área de El Triunfo	72
Imagen 24. Diagrama de Piper en el área de Carretera Trinitaria-Palenque	72
Imagen 25. Diagrama de Stiff en el área de Carretera Trinitaria-Palenque	73
Imagen 26. Diagrama de Piper donde se muestran todas las áreas juntas	73

AGRADECIMIENTOS

Dedico esta tesis a mi familia que son el motivo de mi felicidad, a mi hermanito Enrique que es la causa de mis risas y alegrías. Pero especialmente la dedico a mis padres que gracias a sus desvelos, preocupaciones y apoyo contribuyeron con este logro más de mi vida.

*“Andaré por los cerros, selvas y llanos toda la vida arrimándole coplas a tu esperanza,
tierra querida”.*

Atahualpa Yupanquí

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio hidrogeoquímico realizado en la cuenca del Río Grande Comitán, ubicado en el estado de Chiapas.

La contaminación de esta cuenca se debe principalmente a actividades agrícolas, por lo que el agua contiene materiales tóxicos dañinos, lo que a su vez contribuye con el deterioro de la belleza natural de esta área. A pesar de que otros cuerpos de agua se encuentran aledaños a la zona de interés, se cree que específicamente esta cuenca del Río Grande Comitán es una cuenca cerrada, por lo que no contribuye a la contaminación de los demás cuerpos.

La composición de un agua puede contemplarse desde diferentes puntos de vista: químico, físico, bacteriológico, isotópico, etc. Los estudios que se realizaron en el agua de la Cuenca Río Grande tuvieron como objetivo conocer sus propiedades físico-químicas, es decir, color, tipo y cantidad de solutos, Eh, pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígenos disueltos, entre otras. Para ello se recolectaron muestras de agua en diversos sitios de la cuenca para ser analizadas en un laboratorio.

A través de los diagrama de Piper y de Stiff se identificó el tipo de agua de la cuenca y de esa forma se conoció la concentración de algunos cationes y aniones presentes en el agua subterránea. Finalmente con mapas realizados con ArcGis 10.1 y Surfer 10.0 se interpretaron los resultados, con lo que se pudo decir el origen de los diferentes tipos de aguas.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El agua es el principal constituyente de los seres vivos, por ello la necesidad de cuidarla es de suma importancia, sin embargo, su uso tiene muchas aplicaciones y esto dependerá del nivel de calidad que esta tenga. La disponibilidad del agua ha ido decreciendo a través de los años, diversos factores han provocado o puesto en riesgo la calidad de agua aprovechable para uso humano, ganadero, agrícola o industrial. La contaminación del agua, ya sea superficial o subterránea, se ha multiplicado debido a factores como la actividad industrial, minera, petrolera, agroquímica o antrópica.

La hidrogeoquímica resulta ser la encargada de estudiar, investigar y remediar cuerpos de agua contaminados, ya sea de forma biológica, química o antrópica.

En Chiapas se ha generado un deterioro paulatino en sus ecosistemas que se manifiesta en la disminución de la cubierta arbolada, en una acelerada erosión hídrica del suelo, contaminación e inundaciones. El uso reducido de prácticas conservacionistas y el aprovechamiento inadecuado de los recursos naturales también se expresa en pérdida de productividad. De forma general, la inconsciencia en las actividades antropogénicas es el resultado de la mala calidad de agua en el Río Grande Comitán.

La Región Hidrológica Nacional N. 30 Grijalva-Usumacinta forma parte de la subcuenca del Río Grande de Comitán con un área aproximada de 546 km², que a su vez es parte de la cuenca del Río Lacantún (INEGI, 1988; CNA, 2005).

En las cuencas interactúan subsistemas vitales, estos son biofísico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación, entre otros); biológicos, recursos naturales renovables que componen los diferentes ecosistemas terrestres y acuáticos: la flora y la fauna, incluido el ser humano y las especies cultivadas; económicos, formados por las actividades productivas que realizan los grupos sociales: usos del suelo y su nivel de tecnología (agricultura, ganadería, industria, servicios, infraestructura, etc.); y socio-cultural, integrado por elementos demográficos, institucionales, organizacionales, políticos, jurídicos, étnicos, religiosos, etc.

Estos subsistemas están interrelacionados entre sí, al afectarse uno de ellos se produce un desbalance que pone en riesgo el equilibrio del todo el sistema.

Uno de los cuerpos de agua de vital importancia en Comitán debido a problemas de contaminación es el Río Grande, este constituye el río principal de la subcuenca. Aquí son vertidas las aguas negras que se producen en la Ciudad de Comitán de Domínguez, cuya importancia en la industria del turismo es grande debido a que el municipio cuenta con el programa de Pueblo Mágico según la Secretaría de Turismo Federal.

El Río Grande vierte sus aguas en el cuerpo lagunar Tepancuapan ubicado en el municipio de La Trinitaria, al sur de Comitán. Otros cuerpos de agua también importantes dentro del municipio Comitán son Yusnajib, Yalisac y Solferín.

Debido a los problemas de contaminación, la Gerencia Regional Frontera Sur de La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) junto con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el año 2007, impulsaron el proyecto "Proyecto de Transferencia de Tecnologías de Conservación del Suelo y Agua en Microcuencas Rurales", el cual está inscrito el marco del Programa de Manejo del Agua y Preservación de Suelos (MAPS) que la CONAGUA ha estado Instrumentado desde mediados de la década de 1990.

La ubicación de la cuenca Río Grande forma parte de una zona morfológicamente importante; ya que se encuentra entre llanos y lomeríos pertenecientes a la región fisiográfica de la Altiplanicie y la Depresión de Chiapas. Cuenta con un clima cálido, subhúmedo.

Una cuenca hidrográfica puede ser dividida por secciones según criterios de altitud: cuenca alta que corresponde a las áreas montañosas limitadas en su parte superior por las líneas divisorias de aguas; cuenca media, o zonas de pie de monte y valles y, cuenca baja, donde el curso de agua divaga o desaparece como tal. Otro criterio se relaciona con el relieve y la forma del terreno: las partes accidentadas forman las montañas o laderas, las partes onduladas o planas forman los valles y la zona donde fluye el río principal y sus afluentes es el cauce (Faustino y García, 2004).

Otra clasificación de cuenca puede ser de acuerdo a su aporte, por ejemplo, la cuenca vertiente es aquella que da origen a los ríos y puede ser dividida en cuatro partes: i) cuenca alimentadora, el área que recibe el agua de la lluvia y la dirige aguas abajo a

través de la red fluvial hasta el cauce principal; ii) tramo de descarga, en el cual las aguas ya reunidas en un cauce principal bajan con gran velocidad arrastrando los sedimentos provenientes de la cuenca alimentadora; iii) tramo de calma de pendiente suave y flujo lento, es el tramo de sedimentación en el río y el que también forma meandros; iv) desembocadura es la zona de depósito de los sedimentos más finos en el río y que forma deltas o conos de deyección (Levi, citado por Arellano, 1999).

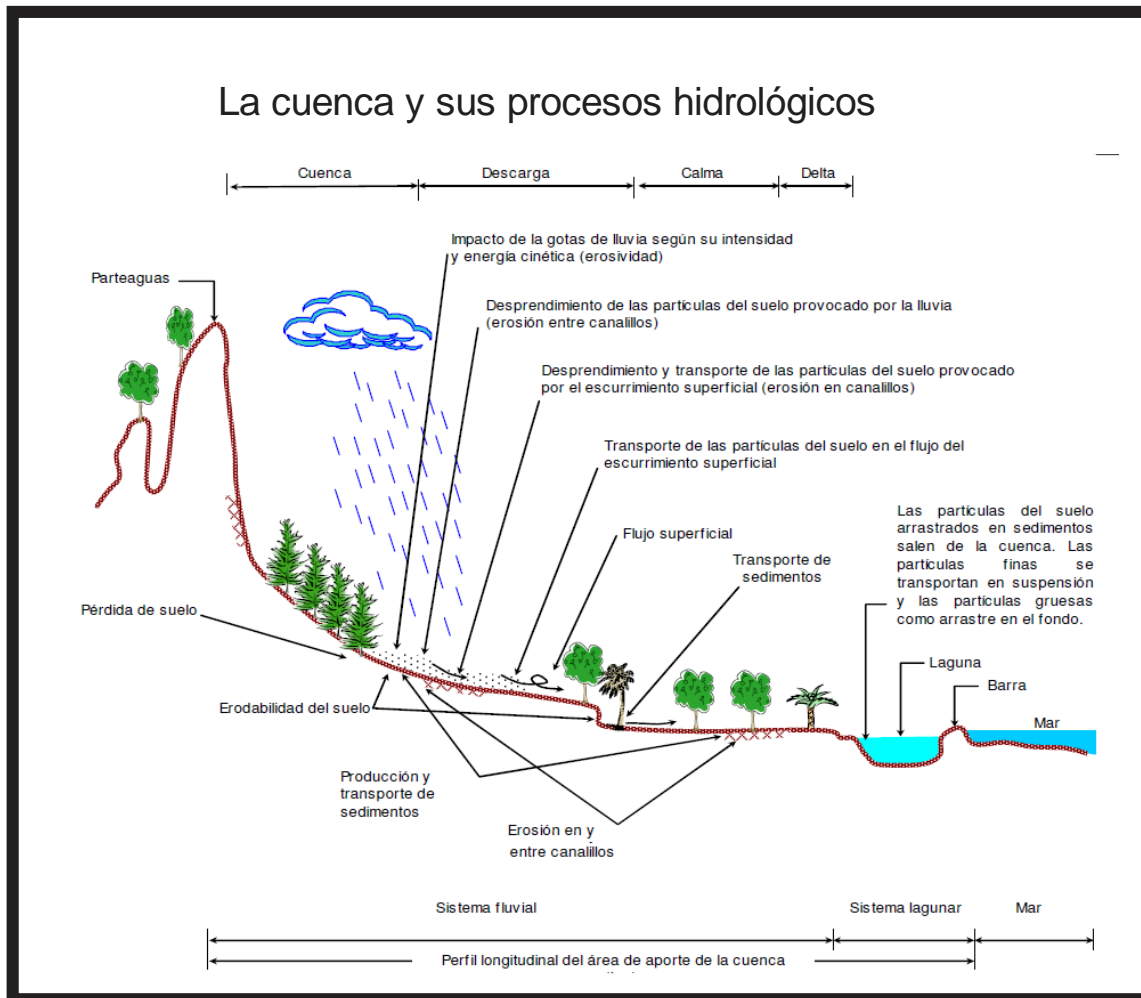


Imagen 1. Proceso de formación de la cuenca y zona de recarga. Tomado de Ruiz Meza y Arellano M. CONAGUA, 2007.

Las cuencas en general son clasificadas de acuerdo a su tamaño y morfología, en la tabla uno se explica detalladamente cada una de sus clasificaciones de acuerdo a estas características.

Categoría	Ámbito	Enfoque	Nivel de estudio	Escala Cartográfica
Grandes cuencas o mesocuenas	Internacional/nacional	Planificación	Nacional	1:1,000,000
Cuencas	Regional/nacional	Planificación/Gestión	Regional	1:250,000
Subcuencas	Regional/estatal	Planificación/Gestión Sistema agrario	Paisaje agrario 4/	1:50,000
Cuencas vertientes	Regional/municipal	Planificación/Gestión Sistema terruño, sistemas sociales de producción	Comunidad local, terruño	1:40,000 a 1:20,000
Microcuencas	Microregional/comunidad	Ejecución. Sistema de producción	Finca, unidad de producción	1:10,000 a 1:5,000
Nanocuencas	Comunitario/parcelario	Ejecución. Sistemas de cultivo y ganado	Parcela, hatos	1:5,000 a 1:1,000

Tabla 1. Clasificación de las Cuencas de acuerdo a sus dimensiones. Tomado de Arellano M., 2005

La cuenca Río Grande se conforma por una cuenca baja y de vertiente; se localiza entre estratos de rocas sedimentarias marinas las cuales están asociadas a dolinas y uvalas debido a su origen kárstico, es decir, a depresiones cerradas de contornos subcirculares y dimensiones variables, formadas debido al derrumbe del techo de las cuevas subterráneas producto de la disolución química de la caliza. El relleno de estos cuerpos fue facilitado debido al nivel del espejo de las aguas freáticas.

En el municipio Comitán habitan diversos grupos étnicos de origen Maya, algunos son los Tojolabales, Tzotziles, Tzeltales, cakchiqueles, estos tres últimos son de origen guatemalteco. De acuerdo a datos de CONAGUA, 2005, las comunidades del sur de Chiapas tienen altos niveles de marginación. Sólo 50 a 75% cuentan con agua potable y menos del 25% cuentan con alcantarillado.

Desde el establecimiento de estas etnias se ha tenido la necesidad de trabajar en la ganadería y agricultura, siendo de gran importancia este último debido a la afectación que los agroquímicos están causando a los cuerpos de agua. Los principales cultivos son: maíz, frijol, calabazas, chilacayote, tomate, chile y café. Este último ha adquirido tal importancia que se ha incrementado su producción, por lo que los cafecultores condujeron a la parcelación de las tierras.

1.1. OBJETIVOS

a) Objetivo general

Analizar parámetros físico-químicos del agua para conocer sus características, composición y tipo de contaminantes que están afectando a la Cuenca Río Grande Comitán o modificando la composición química natural del agua.

b) Objetivo particular

Proponer una solución para abatir la contaminación del agua y mantener la belleza natural en esta región específica de Chiapas, sin dejar de contemplar la problemática social que induce a los lugareños a llevar a cabo la actividad agrícola como parte de sus ingresos económicos.

c) Alcance

Con los muestreos de agua en diferentes zonas de interés y con la interpretación de cada uno de los resultados obtenidos mediante el apoyo de diagramas de Piper y Stiff, se contará con los tipos de aguas pertenecientes a la cuenca Río Grande Comitán, así como los medios responsables de su composición.

1.2. MÉTODO DE TRABAJO

a) Recopilación de información

Durante los días 23 al 31 de Julio del 2013, se recolectaron muestras de pozos, manantiales, norias, lagunas y todos los aprovechamientos de aguas disponibles, ubicados dentro de los municipios de Comitán, Las Margaritas, Las Cruces, La Independencia, El Triunfo, Emiliano Zapata y La Trinitaria. Algunos parámetros como son Ph, oxígenos disueltos y temperatura fueron tomados de manera in-situ.

El trabajo consistió en tomar muestras de agua simple, es decir, muestras tomadas en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual. Cada una de las muestras se georeferenció con ayuda de un GPS para después ubicarlo dentro de un mapa, además se registró el tipo de fuente de cada una de las muestras tomadas.

El equipo utilizado fueron botellas, en ellas se depositó la muestra de agua que posteriormente se envió al laboratorio del Instituto de Geología. Cada botella se etiquetó para su fácil reconocimiento.

Su almacenamiento fue en condiciones refrigerantes en torno a 4° C para no alterar las condiciones naturales. Se siguieron los protocolos de conservación de agua dados por la EPA.

b) Actividades de campo

En el campo se tuvieron que buscar fuentes de aporte de agua donde se pudieran recolectar muestras. La problemática como en muchos casos de trabajo de campo son la búsqueda de los permisos para entrar a lugares privados.

Una vez identificado la fuente de aporte se realizaron la colecta de muestras y la georreferenciación.

c) Actividades de Gabinete

Cuando se han obtenido los datos de laboratorio con las concentraciones de aniones y cationes se llevaron a cabo las operaciones necesarias para obtener la molaridad y los miliequivalente para poder realizar el diagrama de Piper-Hill-Langelier.

El diagrama de Piper consiste en dos zonas triangulares que representan, por separado, aniones y cationes y, otra romboidal, donde se refleja un tercer punto deducido de los que representan a los iones. En el triángulo de cationes se representan los porcentajes de equivalentes de calcio, de magnesio y de sodio más potasio respecto al total de equivalentes de cationes. En el de aniones, los porcentajes de equivalentes de sulfatos, de cloruros y de bicarbonatos más carbonatos respecto al total de aniones. Mediante estos parámetros se puede deducir el tipo de agua que se tiene.

También se crearon diagramas de Stiff con ayuda del software AquaChem 4.0 y mapas con Surfer 10. Esto para conocer el tipo y nivel de concentración de los iones y así poder hacer un análisis de su distribución y origen de acuerdo a la litología local con la que el agua interactúa o zonas conocida como agricultoras y que pudieran cambiar la composición química del agua.

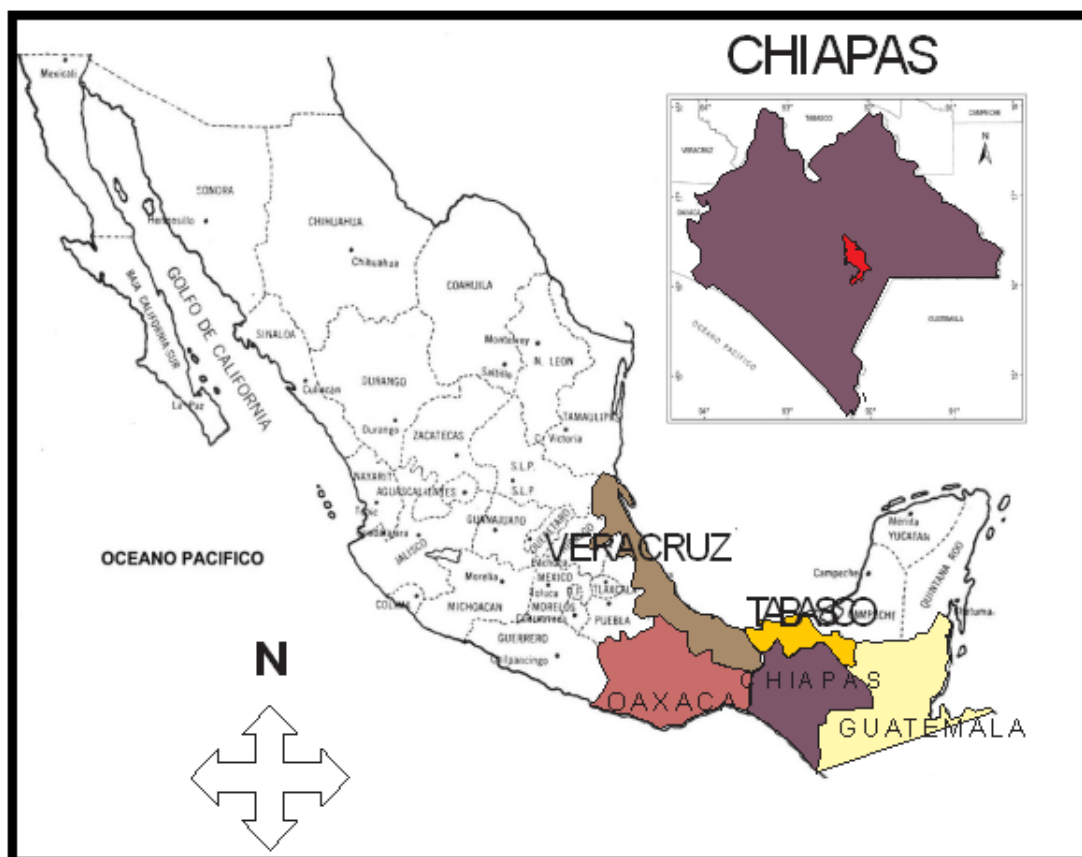
CAPÍTULO 2

GEOGRAFÍA

2.1 Localización y descripción del área de estudio

El estado de Chiapas se encuentra ubicado en el sureste de México, colinda con los estados de Tabasco hacia el norte, Veracruz y Oaxaca hacia el oeste y con Guatemala hacia el Sur (mapa 1). Geográficamente podemos decir que se localiza entre las coordenadas: al norte $17^{\circ}59'$, al sur $14^{\circ}32'$ de latitud norte; al este $90^{\circ}22'$, al oeste $94^{\circ}14'$ de longitud oeste.

El estado de Chiapas representa uno de los estados más importantes en el país en generación de energía eléctrica, aproximadamente el 70% de la electricidad consumida y requerida en el país procede de plantas hidroeléctricas localizadas en Chiapas (Castro-Mora, Ortiz-Hernández; 2000).



MAPA 1. Localización geográfica del estado de Chiapas y de la población de Comitán

El área específica de interés se sitúa en el municipio de Comitán, hacia el sur del estado de Chiapas, con tan solo 163 km de distancia con la capital, Tuxtla Gutiérrez, y 90 km hacia la frontera con Guatemala. Su extensión territorial es de 50,000 km². Limita al norte con los municipios de Amatenango del Valle y de Chanal, al este con Las Margaritas y La Independencia, al sur con La Trinitaria y Tzimol y al oeste con Socoltenango y Las Rosas.

El área de estudio en este municipio se sitúa en la cuenca de Rio Grande, cuyo cuerpo de agua se ubica en la parte alta de la cuenca Lagunas de Montebello y tiene una área aproximada de 12,426 ha. Se localiza entre las coordenadas: 590000 y 607000 longitud oeste; 1810000 y 1782500 latitud norte (mapa 2).

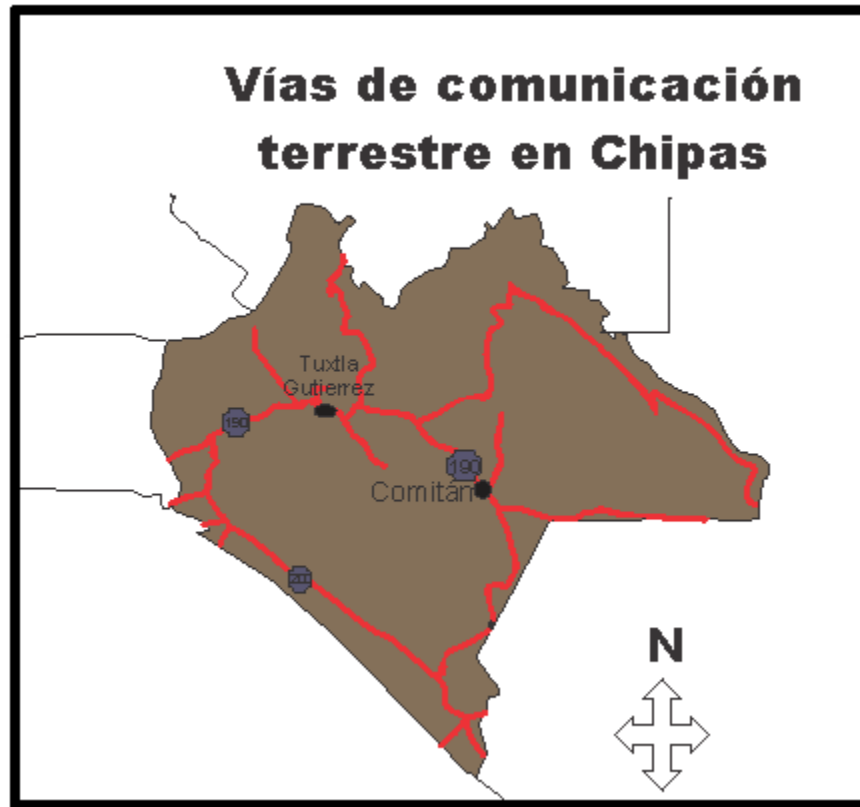
La cuenca puede ubicarse dentro de las cartas Geológico-Minera Tuxtla Gutiérrez (E15-11 INEGI, 1997) y Las Margaritas (E15-12 D15-3 INEGI, 1997), en escala 1:250 000 del INEGI.



Mapa 2. Mapa de localización del Río Grande

2.2 Vías de comunicación y acceso

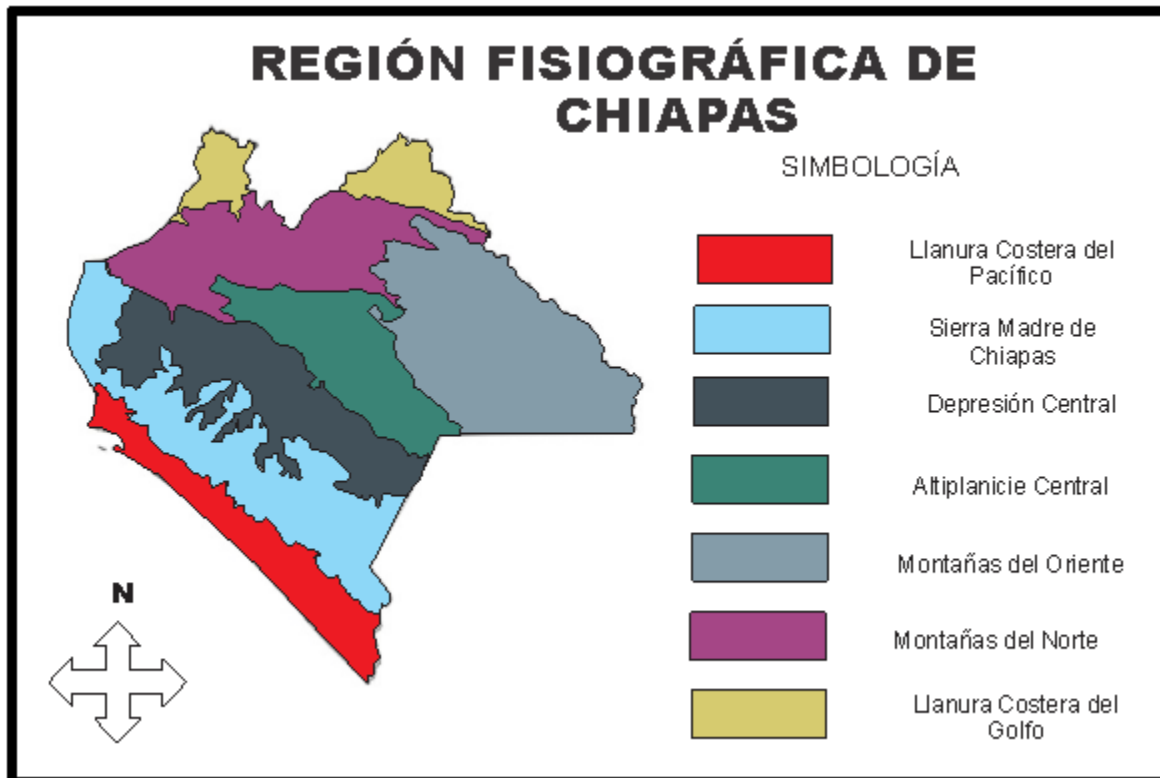
El acceso del área se efectúa por la Carretera Panamericana 190 (mapa 3). Dentro del municipio existe una red de carreteras que conforman 325.9 km de longitud total, de acuerdo a estudios de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2000).



Mapa 3. Carreteras principales del estado de Chiapas. Tomado de la SCT, 2000

2.3 Orografía

Chiapas cuenta con una fisiografía muy amplia, consta de la Planicie Costera del Pacífico, la Sierra Madre, la Depresión de Chiapas, la Altiplanicie, las Montañas del Oriente, las Montañas del Norte y la Planicie Costera del Golfo, como se muestra en el mapa 4.



Mapa 4. Fisiografía del estado de Chiapas que cuenta con siete regiones, modificado de Mullerried, 1975

En general, cuenta con una gran variedad de formas, como son planos, planicies, lomas, cerros pequeños, mesas, serranías y sierras, y entre ellas, valles y cañones.

El municipio de Comitán está localizado en la región fisiográfica de la Altiplanicie. Esta región tiene una dirección noroeste-sureste, cuenta con 160 km de longitud, 75 km de anchura y una superficie total de 11, 000 km² aproximadamente (Mullerried, 1957).

Dentro de la región de la Altiplanicie Central podemos ver elevaciones diferentes, sobresalen cerros, serranías, etc., con niveles considerables, como ejemplo, el cerro Zntehuitz con 2, 860 msnm y Hueytepec con 2, 660 msnm, cerca de San Cristóbal Las Casas, conformando las alturas más altas de la región. Las zonas con altitudes más bajas se ubican al norte, por ejemplo, en Tuxtla Gutiérrez (en la parte norte) es de 1, 000 msnm; al oriente de Soyaló y de Chiapa de Corzo es de 1, 500 msnm; en observadas en Teopisca y Amatenango de 1, 900 msnm; mientras que para Comitán es de 1, 000 a 1, 5000 msnm. Esta gran variedad de alturas son consecuencia de afloramientos de terrenos al emerger del fondo del mar (Mullerried, 1957).

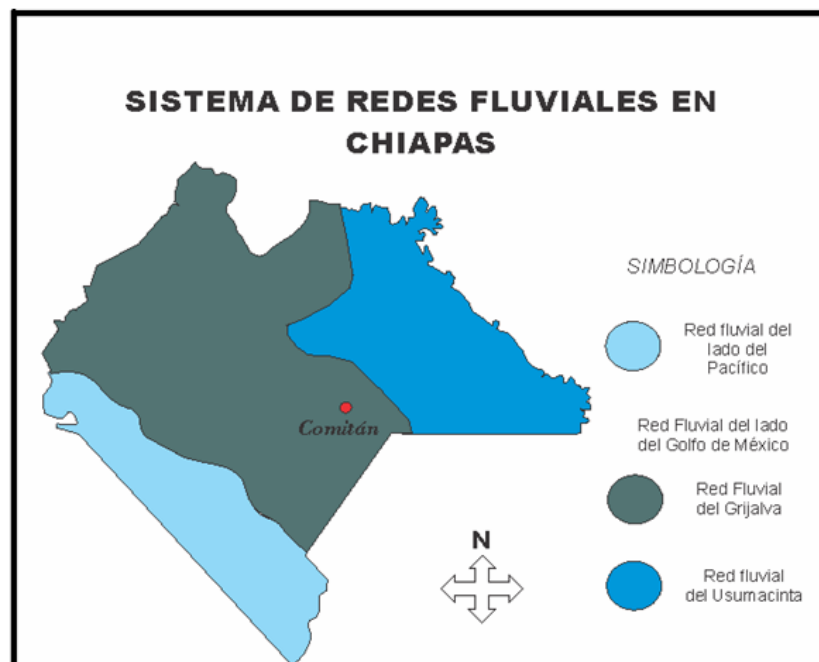
2.4 Hidrografía

Debido a las condiciones climáticas y a la topografía tan marcada en el estado de Chiapas, podemos notar la presencia de diferentes cuerpos de agua, como ríos, lagos, lagunas, esteros, etc. Al irse agrupando los ríos y arroyos, ayudados por la topografía, se va generando la red fluvial, esta finaliza al desembocar al mar.

El estado de Chiapas cuenta con dos redes fluviales muy extensas: la del Río Grijalva en el suroeste y la del Usumacinta en el oriente de Chiapas. Estas a su vez conforman la gran red fluvial del Golfo, la cual es más extensa que la red del Pacífico (mapa 5). La región de la Altiplanicie de Chiapas se ubica dentro de la red fluvial del Grijalva, dicha red atraviesa también las regiones de la Depresión de Chiapas, el Occidente de las Montañas del Norte y la Planicie Costera (Mullerried, 1957).

El estado de Chiapas es la entidad con recursos hidrológicos más grandes en el país de acuerdo a INEGI, 1995. En este territorio podemos encontrar algunos de los ríos más grandes de México.

Las principales regiones hidrológicas localizadas en el estado de Chiapas controlan el modelo de drenaje de los ríos más importantes y del flujo de la entidad.



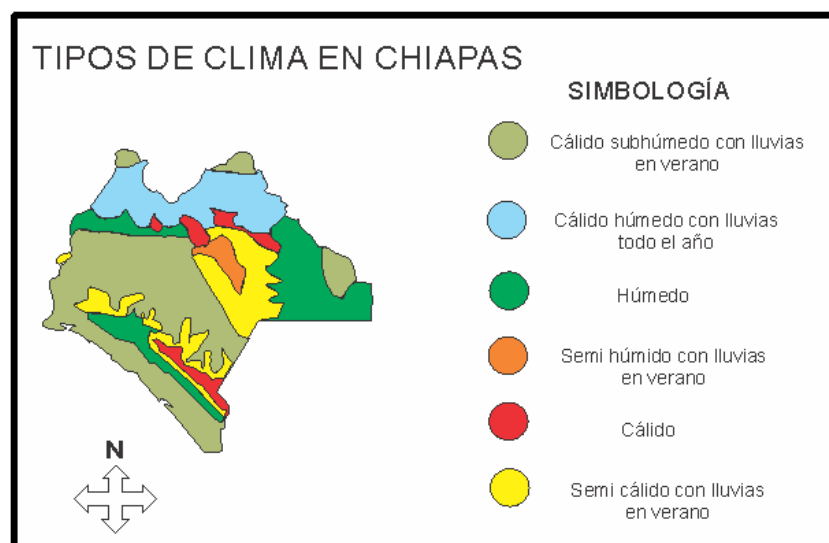
Mapa 5. Croquis de las Redes Fluviales de Chiapas. Modificado de Mullerried, 1957

Los ríos y arroyos ubicados dentro de la altiplanicie de Chiapas drenan hacia el sureste para unirse con el Río Grijalva y algunos otros hacia el oriente y norte desembocando en el Río Usumacinta. Además existen otros tipos de cuerpos de agua como los lagos ubicados en el sureste, noroeste y al sureste de Comitán, estos cuentan con poca extensión pero gran profundidad. Al noroeste de Comitán encontramos los lagos Yalzi y las Minas y más al sureste, entre Tepancuapan y la colonia Tziscoa están los lagos de Tepancuapan, Montebello y Tziscoa. Casi al oriente de Comitán, ya en la región de las Montañas del oriente se encuentran el Lago Lacandón o Marimar, el Lago Lacanjá, la Laguna de Santa Clara o de Anaité (Mullerried, 1957).

2.5 Clima

Debido a la gran variedad en geomorfología y por tanto en altitudes, Chiapas cuenta con un clima no uniforme; el clima cálido está ubicado en altitudes bajas y disminuye conforme incrementa la altura topográfica.

La Sierra Madre sirve como barrera para el paso del agua proveniente del pacífico, por lo que en la región de la Depresión, tenemos un clima semiseco. Por otro lado, los vientos provenientes de la parte norte, durante los meses de Octubre a Marzo, dan cierta humedad en la región central del Estado. En general, el estado de Chiapas podemos encontrar una gran diversidad en cuestiones climáticas, por ejemplo, tenemos climas muy húmedos, húmedos (lluviosos), tropical bastante húmedo (lluvioso), cálido, semiseco, seco (en inviernos y primaveras), templado moderado, semicálido a templado, entre otros. Ver mapa 6.



Mapa 6. Distribución de los tipos de climas en el estado de Chiapas

En el territorio de Río Grande tenemos un tipo de clima templado subhúmedo con lluvias de verano, con precipitación media de 1,052 mm y un índice P/T entre 43.2 y 55 con porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2%. La temperatura promedio es de 19.1°C, presenta pocas variaciones con valores entre 16.8° C en enero y 21.2° C en el mes de mayo. (Zamora, S. C., 2006).

2.6 Población y cultura

El poblado fue fundado por un grupo de indígenas Tzeltales, en 1486 los aztecas le cambian el nombre a Comitán. Su nombre prehispánico fue Balún Canán que significa "lugar de las nueve estrellas".

De acuerdo con estudios del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Consejo Nacional de Población (CONAPO) en el 2010, el municipio de Comitán contó con una población total de 141 013 habitantes; de estos, el 48% son hombres y 52% mujeres. De la población total, el 69.17% viven en zona urbana y 30.83% en zona rural. La religión que mayormente se ejerce es la católica.

En este municipio existe un gran porcentaje (87.9%) de personas que hablan español, sin embargo, muchos de ellos aún conservan su lengua. Las lenguas indígenas habladas en Comitán son Tzeltal, Tzoltzil, Chol, Zoque, Tojolabal, Mame, Kanjobal, entre otras con menor porcentaje. Las lenguas Tzeltal y Tojolabal son las lenguas más habladas con 34.67% y 46.96% respectivamente.

De acuerdo con cifras de la Secretaría de Educación del Estado, existe un porcentaje muy bajo de personas que cuentan con educación en este municipio; el índice de analfabetismo es de 17.58% para el año 2000.

El Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, en el 2011, dice que el municipio cuenta con tan solo 1.24% de bibliotecas públicas, 2.53% en unidades deportivas, 2.74% en auditorios de usos múltiples, 2.70% en casas de cultura, 25% en teatros y 6.33% en eventos culturales (datos comparados a nivel estatal).

El municipio cuenta con una tasa de mortalidad general baja de 5.26% y una tasa de mortalidad infantil de 34.26% (Instituto de Salud del Estado, 2010).

Además existe un alto porcentaje de Población Económicamente Activa (PEA). Su base de ingresos se debe a la actividad agrícola, ganadera y pesquera; dentro de la

actividad agrícola podemos decir que sus principales productos son maíz, frijol, tomate rojo (jitomate), chile verde, etcétera. Además de estas actividades, también se encuentra el turismo, el cual juega un papel muy importante en el área económica, esto debido a las zonas arqueológicas con las que cuenta el municipio (INEGI, 2010). El 9 de Octubre del año 2012 se declaró a este lugar como Pueblo Mágico.

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA

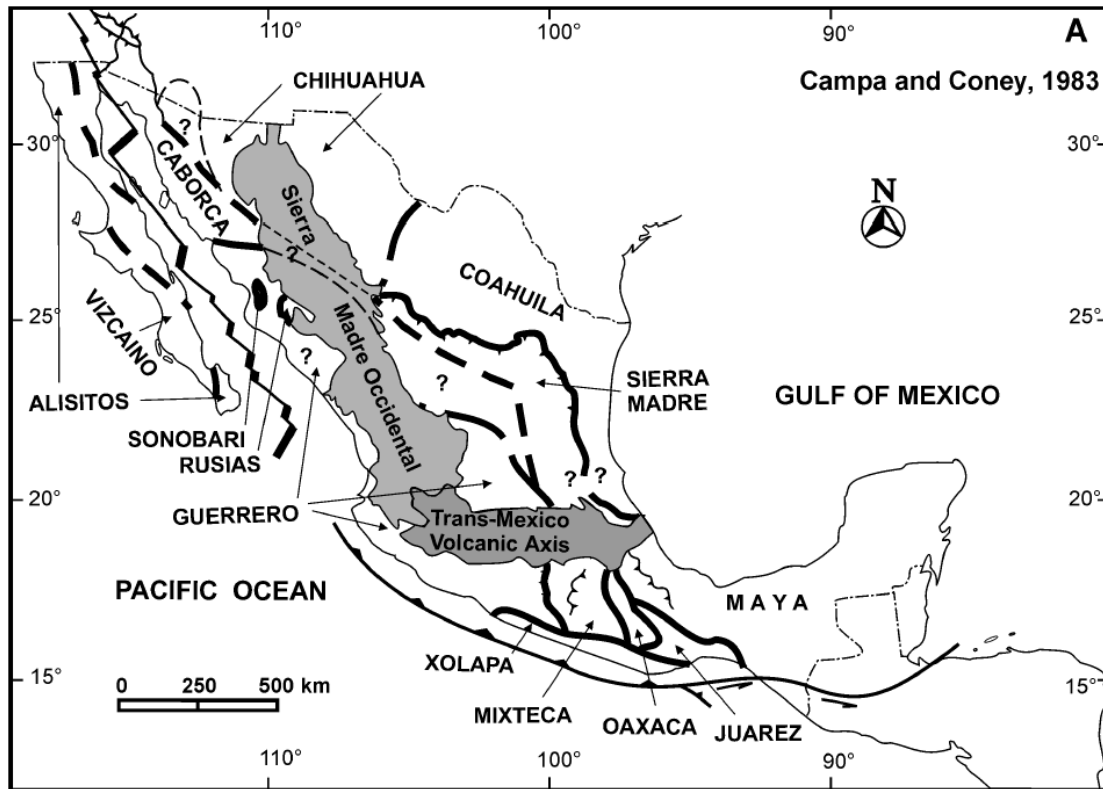
3.1 Terrenos Tectonoestratigráficos

La República Mexicana está compuesta por diferentes terrenos con características estratigráficas y tectónicas particulares. Debido a ello, Campa y Coney (1983) propusieron subdividirla asignándoles diferentes nombres, surgiendo así el Terreno Maya, Bloque Chortís, Juárez-Cuicateco, Mixteco, Zapoteco y Xolapa-Chatino (Mapa 8).

Un terreno estratigráfico puede definirse como un bloque limitado por mega fallas, presenta una estratigrafía y una evolución geológica independiente, diferente a los bloques adyacentes, frecuentemente se trata de un fragmento de otro continente o un micro continente diferente ("Terreno exótico o alóctono") (Coney et al., 1980).

El terreno Maya (Campa y Coney, 1983; Sedlock et al., 1993) o Bloque Maya (Dengo, 1969) es un bloque cortical que comprende la Península de Yucatán, parte de la planicie costera del Golfo de México, Chiapas, Guatemala y Belice.

Dentro del Terreno Maya, la parte que corresponde al estado de Chiapas tiene como basamento a rocas metamórficas de edad Paleozoica que pertenecen al Grupo Chuacús, sobre el cual descansa toda la columna de rocas mesozoicas y rocas suprayacentes de edad cenozoica; las fallas que delimitan a este terreno en su extremo meridional corresponden al sistema de fallas laterales Polochic-Mapastepec (Jesús Castro-Mora, 1985).



Mapa 6. Límites de los Terrenos tectonoestratigráficos de México (Campa y Coney, 1983)

3.2 Geología Regional

La geología del estado de Chiapas está constituida por diversas litologías complejas con variaciones de espacio y tiempo caracterizadas por su distribución, las cuales cubren un rango que va desde el Paleozoico hasta el Holoceno.

El estado de Chiapas cuenta con una amplia secuencia de rocas sedimentarias marinas de edades del Mesozoico y Cenozoico, con estructuras plegadas y afalladas. Dicha secuencia se encuentra sobreyaciendo un complejo batolítico y metamórfico de edades del Precámbrico y Paleozoico; estas constituyen el núcleo de la Sierra Soconusco.

El Precámbrico consta de rocas metamórficas las cuales se originaron con los esfuerzos ejercidos a los estratos marinos, así surgieron rocas como esquistos y pizarras cristalinas, con minerales de cuarzo, feldespato y mica; los tipos de esquistos reconocidos en Chiapas son gneis, micacitas (micapizarras) y filitas. También existen rocas ígneas intrusivas, principalmente granitos con cuarzo, feldespato y mica. Estas secuencias de rocas afloran en casi toda la región fisiográfica de la Sierra Madre (excepto en los poblados de La Concordia, Cashú y Motozintla), en pequeños cerros de la parte noroeste

de la Planicie Costera del Pacífico y en algunas partes de la Depresión al pie noreste de la Sierra Madre (Mullerried, 1957).

El Paleozoico contiene una litología variada, en él observamos rocas ígneas intrusivas (granitos y dioritas), rocas metamórficas (diferenciadas de las Precámbricas debido a que éstas solo se encuentran laminadas y no plegadas), calizas semimetamórficas, rocas volcánicas del tipo de las porfiritas que corresponden al Paleozoico superior y estratos de rocas no alteradas (metamorfoseadas) que incluyen fósiles marinos. Existen afloramientos visibles en las regiones de la Planicie Costera del Golfo de México (en la porción noroeste), en la Sierra Madre y en las montañas situadas al noroeste de Cintapala. Los fósiles encontrados correspondientes a esta era, específicamente al Pérmico medio, son de tamaño reducido o microscópico y consisten de foraminíferos, corales, crinoides, briozoarios y braquiópodos, vermes, bivalvos, gasterópodos y amonites (Mullerried, op cit).

Existen rocas sedimentarias aflorando al sureste de la Sierra Soconusco del Paleozoico superior, esta secuencia se extiende hasta Guatemala (Hernández-García, 1973).

La base de la secuencias de rocas en éste estado la identificamos en la formación Santa Rosa, específicamente en la región de la Sierra de Chiapas, de edad Misipico-Pensilvánico, la cual está parcialmente metamorfizada. Consta de una secuencia de pizarras e intercalación de metacuarcitas en el miembro inferior y posteriormente pizarras, areniscas y capas de caliza fosilífera en la parte superior (Hernández-García, 1973).

Sobre la formación Santa Rosa se encuentra la formación Grupera, las cuales mantienen un contacto discordante. Su litología consta de lutita y caliza con contenido fósil, específicamente fusulínidos (Gutiérrez, 1956).

A la formación Grupera le sobreyacen rocas carbonatadas con contenido de crinoides, braquiópodos y fusulínidos, denominada "caliza vainilla". Posteriormente se encuentra la formación Paso Hondo cuya edad corresponde al Pérmico y consta de rocas calizas de tipo masivas con fusulínidos (Gutiérrez-Gil, 1956).

Las rocas de la era Mesozoica contienen paquetes sedimentarios de gran extensión y espesor, con contenido fósil abundante tanto marino como continental. Su extensión puede observarse sobre la superficie y en capas de estratos debajo de otras más

recientes, se localizan en gran parte de Chiapas, en las regiones de las dos Planicies Costeras, las Montañas del Norte, las Montañas del Oriente, la Altiplanicie, la Depresión y la Sierra Madre (situada al noreste de Motozintla). Esta serie de estratos Mesozoicos se divide en dos. La división inferior que consta de areniscas, conglomerados y lutitas con escasos fósiles de tipo continental y la superior formada de lutitas, areniscas, conglomerados, calizas y calizas arenosas con abundantes fósiles de tipo marino. Dentro de la serie inferior de estratos se han encontrado capas o bancos de restos vegetales terrestres, como ramas y hojas carbonizadas y trozos de madera silicificada; en la serie superior los fósiles marinos de tamaño microscópico o pequeño y constan de bivalvos, gasterópodos, braquiópodos y foraminíferos que pertenecen a la región de San Ricardo, al sureste de Cintalapa, corresponden al Cretácico medio. Los fósiles encontrados en estratos del Cretácico superior son foraminíferos, espongiarios y corales, erizos (equinoides), briozoarios, bivalvos y paquidontos, gasterópodos, amonites, algunos vertebrados, sobre todo peces y reptiles, restos vegetales, principalmente algas calcáreas (Mullerried, op cit).

En la región geográfica de Chiapas aflora la formación Todos los Santos, manifiesta una secuencia continental de arenisca, conglomerado, limolita y lutita de color rojo. La edad de esta formación de acuerdo a investigaciones de varios autores corresponde al intervalo del Triásico al Jurásico (Mulleried, 1957; Gutierrez, 1956; Castro, et al., 1975; Lopez Ramos, 1979. Cit. en Morán Zenteno, 1984).

Sobre la formación Todos los Santos se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Jurásico Superior, éstas se pueden observar en la parte central de Chiapas. Consta de calizas de facies someras con intercalaciones de sedimentos continentales (Castro et al., 1975).

Al noroeste de Chiapas y este de Veracruz se encuentran sedimentos del cretácico inferior, Neocomoniano, en donde vemos sedimentos de tipo marginal y continental.

De acuerdo con investigaciones de Viniegra (1971) existe una secuencia salina del oxfordiano ocupando la sierra de Chiapas. También se observan sedimentos de carbonatos y anhidritas en la región de Chiapas y en la península de Yucatán.

Richards (1963) denominó a la secuencia Neocomoniano como Formación Ricardo, la cual está integrada por lutitas, areniscas rojas, intercalaciones de calizas, dolomía y algunos horizontes de yeso.

El intervalo Barremiano-Aptiano del periodo cretácico parece estar ausente en la sierra Soconusco, según Castro et al. (1975), lo que apunta a una posible etapa de erosión a finales del Aptiano.

La base del Cretácico superior cuenta con calizas, sobreyaciendo a estas rocas se encuentran las calizas pre-arrecifales y fragmentos de rudistas. El cretácico superior no se ha podido reconocer en áreas de plataforma, debido a la dolomitización ocurrida en el Mesozoico para dicha área (Viniestra, op. cit.).

Finalmente en el Terciario se observa sedimentación terrígena marina producto del levantamiento de la Porción Occidental de México y el plegamiento de la Sierra Madre Oriental (Morán Zenteno, 1984).

Litológicamente la era Cenozoica consta de rocas ígneas intrusivas y extrusivas, rocas metamórficas y estratos marinos continentales. Debido al ascenso del magma y la intrusión de este en los estratos se produjo rocas ígneas, posteriormente el contacto de las rocas intrusivas con estratos anteriores dieron lugar a las rocas metamórficas.

La diferencia de la serie de rocas encontradas en el Mesozoico con respecto a las de esta era, es que en ésta la serie de estratos inferior son marinas y la superior continentales.

Las épocas del Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno inferior y medio, de la era Cenozoica, aflora en el noreste montañoso de Chiapas, en el extremo noreste de la Depresión, algunos lugares de la Altiplanicie, en las Montañas del Oriente y las del Norte y en la Planicie Costera del Golfo pero debajo de otras capas de rocas más recientes. La litología presente en esta serie son lutitas, margas, calizas y calizas margosas, areniscas, y sedimentos intermedios entre las rocas citadas. Los estratos muestran cierta inclinación, no están plegados, sin embargo, en algunas zonas se muestran con ondulaciones. Los fósiles que se han encontrado en estas capas son bastantes y son de tipo invertebrados marinos de las clases siguientes: foraminíferos, corales, erizos (equinoides), briozoarios, bivalvos, gasterópodos y restos de crustáceos, así como restos vertebrados de las clases de los peces, reptiles y mamíferos, además de restos vegetales marinos, específicamente algas calcáreas.

La serie superior que está constituida por estratos continentales, pero también incluye sedimentos lacustres, salobres y fluviales se encuentran ligeramente inclinados; su extensión abarca gran parte del Estado de Chiapas

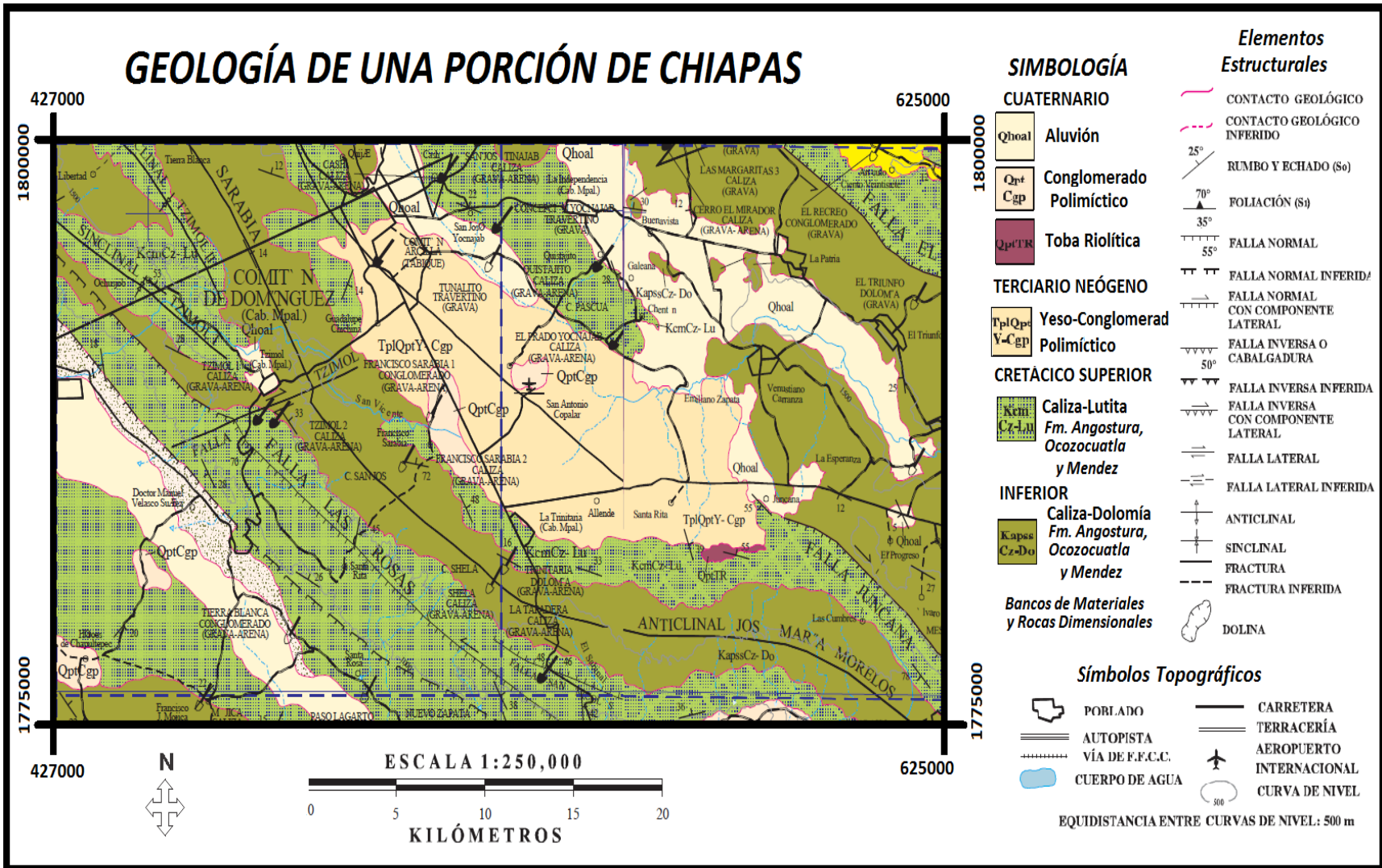
3.3 Geología Local

La altiplanicie de Chiapas se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias en amplios afloramientos cuya edad corresponde al Mesozoico superior y Terciario y Cuaternario. En general consta de estratos marinos con diferentes rumbos y echados a causa de las diversas fallas que atraviesan la región, pertenecen a la Formación Angostura, Ocozocuatla y Mendez. Ver mapa 7.

Es común la presencia de hendiduras o dolinas debido a la erosión mecánica y química en las rocas carbonatadas de la superficie, así como en la zona subterránea.

También existen registros de rocas de origen ígneo en cerros cerca de San Cristobal de las Casas, como el cerro Zontehuitz, Hueytepec, entre otros ubicados en dirección hacia Venustiano Carranza. Litológicamente estos cerros constan de andesita de augita. (Mullerried, 1957).

GEOLOGÍA DE UNA PORCIÓN DE CHIAPAS



Mapa 7. Litolog3a de la parte sur de la Altiplanicie de Chiapas (INEGI, 1997; 2007)

3.4 Fisiografía y geomorfología

La región de estudio se encuentra sobre la meseta central de Chiapas, mostrando niveles topográficos altos hacia los límites con la depresión central y más hacia el centro se observa un conjunto de mesetas de topografía variada que en conjunto forman la altiplanicie total. Se caracteriza por sus altas montañas con elevación promedio de 2000 a 2400 m.s.n.m.

La superficie estudiada y sus alrededores (sur de la meseta central) bien puede ser subdividida en cuatro áreas debido a la pluralidad en morfología observable, estas son:

1) Montañas

Se presentan en las sierras de Comitán, Independencia, Trinitaria y Jalisco. Estas se encuentran paralelas entre sí y con dirección NW-SE en general, con una altura promedio de 250 a 500 m aproximadamente. Su composición litológica es sedimentaria y consta de calizas y dolomías.

Hacia el NW, entre San Cristobal de las Casas y Comitán se encuentra una serranía sedimentaria en donde podemos observar calizas del periodo cretácico, además de algunas extrusiones andesíticas (Eboil M. Aldemar 1982).

2) Lomerios

Estos son montañas de baja altura y con forma redondeada debido a procesos erosivos, se ubican en las áreas de Las Margaritas, La Trinitaria y Los Lagos de Montebello, constituidos por calizas y dolomías en general.

3) Karst

La palabra karst se remonta a los orígenes pre-indioeuropeo (Gams 1973a, 1991a, 2003; Kranjc 2001a), se asemeja a karra/gara que significa piedra y sus derivados son encontrados en muchos lenguajes de Europa y del Medio Este.

El término karst se usa para describir a los paisajes generados a través de erosión química hacia rocas especialmente solubles como la caliza, mármol, yeso, etc. Los parámetros que originan un terreno kárstico están en función del tipo y estructura de la

roca, es decir, la litología, densidad, porosidad, solubilidad, entre otros. La karsticidad puede ser observable en la superficie en forma de poljes, dolinas, lapiazes, o de forma subterránea, como cuevas y conductos kársticos.

En las sierras y lomeríos se presenta una topografía semi-cárstica a cárstica. Desde Montebello hasta el norte de Comitán se aprecia un desarrollo lapiaz (lenar) intenso, dando lugar a formas tales como picos, torres, dolinas y simas (Eboil M. Aldemar 1982).

4) Planicie

Al sureste de Comitán, entre las sierras de Independencia y Trinitaria se observa una zona plana de aproximadamente 40 km de longitud y 11 km de ancho que corresponde a una llanura. Su elevación es de 1500 m.s.n.m. y pertenece a la elevación topográfica más baja del área. Está cubierta de detritos aluviales, arcillo-limosos y arcillo-arenosos.

3.5 Estratigrafía

Como se observa en el mapa 7, la litología presente en el área de estudio va desde el cretácico hasta el cuaternario.

Sistema Cretácico

Este paquete litológico es observable en la Sierra Madre de Chiapas y es parte de la cima del homoclinal de la Sierra.

Sánchez Montes de Oca, 1969, estableció dos formaciones dentro del sistema de acuerdo a sus estudios sedimentológicos y paleontológicos. La Formación Calizas Sierra Madre y la Formación Angostura, la primera corresponde al sistema cretácico inferior y medio y la última al cretácico superior.

- Formación Caliza Sierra Madre:

Existen diferentes nombres para referirse a esta formación. E. Bose, 1905, las denominó como "Calizas Cretácicas"; Gibson, 1936, "Calizas Sierra Madre"; y finalmente "Formación Sierra Madre" para los geólogos de Pemex. (López Ramos, 1980).

Esta formación se encuentra aflorando los núcleos anticlinales y sinclinales de la Meseta Central de Chiapas, así como en el Cañón del Sumidero.

Litológicamente se observan calizas con nódulos de pedernal y microfósiles, además de algunas intercalaciones con calizas dolomitizadas. De acuerdo a sus características litológicas y estratigráficas, se infiere un ambiente de plataforma somera de aguas tranquilas en proceso de subsidencia (Eboil M. A., 1982).

El contacto entre esta Formación y la Formación Angostura es de tipo concordante. Dentro de la Formación Calizas Sierra Madre se puede observar dos subdivisiones: el Miembro Cantela y Cintapala.

- Miembro Cantela

Este miembro fue definido por Gonzales Alvarado en 1963 y corresponde a un cuerpo de dolomías teniendo como localidad tipo El Cañón de Cantelá que se encuentra en las inmediaciones del poblado de Yajalón, Chis. (Sánchez M. de O., 1969).

También se encuentran presentes dentro de la zona de los Lagos de Montebello, con espesores de entre 0.20 a 2.00 m aproximadamente. Tienen un color pardo claro y aspecto sacaroides con una gran porosidad. Area: Comitán-La Trinitaria, Chis. (PEMEX) Z.S. 1966.

Su ambiente de depósito pertenece a un ambiente marino de aguas someras cuya edad corresponde del Barremiano al Albiano Superior. Mantiene un contacto de tipo concordante con el miembro superior.

- Miembro Cintalapa

El nombre de este miembro fue definido por Sánchez Montes de Oca en 1969. Está expuesto al norte de la Ciudad de Cintalapa, Chis. Consta de calizas de tipo mudstone alterno con grainstone de intraclastos, presenta una estratificación bien definida en capas de 0.50 a 1.50 m y ocasionalmente mayores.

Las calizas Cintalapa afloran en ambos flancos del Sinclinal Grijalva y en gran parte de la Meseta Central. Se identificaron tres biozonas: 1) *Dicyclina schlumbergeri*, 2) *Spirolo*

culina sp., y 3) Nummuloculina heimi. Según la fauna encontrada en estos sedimentos, su textura y tipo de estratificación, indica un medio de depósitos de plataforma de aguas tranquilas (Sánchez M. de O., 1969).

Las características físicas de la roca son colores grisáceos claros a pardos con grano grueso en general. De acuerdo a estudios del Instituto Mexicano del Petróleo, esta unidad pertenece al Albiano al Turiniano-Santoniano (Sánchez Montes de Oca, 1973).

- Formación Angostura

El nombre fue propuesto en 1969 por Rafael Sánchez Montes de Oca. La localidad tipo pertenece a una sección expuesta en la Depresión Central del Estado de Chis. El nombre se tomó de la localidad situada al SE de Tuxtla G. en las márgenes del Río Grijalva donde se construyó la Presa Angostura (Sánchez M. de O., 1969).

La litología presente son Calizas con presencia de fósiles. En la parte inferior se encuentran calizas tipo grainstone con bioclastos y bioclastos lixiviados; packstone de intraclastos, fragmentos biógenos y peletoides, packstone de intraclastos y microfósiles bentónicos, en partes se observa dolomitización. La estratificación se presenta en capas de 1.00 a 1.70 m es frecuente observar barrenos biógenos, bioperturbaciones y estratificación gradual. Posteriormente están presentes calizas tipo mudstone biógeno, packstone de microfósiles, lixiviados algunos de ellos, packstone de intraclastos y microfósiles. Ambos tipos de rocas están dolomitizados y muestran bioperturbaciones, barrenos biógenos y estratificación gradual con algunas carpetas de algas, hay buena estratificación en capas de 0.5 a 1.0 m. Y finalmente la parte superior está compuesta por una secuencia de calizas packstone, grainstone, mudstone y wackstone, dolomitizados, con microfauna bentónica y con gran cantidad de carpetas de algas, barrenos biógenos y algunas juntas de desecación. (Eboil M. Aldemar, 1982).

El ambiente de depósito pertenece a una plataforma interna, cerca y en la costa y data del Campaniano-Maestrichtiano. La distribución en general de esta formación es amplia, presentándose sobre todo en la Depresión Central y en la Meseta Central de Chiapas. En el área aflora al Este de Comitán y está constituida por una dolomía de color crema con escasas intercalaciones de lutitas y margas, bien estratificadas al Sur de Trinitaria en capas de 0.50 a 1.80 m de espesor, la caliza del Sur de Trinitaria tiene rudistas y se observan capas de marga hasta de 1m de espesor intercaladas. Aflora también en los flancos del anticlinal Jalisco y en el área de Tzimol, al Suroeste de Comitán.

El espesor total de esta formación es de 800 m aproximadamente (Eboil M. Aldemar, 1982).

El contacto superior, es decir, entre la Formación Angostura y la Formación el Bosque es de tipo discordante erosional.

Sistema Terciario

- Formación el Bosque

Luis Benavides fue el primero en estudiar e identificar esta formación, ubicándola en la edad Eoceno Medio-Tardío en el año de 1948 al Sur de Palenque. Sin embargo, el nombre formacional lo dio Lopez Vega en el año de 1962, en el "Área de Simojovel Chis.". Encontrándose la localidad tipo a 6.5 km, al Sureste de la población El Bosque, sobre el Arroyo Tzizim.

Esta formación aflora al Noroeste de las Margaritas sobre el Sinclinal de la Soledad. Su espesor es variable, y se ha estimado de 600m aproximadamente.

Esta formación se compone de una serie de limolitas, lutitas, areniscas y en ocasiones conglomerados polimícticos.

Las areniscas contienen abundantes fragmentos de rocas riolíticas, cristales de cuarzo y muscovita. Sus estratos varían de 5 a 20 cm de espesor, pero esto cambia ocasionalmente. En algunas partes se observa estratificación cruzada.

Los paquetes de lutitas y limolitas llegan a tener estratos de entre 10 a 40 cm de espesor.

La fracción conglomerática está constituida por clásticos de tamaño de gravas derivadas de rocas ígneas volcánicas ácidas, granitos y gneises con una matriz arcillo-arenosa. Su tamaño varía de 2 a 5 cm de diámetro aproximadamente y su forma es subangulosa a subredondeada.

Este tipo de estratigrafía indica un ambiente transicional que varían desde lagunares, litorales o costeros, cuando los mares indicaban una regresión.

Sistema Cuaternario

- Depósitos Fluviales y de Talud

El cuaternario en el área se caracteriza por aluviones de gravas calcáreas de color claro en los valles y depósitos de arcilla rojiza con gravas de cuarzo en las partes altas. Estos depósitos se consideran de edad del Pleistoceno al Reciente.

Los depósitos de talud son depositados al pie de las elevaciones del terreno. Con frecuencia están cubiertos por gruesas capas de suelo y en los cauces, por los sedimentos fluviales.

3.6 Análisis de los principales rasgos estructurales

El sur de México estuvo expuesto a muchas fuerzas extensivas y comprensivas producto de las etapas de deformación durante la Orogenia Laramídica en el Cenozoico Temprano-Cretácico Tardío que produjo plegamiento con sistemas de fallas laterales y normales, y posteriormente la Orogenia Cascadiana en la que surgieron grandes estructuras a nivel regional, tales como plegamientos y fallas con dirección este-oeste (INEGI, 1985). Algunos tipos de estructuras cercanas al lugar de estudio se mencionan a continuación, fueron tomadas de los trabajos de Mullerried, 1957.

Anticlinal Comitán

Está ubicado al norte de la comunidad de Comitán de Domínguez y tiene una dirección casi N-S con ligera inclinación hacia el oeste. Se encuentra sobre rocas sedimentarias y volcanosedimentarias pertenecientes al Cretácico superior, además está afectado por una falla de tipo lateral denominada como la Falla Yaxha.

Anticlinal Sarabia

Este anticlinal se localiza hacia el oeste del poblado de Comitán y se encuentra sobre rocas mesozoicas de la misma litología que el anticlinal anterior. Su dirección es NW-SE.

Sinclinal Tzimol I y Tzimol II

Estos dos sinclinales están ubicados a un lado del anticlinal Sarabia, hacia el oeste. Sus direcciones son NW-SE y contienen rocas carbonatadas (calizas y dolomías de la formación Angostura) del Cretácico superior, su dimensión es mucho menor que a su anticlinal vecino.

Anticlinal Trinitaria

Este anticlinal mantiene una dirección NW-SE y una litología de sedimentos calcáreos en la parte axial que pertenece a la Formación Sierra Madre (Miembro Cintalapa) del Cretácico Medio y en los flancos afloran estratos de la Formación Angostura del Cretácico Superior.

Tiene un área aproximada de 30 km de largo por 8 km de ancho y posee una forma asimétrica, conteniendo el flanco SW con mayor buzamiento que el flanco NE.

Anticlinal Independencia

Es un anticlinal simétrico con orientación NW-SE, en su extremo SE aflora el Miembro Cantela, mientras que en su extremo NW aflora el Miembro Cintalapa.

Tiene una dimensión aproximada de 30 km de largo por 8 km de ancho y se encuentra afectado por fracturas que lo cortan transversalmente con ángulos de 60°.

Anticlinal Montebello

Es un anticlinal casi simétrico con dirección NW-SE afectado por una falla lateral izquierda que lo corta transversalmente. Sus dimensiones aproximadas son de 45 km de largo por 7 km de ancho.

Dentro de este anticlinal aflora el Miembro Cantela en el extremo SE y el Miembro Cintalapa en el extremo NW.

Sinclinal La Libertad

Este sinclinal de forma casi simétrica tiene dimensiones de 35 km de largo por 7 km de ancho aproximadamente, con una dirección NW-SE.

En el extremo SE aflora el Miembro Cintalapa y en el extremo NW la Formación Angostura del Cretácico Superior, y posiblemente en el núcleo se encuentren sedimentos de la Formación El Bosque, la cual está formada por aluvión.

Anticlinal Jalisco

Este anticlinal es asimétrico con 28 km de largo y 7 km de ancho aproximadamente y dirección NW-SE, su flanco NE tiene un buzamiento más fuerte que el flanco SW.

El núcleo del anticlinal está constituido por calizas y dolomías del Miembro Cintalapa y en los flancos está presente la Formación Angostura con calizas arcillosas del Cretácico Tardío.

Anticlinal La Soledad

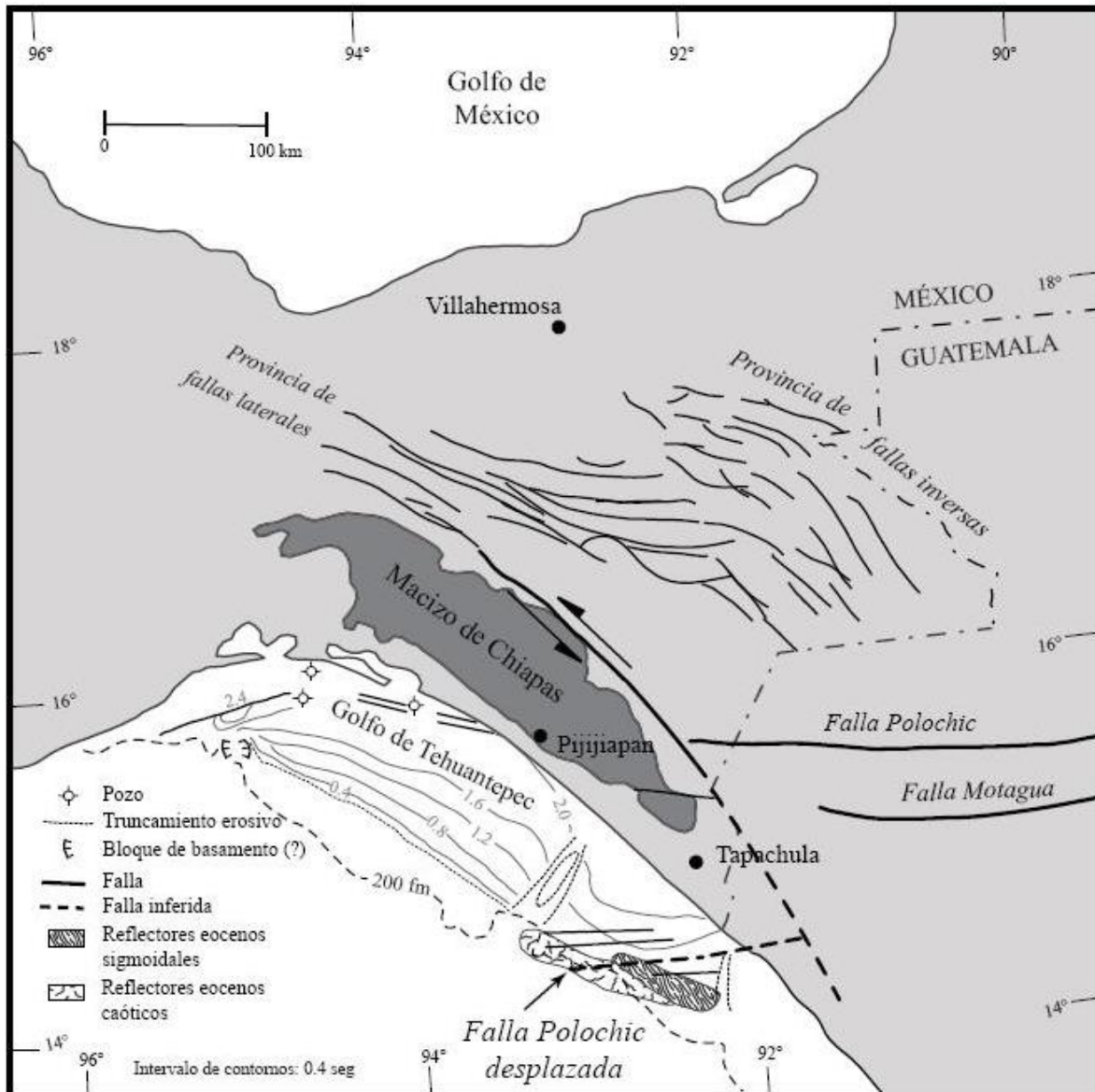
Este es un anticlinal simétrico de dirección NW-SE, con 15 km de largo y 5 km de ancho aproximadamente.

Los flancos están constituidos por las calizas de la Formación Angostura, mientras que en el núcleo se observa una unidad de lutitas, areniscas y conglomerados de la Formación El Bosque.

Los Anticlinales Trinitaria, Independencia, Montebello, La Libertad, Jalisco y La Soledad forman parte de un gran anticlinorio cuyo eje principal tiene rumbo NW-SE y pasa al Este del poblado de Las Margaritas. Las rocas más antiguas que constituyen a esta gran estructura son: las dolomías del Miembro Cantela del Cretácico Medio que aflora en el área de los Lagos de Montebello, las modernas plegadas corresponden a la Formación El

Fallas

De forma regional se observa un sistema de fallas con dirección preferencial NW-SE, las cuales están relacionadas con los eventos laramícos. Sin embargo existen otras fallas de menor magnitud con direcciones NE-SW que se encuentran afectando a la estructura del Anticlinal de Independencia y está relacionada a los movimientos post-orogénicos de la Cascadiana. Además existen fallas de dirección N-S afectando a los anticlinales de Montebello e Independencia.



Mapa 8. Principales rasgos estructurales del Estado de Chiapas (Silva-Romo y Mendoza-Rosales, 2009)

3.7 Geología histórica

La geología histórica es una de las ramas de la geología que se encarga de reconstruir cronológicamente los procesos que ha sufrido la tierra desde su origen hasta la actualidad. Para ello se apoya en estudios y análisis de las rocas, como su posición paleo magnética, la presencia de fósiles para poder inducir una edad, así como la correlación entre estratos y rocas.

La geología histórica de Chiapas es muy interesante debido a los constantes cambios que sufrió el sur de México afectando también al Norte de Guatemala. Mullerried, 1957 y Padilla y Sánchez, 2007, fueron algunos de los que la han estudiado.

Durante la era Precámbrica, es decir, la primer era de la tierra la cual ocupa el 80% de la historia de la Tierra y abarca desde 4.600 m.a hasta 580 m.a. (casi 4.000 m.a.) se originaron rocas que hoy en día forman una parte del Estado de Chiapas. Sin embargo, para esta época Chiapas estaba muy probablemente cubierto por el mar, así el material se fue al fondo y se sedimentó formando las rocas de esta era. Durante los eones Arqueozoico y Proterozoico se pudieron haber formado fósiles en este mar, sin embargo aún no se tienen evidencias de ello ni de la extensión de dicho mar.

A finales de esta era se produjo una orogénesis que dio lugar a la deformación de los estratos marinos formados anteriormente. Estos estratos fueron plegados y metamorfoseados generando zonas débiles por las cuales el magma pudo atravesar y originar rocas volcánicas. La litología formada durante estos procesos fueron esquistos cristalinos variados, tales como gneis, micacitas y filitas, así como otras rocas metamórficas.

Al finalizar este periodo de orogénesis se genera un lapso erosivo en donde cambia la morfología formada durante el Precámbrico, así es como comienza la era Paleozoica. Durante esta era nuevamente las tierras son sumergidas bajo el mar y comienza otro proceso de sedimentación marino incluyendo restos orgánicos. Subsiguientemente se genera otra orogénesis a finales del Paleozoico inferior que hace emerger a las tierras, esta orogénesis causa que el magma vuelva a salir por fallas generadas durante estos esfuerzos y forma rocas volcánicas intrusivas y extrusivas. A finales de dicha era las masas de tierra vuelven a ser sepultadas bajo el mar y esto se confirma mediante la presencia de una cantidad abundante de fósiles en un paquete de calizas sobreyaciendo a un paquete lutítico con escasos fósiles marinos durante el Pérmico medio. Sin embargo las tierras vuelven a emerger por un último proceso orogénico del Paleozoico y nuevamente se forman rocas volcánicas intrusivas, producto del magma que atravesó las zonas de fallas generadas por los esfuerzos acaecidos.

A principios de la era Mesozoica existieron efectos erosivos en la parte suroeste y quizás también en la noreste después de que estas masas emergieran a finales del Paleozoico. En esta porción de tierra se localizaron materia orgánica continental (restos vegetales) que datan del Triásico y Jurásico inferior y medio.

Se han encontrado fósiles marinos cuya edad corresponde al Jurásico superior hasta el Terciario medio, lo que nos indica que después del Mesozoico medio la tierra se hundió quedando cubierta por el mar y así las aguas del Atlántico y el Pacífico estuvieron unidas. La serie de capas marinas alcanzan un espesor aproximado de 3 500 metros y una extensión muy amplia, abarcando las zonas fisiográficas de la Sierra Madre, la Depresión de Chiapas, la Altiplanicie, las Montañas del Oriente, las Montañas del Norte y la Planicie Costera del Pacífico, aunque esta última no se sabe con certeza.

En general los fósiles hallados en los estratos correspondientes al Cretácico inferior constan de foraminíferos, corales y braquiopodos, bastantes erizos, gasterópodos, amonites y bivalvos. En el Cretácico medio y superior existen bivalvos especiales, de valvas desiguales, llamados paquiodontos, además de peces y reptiles (sauros).

Los fósiles marinos pertenecientes al Mesozoico superior indican un cambio de clima en este periodo, puesto que un gran número de paquiodontos y foraminíferos muestran que han vivido en un mar tropical, es decir en una fase nerítica.

Los estratos marinos generados desde el Mesozoico superior hasta el Cretácico inferior y medio se diferencian por el tipo de fósiles encontrados. Los estratos del Terciario carecen de la presencia de amonites y paquiodontos (con excepción del género Chama), sin embargo comienzan a aparecer otro tipo de fósiles como restos de peces (se han hallado dientes y vertebras de tiburones), de reptiles (tortugas) y algas calcáreas; mostrando aún un ambiente de mar tropical. Los fósiles que se siguen manteniendo en esta era son los foraminíferos, corales, equinoides, bivalvos y gasterópodos.

La extensión de estos estratos es visible en la parte noreste de Chiapas (desde el suroeste de Tuxtla Gutiérrez, hasta el río Usumacinta y el límite norte de Chiapas) y en la Planicie Costera del Golfo debajo de capas más recientes. Esto se debe a la existencia de una ligera actividad orogénica en el suroeste de Chiapas a principios del Terciario.

Después del Terciario medio comienza una orogenia de intensa actividad que provoca una serie de fallas y levantamientos de hasta 2 500 metros en los estratos marinos sobre todo en los que están ubicados en la Altiplanicie, además de actividad volcánica. Se generan intrusiones dioríticas, diques y cuerpos volcánicos como el Tacaná, el cerro Zontehuitz, cerca de San Cristóbal de las Casas, el Chichón, el Cerro Baúl, entre otros que muestran una actividad erosiva muy fuerte situados en las Montañas del Norte

(región de San Bartolo Solistahuacán), algunos otros que se encuentran entre San Cristóbal de las Casas y Venustiano Carranza, y cerros volcánicos cercanos a Cintalapa y a Santa Lucía, en la Depresión de Chiapas.

Durante el Mioceno se presenta otra etapa de actividad orogénica, pero esta sólo provoca la formación de montañas en muchas partes de Chiapas, sobre todo en el noreste.

Finalmente en el Plioceno y el Cuaternario se inicia un proceso erosivo, donde la morfología anterior se ve afectada, pero al mismo tiempo se da un proceso de sedimentación variada, lo que origina el paisaje actualmente conocido en el Estado de Chiapas. La sedimentación es notoria en todas las regiones fisiográficas de Chiapas, sin embargo se hacen más frecuentes y extensas en la Depresión y en la Altiplanicie.

Los fósiles encontrados en el Pleistoceno son elefantes, mamutes, milodontos, caballos, gliptodontos y otros mamíferos que ya no existen debido al cambio de clima efectuado a finales de esta época. Se han encontrado además restos de "Homo Sapiens" que corresponden a estratos del Holoceno de Chiapas.

CAPÍTULO 4

Hidrogeología

4.1 Análisis físico-químico de agua en Pozos y manantiales

Una cuenca es una unidad hidrográfica, es decir, es una porción de terreno delimitada por el relieve que la comprende, siendo sus límites las divisorias de aguas, que corresponden a las cimas de las colinas o a las montañas que rodean los terrenos y sus componentes coluvio-aluviales, ladera abajo. Las cuencas son producto de procesos geomorfológicos (Núñez S., 2001).

La Comisión de Derecho Internacional (CDI) definió al acuífero como una formación geológica permeable portadora de agua, sustentada en una capa menos permeable y el agua contenida en la zona saturada de la formación. Los acuíferos están formados entonces por estas dos capas de agua: la confinada y la no confinada. Se forman de manera natural, siendo el agua de lluvia su principal aporte, donde las capas superficiales de la tierra permiten la filtración debido a sus propiedades físicas (porosa y permeable). Esta formación permeable tiene la capacidad de almacenar y transmitir cantidades aprovechables de agua subterránea.

Los censos de pozos, manantiales, norias, y en general, de cualquier aprovechamiento de agua, tienen como principal objetivo conocer los niveles piezómetros (profundidad y elevación), deducir el comportamiento del flujo de agua subterránea, conocer propiedades físico-químicas, y de esa forma generar un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico.

El análisis (censo parcial) hecho en manantiales y pozos en diferentes puntos de la zona de estudio de la cuenca Río Grande Comitán tuvo como objetivo recolectar datos físico-químicos del agua para así conocer sus propiedades tales como, temperatura (T [°C]), conductividad eléctrica (CE [$\mu\text{s}/\text{cm}$]), oxígeno disuelto (OD [ppm]), potencial de hidrogeno (pH), concentración de aniones y cationes (ppm).

Durante los días 23 de Julio al 31 de Julio del 2013 se realizó el estudio para 70 aprovechamientos totales. A continuación se puede ver en la tabla 2 los datos físicos obtenidos para cada muestra, así como la ubicación geográfica respectivamente.

Muestra	Fuente	X	Y	Temperatura (°C)	CE (µs/cm)	OD (ppm)	pH
A-01	Pozo			22.9	1504	6.2	7
A-02	Pozo	594720	1802190	20.4	569	3.8	7
A-03	Pozo	594206	1801068	23.2	597	4	7
A-04	Pozo	594942	1800686	21.6	629	4.4	7
A-05	Pozo	595761	1799496	23	613	6.2	7
A-06	Pozo	595854	1797947	24.1	422	2.2	7
A-07	Pozo			22.9	759	3.2	7
A-08	Noria	596571	1796422	21.4	648	3.2	8
A-09	Pozo	606322	1797057	24	634	7.2	7
A-10	Pozo	607735	1796329	24.1	657	5.8	7
A-11	Pozo			23.1	646	5	7
A-12	Pozo	610688	1796421	23.7	631	5.7	8
A-13	Pozo	606487	1796360	22.3	610	5.1	7
A-14	Pozo	609062	1803823	22.4	731	7.8	7
A-15	Pozo	608094	1804701	22.1	608	2.4	7
A-16	Pozo	610126	1807472	22.9	677	2.6	7
A-17	Pozo	611035	1807445	23.5	642	4.2	7
A-18	Pozo	612202	1805468	22.9	763	4.6	7
A-19	Noria	613682	1803038	20.5	674	6.2	7
A-20	Pozo			21.5	711	4.2	7
A-21	Noria	595978	1790224	23.2	583	1.5	7
A-22	Pozo	595870	1787105	22.6	652	5.3	7
A-23	Noria	595855	1786338	24.1	988	1.6	8
A-24	Noria	599662	1784126	24	348	5.5	8
A-25	Pozo	602981	1784203	23.2	348	1.4	7
A-26	Pozo	601741	1782628	22.1	702	5.7	7
A-27	Pozo						
A-29	Pozo						
A-30	Pozo	604630	1783185	22.8	289	3	7
A-31	Pozo	605351	1782629	23.2	600	5.2	7
A-32	Pozo	607539	1783406	23.1	729	2	7
A-33	Pozo	608997	1783473	22.1	467	1.8	7
A-34	Pozo			22.2	779	1.9	7
A-36	Laguna	591811	1780427	25.3	285		7
A-37	Manantial	591772	1780500	23.7	2.87		7
B-01	Noria	592979	1796102	22.7	820	1.8	8
B-02	Noria	594719	1794958	23	640	1.29	7.7
B-03	Pozo	592291	1794769	24	660	44	7.2
B-04	Noria	593401	1798063	22.4	820		7.4
B-05	Noria	594361	1791104		920	1.22	7.7

Muestra	Fuente	X	Y	Temperatura (°C)	CE (µs/cm)	OD (ppm)	pH
B-06	Noria	595874	1790047	22	240	1.2	7.9
B-07	Noria	594710	1791818	22	390	1.17	8
B-08	Pozo	595984	1790116	23	650	1.72	7.5
B-09	Noria	603807	1789443	23.5	640		7.8
B-10	Noria	603968	1789393	23	700	1.23	7.2
B-11	Noria	603959	1789461	23	510	1.17	7.7
B-12	Noria	597996	1795699	23	480	2.8	8.7
B-13	Pozo	603718	1790191	24	220	2.25	8.2
B-14	Noria	605221	1790996	24	340	2.7	7.6
B-15	Noria	604913	1790412	21	1010	2.7	7.7
B-16	Noria	605022	1791295	23	500	3.3	8
B-17	Pozo	605228	1790097	24	1230	2.9	7.9
B-18	Pozo	609659	1791603	26	320	3.6	8.4
B-19	Noria	614529	1790953	26	850	4.2	6.9
B-20	Noria	615253	1792049	21	490		7.4
B-21	Noria	614980	1792832	22	950		7.2
B-22	Noria						
B-23	Noria	622348	1789124				
B-24	Manantial	640822	1777650	20	350		8.4
B-25	Manantial	590380	1780602				6.8
B-26	Noria	625822	1782612	23	470	4.4	7.3
B-27	Noria	622699	1783288	22.5	290		7.7
B-28	Noria	616295	1784683	22	430		6.85
B-29	Noria	613826	1784749	23	260	3	6.4
B-30	Noria	608366	1784644	20	170		8.9
B-31	Noria	601671	1783652	22	570	6.6	8
B-32	Noria	599673	1784377			26 mg/L	
B-33	Noria	597375	1788302			3.2 m/L	7.8
B-34	Noria	597996	1795699	23	480	2.8	8.7

Tabla 2. Resultados de análisis físicos de muestras de agua tomadas en la zona de estudio

En la tabla siguiente se muestra las concentraciones en partes por millón de algunos aniones y cationes encontrados en las muestras de agua de la zona de importancia.

MUESTRA	Cation					Anión						
	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Br	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
A-01	11.7	0.0	3.0	77.6	36.4	0.0	388.1	3.8	0.0	20.6	0.0	5.8
A-02	12.8	0.0	2.2	70.1	30.0	0.0	390.4	3.7	0.0	12.4	0.0	4.2

MUESTRA	Cation					Anión						
	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
A-03	18.4	0.0	3.6	68.1	31.5	0.0	338.0	2.0	0.0	22.5	0.0	8.4
A-04	13.5	0.0	3.1	69.9	30.9	0.0	354.9	3.4	0.0	30.7	0.0	11.4
A-05	12.0	0.0	3.0	72.4	35.3	0.0	370.2	3.3	0.0	17.1	0.0	3.9
A-06	18.2	0.0	5.3	52.0	46.5	0.0	333.4	7.7	0.0	38.8	0.0	20.9
A-07	15.8	0.0	4.2	54.6	43.0	0.0	374.3	4.7	0.0	32.1	0.0	15.2
A-08	14.2	0.0	5.0	68.6	26.4	0.0	318.6	12.1	0.0	63.2	0.0	18.8
A-09	11.2	0.0	2.6	68.0	37.5	0.0	375.7	2.7	0.0	7.0	0.0	2.0
A-10	11.9	0.0	2.2	62.0	38.2	0.0	340.1	3.5	0.0	25.4	0.0	3.8
A-11	11.2	0.0	4.1	68.6	37.7	0.0	382.8	2.1	0.0	14.9	0.0	2.2
A-12	14.4	0.0	3.5	69.4	34.1	0.0	359.8	3.3	0.0	43.1	0.0	2.1
A-13	11.2	0.0	3.1	64.4	40.7	0.0	428.0	3.4	0.0	40.1	0.0	5.1
A-14	15.2	0.0	4.7	41.4	40.6	0.0	304.2	7.0	0.0	31.9	0.0	12.3
A-15	14.9	0.0	3.6	62.5	30.7	0.0	339.1	3.2	0.0	8.3	0.0	2.1
A-16	11.7	0.0	4.2	72.3	34.9	0.0	411.5	3.6	0.0	6.3	0.0	2.0
A-17	12.8	0.0	3.3	74.2	34.9	0.0	401.5	2.7	0.0	17.5	0.0	3.2
A-18	13.4	0.0	3.6	84.1	41.0	0.0	532.7	4.5	0.0	19.7	0.0	2.1
A-19	11.1	0.0	3.2	70.1	37.5	0.0	378.7	2.0	0.0	4.4	0.0	7.3
A-20	13.2	0.0	3.9	73.4	35.1	0.0	442.8	3.6	0.0	5.8	0.0	2.9
A-21	22.0	0.0	4.8	64.0	8.0	0.0	243.5	5.3	0.0	0.0	0.0	8.0
A-22	16.2	0.0	3.4	58.3	8.0	0.0	175.9	6.2	0.0	42.0	0.0	19.8
A-23	60.6	0.0	9.0	106.9	9.0	0.0	185.2	50.9	0.0	21.8	0.0	146.4
A-24	23.8	0.0	11.2	51.9	3.3	0.0	189.0	3.5	0.0	27.2	0.0	41.1
A-25	20.0	0.0	3.9	58.2	15.0	0.0	303.6	6.8	0.0	0.0	0.0	17.1
A-26	17.6	0.0	4.4	71.8	21.0	0.0	237.1	4.7	0.0	10.9	0.0	138.3
A-27												
A-29												
A-30	16.9	0.0	3.6	53.9	8.0	0.0	204.8	2.8	0.0	8.1	0.0	54.8
A-31	11.8	0.0	3.5	91.9	15.1	0.0	318.3	3.4	0.0	5.2	0.0	28.5
A-32	16.2	0.0	4.9	104.6	6.1	0.0	233.6	3.3	0.0	10.3	0.0	88.9
A-33	16.0	0.0	3.4	61.4	19.9	0.0	321.3	3.1	0.0	0.0	0.0	32.5
A-34	12.2	0.0	2.8	80.7	11.5	0.0	196.6	16.9	0.0	52.8	0.0	29.8
A-36	10.2	0.0	3.1	535.6	103.8	0.0	176.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1563.8
A-37	10.3	0.0	4.3	581.3	106.9	0.0	679.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1508.6
B-01	27.9	0.0	5.0	120.5	20.3	0.0	337.5	22.5	0.0	43.6	0.0	55.8
B-02	16.3	0.0	5.6	66.6	18.4	0.0	235.1	34.2	0.0	0.0	0.0	28.8
B-03	10.3	0.0	2.0	136.8	3.5	0.0	333.8	16.0	0.0	32.6	0.0	15.1
B-04	22.0	0.0	6.8	84.1	21.9	0.0	282.6	25.9	0.0	0.0	0.0	53.0
B-05	63.7	0.0	9.5	117.3	21.4	0.0	200.6	40.9	0.0	50.4	0.0	232.4
B-06	15.3	0.0	5.6	47.7	7.1	0.0	215.0	1.9	0.0	0.0	0.0	3.3

MUESTRA	Cation					Anion						
	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
B-07	17.7	0.0	14.7	56.5	11.3	0.0	245.9	5.4	0.0	0.0	0.0	22.0
B-08	17.2	0.0	3.4	96.4	18.2	0.0	299.5	6.6	0.0	7.2	0.0	57.2
B-09	17.3	0.0	3.3	120.5	15.7	0.0	303.5	5.7	0.0	0.0	0.0	171.2
B-10	17.6	0.0	3.9	105.5	17.8	0.0	202.9	5.0	0.0	26.7	0.0	156.5
B-11	24.5	0.0	4.5	89.9	6.3	0.0	365.4	6.8	0.0	0.0	0.0	41.8
B-12	37.1	0.0	3.6	29.6	35.8	0.0	322.1	4.2	0.0	28.5	0.0	42.2
B-13	14.1	0.0	5.5	40.2	7.9	0.0	211.9	2.8	0.0	10.2	0.0	8.7
B-14	15.1	0.0	4.0	51.8	17.3	0.0	304.1	7.1	0.0	0.0	0.0	6.4
B-15	16.1	0.0	7.0	173.7	30.4	0.0	201.8	8.5	0.0	0.0	0.0	473.5
B-16	23.5	0.0	7.1	54.4	31.5	0.0	312.5	17.6	0.0	0.0	0.0	56.5
B-17	15.3	0.0	2.4	289.1	11.4	0.0	247.3	3.2	0.0	0.0	0.0	675.0
B-18	40.0	0.0	1.7	34.7	10.4	0.0	255.3	2.2	0.0	0.0	0.0	33.7
B-19	39.6	0.0	5.7	90.6	6.7	0.0	187.2	33.7	0.0	124.1	0.0	67.7
B-20	15.3	0.0	5.8	83.7	9.0	0.0	272.8	12.7	0.0	0.0	0.0	60.6
B-21	25.6	0.0	5.7	88.1	26.7	0.0	222.0	4.9	0.0	119.9	0.0	132.3
B-22												
B-23	22.1	0.0	4.3	91.7	9.2	0.0	325.8	5.2	0.0	26.5	0.0	11.9
B-24	9.7	0.0	2.1	54.7	22.0	0.0	351.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.7
B-25	8.3	0.0	2.9	508.6	102.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1520.8
B-26	10.2	0.0	1.9	81.1	4.7	0.0	229.9	0.9	0.0	33.3	0.0	6.9
B-27	9.8	0.0	4.8	70.1	4.3	0.0	198.4	1.4	0.0	65.7	0.0	16.1
B-28	42.0	0.0	5.8	62.4	8.4	0.0	363.1	2.7	0.0	11.5	0.0	7.7
B-29	11.2	0.0	1.9	56.4	5.5	0.0	247.2	4.0	0.0	0.0	0.0	4.4
B-30	22.8	0.0	17.6	11.4	3.8	0.0	116.9	3.1	0.0	3.3	0.0	12.5
B-31	6.3	0.0	2.8	103.3	11.6	0.0	167.1	38.2	3.3	0.0	0.0	165.8
B-32	17.8	0.0	0.6	90.5	19.7	0.0	215.0	43.3	6.8	0.0	0.0	142.9
B-33	7.2	0.0	1.8	94.2	12.5	0.0	317.3	62.1	3.0	0.0	0.0	0.0
B-34												

Tabla 3. Resultados de los análisis químicos del agua en los puntos muestreados

CAPÍTULO 5

Hidrogeoquímica

5.1 Muestreo de agua

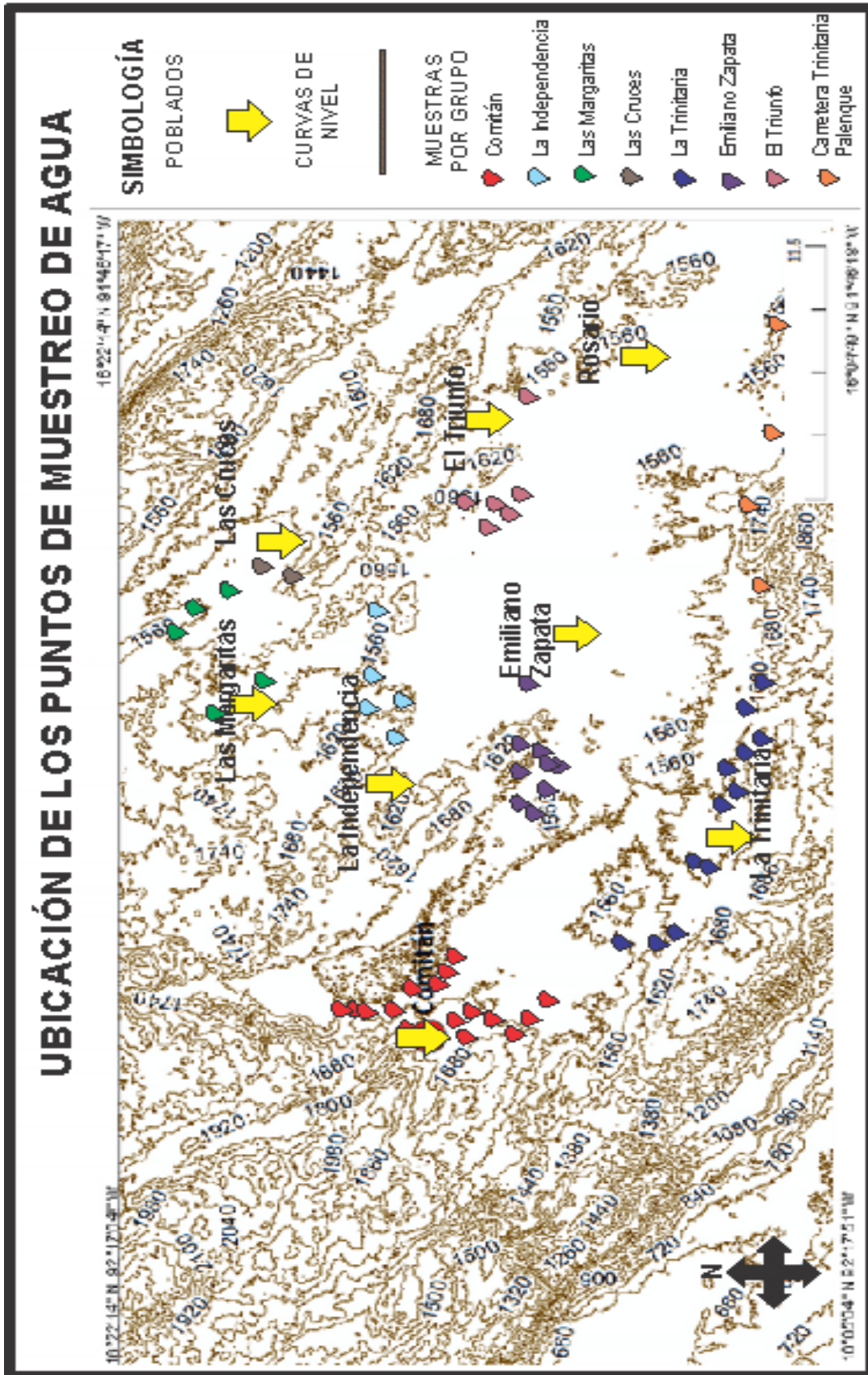
Las muestras de agua fueron tomadas en la zona que abarca los poblados de Comitán, Las Margaritas, Las Cruces, La independencia, El Triunfo, Emiliano Zapata y La Trinitaria. Los cuales forman parte de una cuenca desarrollada por la geomorfología de la zona.

Esta área de muestreo consta de 51.76 km de longitud en dirección norte-sur y 32 km de longitud en dirección este-oeste, el área total aproximada fue de 1,656.32 km².

El mapa 9 representa a un mapa de curvas de nivel, en donde se observa que las alturas de la Cuenca Río Grande Comitán, son relativamente constantes. Dichas curvas tienen una continuidad cada 20 metros. Los niveles más bajos se sitúan en la región fisiográfica de la Depresión de Chiapas, que se ubica al oeste de Comitán y se incrementan hacia la zona de la planicie de Chiapas.

Los mapas de curva de nivel tratan de líneas definidas como sucesiones de pares de coordenadas. Estos mapas se realizan cortando la superficie del terreno mediante un conjunto de planos paralelos entre sí, separados a cierta distancia unos de otros; cada plano corta al terreno formando una figura plana que recibe el nombre de nivel o hisohipsa.

Este mapa realizado con ArcGis 10.1 muestra las ubicaciones de las muestras tomadas, así como los poblados.



Mapa 9. Puntos de muestreo de agua

El pH expresa el grado de acidez o basicidad de las disoluciones acuosas diluidas, éste se mide por la concentración del ión hidrógeno. El químico Danés S. L. P. Stirensen originalmente definió el pH como el logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno, de la siguiente forma:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad \text{o} \quad [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

Los valores de pH están comprendidos en una escala de 0 a 14, el valor medio es 7; el cual corresponde a solución neutra, mientras que los valores que se encuentran por debajo de 7 indican soluciones ácidas y valores por encima de 7 corresponde a soluciones básicas o alcalinas.

Debido a que el pH indica la medida de la concentración del ión hidronio en una solución, se puede afirmar entonces, que a mayor valor del pH, menor concentración de hidrógeno y menor acidez de la solución. (Whitten, Davis, Peck y Stanley, 2008).

El pH registrado en estos análisis muestra un intervalo de 6.4 a 8.9 y un valor modal de 7, es decir con mayor cantidad de agua neutra analizada.

Por regla general el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6.5 y 8, aunque este valor puede variar. El pH juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas naturales (equilibrio carbonatado, procesos rédox, etc.).

La Temperatura (T) se midió en grados Celsius, siendo la máxima de 26 °C y la mínima de 20 °C.

La distribución de los valores de temperatura en el aguas subterránea son relativamente estables, los cambios observables van a depender de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud/profundidad de la cuenca, configuración del nivel freático, distribución de la temperatura ambiente respecto a las zonas de recarga y descarga, etc. Estos cambios ayudan a que determinadas sustancias puedan diluirse o formar moléculas con otros elementos.

Por otro lado, la Conductividad Eléctrica (CE) (la cual se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución para conducir la corriente eléctrica), registra un valor máximo de 1504 y el mínimo de 2.87 $\mu\text{s}/\text{cm}$, además de un valor modal de 348

$\mu\text{S/cm}$. Su unidad de medida son $\mu\text{S/cm}$ (microsiemens/cm) o $\mu\text{mho/cm}$ (micromho/cm), ambas equivalentes.

Valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000 $\mu\text{S/cm}$; en salmueras pueden alcanzar valores de 1 00 000 $\mu\text{S/cm}$.

Los valores de la Conductividad Eléctrica pueden ser tomados en agua impura, con alguna proporción de sales disueltas, y estos dependerán del número de iones presentes y su movilidad; es decir, entre más sales disueltas tenga el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica, sin embargo, cuando el agua se satura de estos iones, la conductividad puede disminuir debido al poco movimiento de ellos en el fluido. Para soluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en 1°C se traduce en un aumento de alrededor del 2% en la conductividad. (Annual Book of Astm Standards, 1994).

Por otro lado, el total de sólidos disueltos (TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua (sustancias orgánicas o inorgánicas), en forma molecular, ionizada o micro-granular, sean o no volátiles. Para considerarse TDS, las sustancias deben ser lo suficientemente pequeñas como para pasar una criba o filtración del tamaño de dos micras.

El Oxígeno Disuelto es la cantidad de este elemento químico presente en el agua, que no se encuentra combinado con el hidrogeno formando moléculas de H_2O . La existencia del OD en el agua es vital para la vida marina, además tiene otras aplicaciones como en el tratamiento de aguas y el análisis de aguas en calderas. Se mide en mg/l (miligramos de oxígeno por litro de agua), en p.p.m. (partes por millón), o bien, p.p.b. (partes por billón) y en % de saturación (relación entre la cantidad de oxígeno disuelta en el agua y la correspondiente a la saturación). Antonio Creús Solé, 2011.

Siendo:

$$\text{Ppm} = \frac{\text{mg}}{\text{l}} * \frac{1}{\text{densidad del agua } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}$$

La cantidad de oxígenos disueltos analizados en la Cuenca de Río Grande oscila entre 44 a 1.17 ppm, y el valor que se repite con frecuencia dentro de la distribución de resultados es de 6.2.

a) Determinación de propiedades químicas de los manantiales

La composición química del agua subterránea nos ayuda a entender el comportamiento hidrogeológico regional, por ello es importante su análisis.

El agua de lluvia, incluso en zonas libres de contaminación, tiene pequeñas cantidades de sustancias disueltas procedentes del polvo atmosférico (cantidades del orden de 0,2-0,4mg/l de cada ión, en ocasiones mayores) (Sanchez S. R., 2012).

La composición química del agua subterránea natural puede ser descrita por medio de muestras colectadas in-situ y posteriormente analizadas en laboratorio. Sus constituyentes son cuantificados a partir de la concentración de cada uno de los constituyentes encontrados. Su composición físico-química y biológica puede sufrir cambios a consecuencia de la interacción con el medio.

El agua subterránea suele considerarse invariable, puede contener más de 60 constituyentes y parámetros diferentes, sin embargo, en un estudio de análisis de agua convencional sólo se determinan entre 10 y 20 parámetros fundamentales. Sus características serán determinadas debido a la interacción entre el agua y el medio.

Freeze y Cherry (1979) han clasificado las concentraciones de elementos presentes en el agua, de acuerdo a su frecuencia de aparición. Estos son:

- Constituyentes mayoritarios o fundamentales

- Aniones: (HCO₃⁻ +CO₄⁻), Cl⁻, SO₄⁼, NO₃⁻
- Cationes: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, NH₄⁺
- Otros: CO₂, O₂, SiO₄H₄ o SiO₂

- Constituyentes minoritarios o secundarios

- Aniones: F⁻, S⁼, SH⁻, Br⁻, I⁻, NO₂⁻, PO₄[≡], BO₃⁻
- Cationes. Mn⁺⁺, Fe⁺⁺, Li⁺, Sr⁺⁺, Zn⁺⁺.

-Constituyentes traza

- Al^{+++} , Ti^{+4} , Co^{++} , Cu^{++} , Pb^{++} , Ni^{++} , Cr^{+++} , etc.

Algunos de estos constituyentes se encuentran de forma iónica en el agua dulce, con menor frecuencia se presentan en forma molecular.

El anhídrido carbónico (CO_2) se produce en la zona edáfica (respiración de organismos y descomposición de la materia orgánica) y por aporte de la disolución de la roca caliza y dolomía, además por la hidrólisis de silicatos. Este componente tiene un papel importante en la química del agua. El CO_2 se disuelve parcialmente en el agua dando como resultado el ácido carbónico (H_2CO_3) que se disocia parcialmente para dar iones carbonato ($CO_3^{=}$) y bicarbonato (HCO_3^{-}).

En cuanto a las propiedades físico-químicas del agua subterránea tales como color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc., se tienen variaciones que van a depender en cuanto el espacio y tiempo.

La Cuenca Río Grande se dividió en ocho grupos de acuerdo al poblado cercano en que se tomaron las muestras de análisis, estos son:

1. Comitán
2. La Independencia
3. Las Margaritas
4. Las Cruces
5. La Trinitaria
6. Emiliano Zapata
7. El Triunfo
8. Carretera Trinitaria-Palenque (Carretera Federal 307)

Los resultados de los análisis de agua de acuerdo a los grupos establecidos se muestran en las tablas 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11. Para cada grupo se realizó un diagrama radial que explica de forma gráfica las composiciones químicas de cada grupo de la cuenca.

HOJA DE ANÁLISIS

Cuenca "Río Grande" Comitán, Chiapas

Grupo 1		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	5018.0	82.26
SO ₄ ²⁻	556.3	11.59
Cl ⁻	194.2	5.47
NO ₃ ⁻	371.2	5.99
Catión	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	307.0	13.35
K ⁺	82.1	2.11
Ca ²⁺	1259.3	62.96
Mg ²⁺	402.1	33.51
NH ₄ ⁺	0	0.00

Fecha: 23 y 24 de Julio del 2013

Tabla 4. Análisis químico del agua en el municipio Comitán

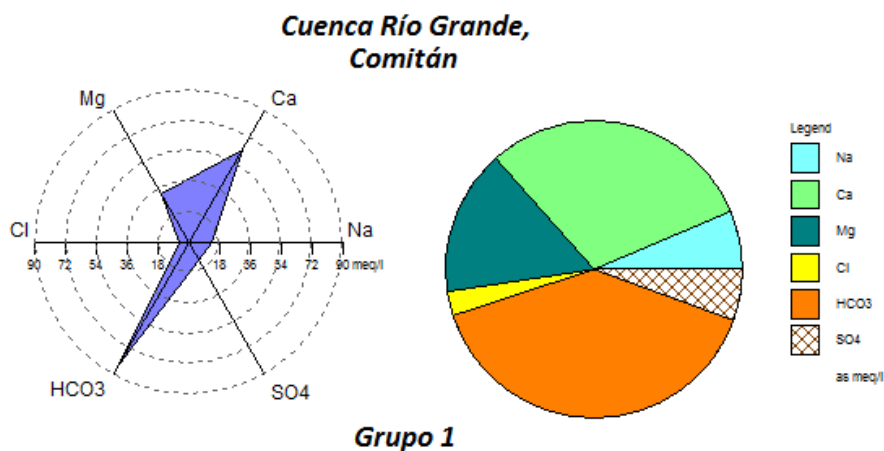


Imagen 2. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Comitán

HOJA DE ANÁLISIS
Cuenca "Río Grande"
Comitán, Chiapas

Grupo 2		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	1886.41	30.92
SO ₄ ²⁻	15.27	0.32
Cl ⁻	15.04	0.42
NO ₃ ⁻	130.45	2.10
Catión	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	59.81	2.60
K ⁺	15.53	0.40
Ca ²⁺	332.29	16.61
Mg ²⁺	188.14	15.68
NH ₄ ⁺	0.00	0.00

Fecha: 24 de Julio del 2013

Tabla 5. Análisis químico del agua en el municipio La Independencia

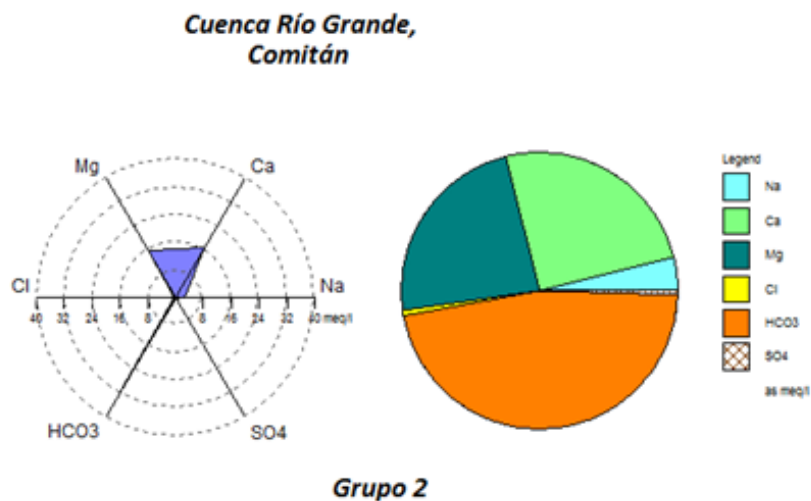


Imagen 3. Diagramas radiales de concentraciones de iones en La Independencia

HOJA DE ANÁLISIS
Cuenca "Río Grande"
Comitán, Chiapas

Grupo 3		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	1988.99	32.61
SO ₄ ²⁻	21.64	0.45
Cl ⁻	20.99	0.59
NO ₃ ⁻	83.62	1.35
Catión	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	67.94	2.95
K ⁺	19.45	0.50
Ca ²⁺	334.40	16.72
Mg ²⁺	182.11	15.18
NH ₄ ⁺	0.00	0.00

Fecha: 25 de Julio del 2013

Tabla 6. Análisis químico del agua en el municipio Las Margaritas

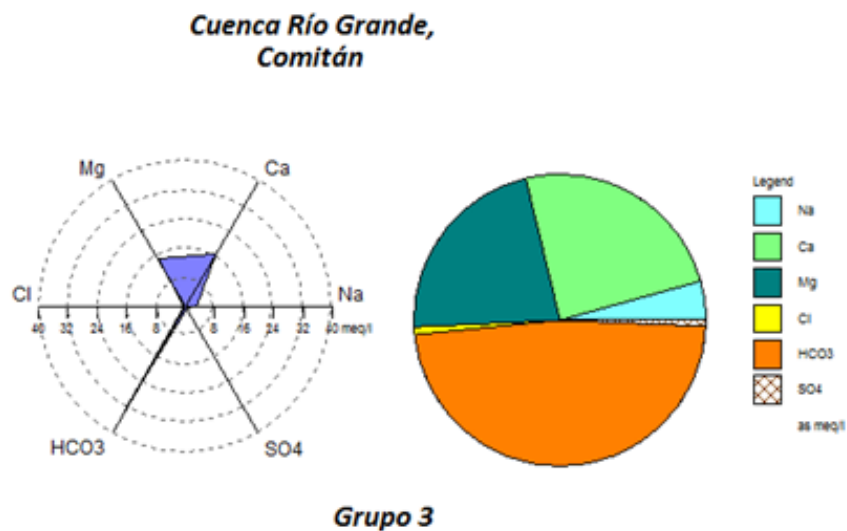


Imagen 4. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Las Margaritas

HOJA DE ANÁLISIS

Cuenca "Río Grande"
Comitán, Chiapas

Grupo 4		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	821.51	13.47
SO ₄ ²⁻	10.23	0.21
Cl ⁻	5.59	0.16
NO ₃ ⁻	10.20	0.16
Cation		
Cación	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	24.24	1.05
K ⁺	7.12	0.18
Ca ²⁺	143.53	7.18
Mg ²⁺	72.61	6.05
NH ⁴⁺	0.00	0.00

Fecha: 25 de Julio del 2013

Tabla 7. Análisis químico del agua en el municipio Las Cruces

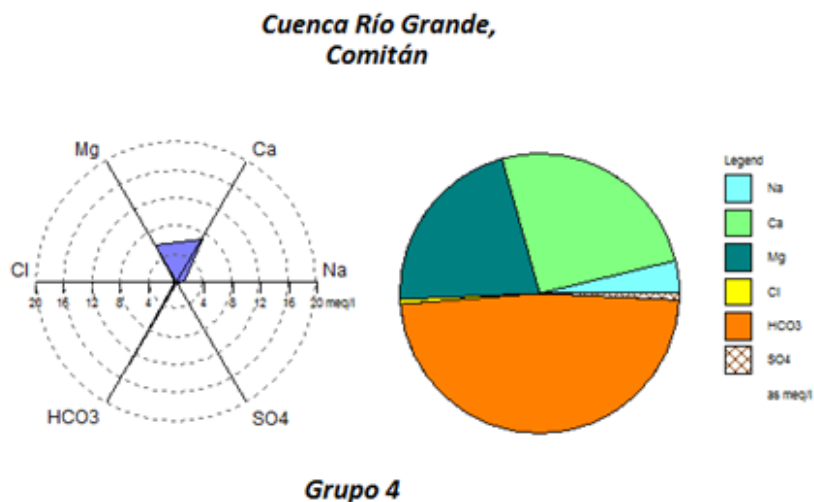


Imagen 5. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Las Cruces

HOJA DE ANÁLISIS
Cuenca "Río Grande"
Comitán, Chiapas

Grupo 5		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	4165.01	68.28
SO ₄ ²⁻	5507.26	114.73
Cl ⁻	250.46	7.06
NO ₃ ⁻	178.35	2.88
Cación	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	293.51	12.76
K ⁺	70.47	1.81
Ca ²⁺	2716.98	135.85
Mg ²⁺	482.37	40.20
NH ₄ ⁺	0.00	0.00

Fecha: 26, 27, 29 y 30 de Julio del 2013

Tabla 8. Análisis químico del agua en el municipio La Trinitaria

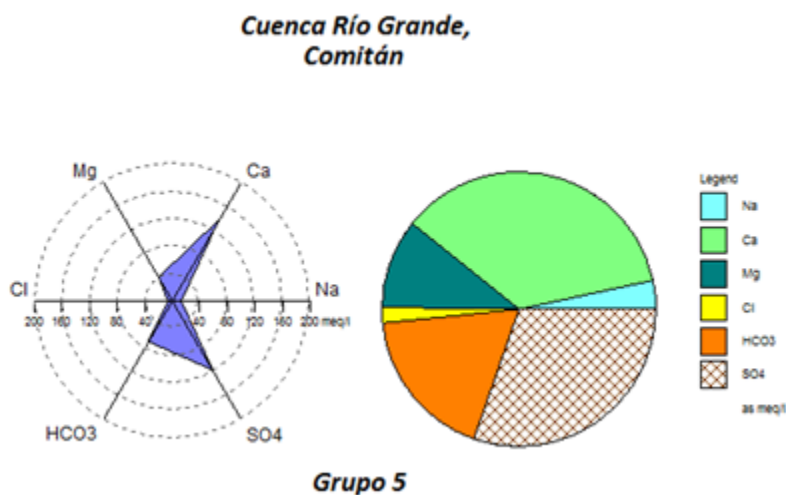


Imagen 6. Diagramas radiales de concentraciones de iones en La Trinitaria

HOJA DE ANÁLISIS

Cuenca "Río Grande" Comitán, Chiapas

Grupo 6		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	2726.86	44.70
SO ₄ ²⁻	1665.61	34.70
Cl ⁻	63.07	1.78
NO ₃ ⁻	65.41	1.05
Catión	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	220.55	9.59
K ⁺	42.93	1.10
Ca ²⁺	989.17	49.46
Mg ²⁺	184.34	15.36
NH ₄ ⁺	0.00	0.00

Fecha: 24 y 25 de Julio del 2013

Tabla 9. Análisis químico del agua en el municipio Emiliano Zapata

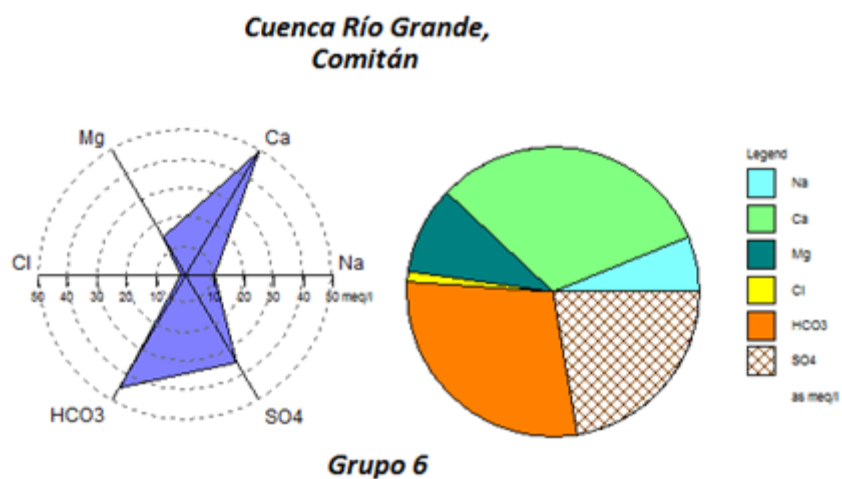


Imagen 7. Diagramas radiales de concentraciones de iones en Emiliano Zapata

HOJA DE ANÁLISIS
Cuenca "Río Grande"
Comitán, Chiapas

Grupo 7		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	1007.71	16.52
SO ₄ ²⁻	272.54	5.68
Cl ⁻	56.56	1.59
NO ₃ ⁻	270.41	4.36
Catión	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	102.55	4.46
K ⁺	21.46	0.55
Ca ²⁺	354.14	17.71
Mg ²⁺	51.59	4.30
NH ₄ ⁺	0.00	0.00

Fecha: 26 y 27 de Julio del 2013

Tabla 10. Análisis químico del agua en el municipio El Triunfo

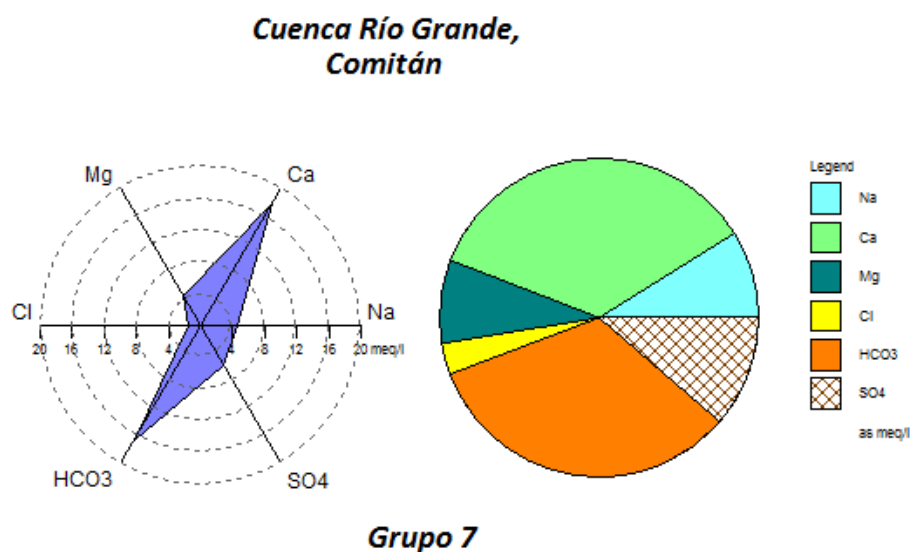


Imagen 8. Diagramas radiales de concentraciones de iones en El Triunfo

HOJA DE ANÁLISIS
Cuenca "Río Grande"
Comitán, Chiapas

Grupo 8		
Anión	p.p.m.	Miliequivalente
HCO ₃ ⁻	1507.04	24.71
SO ₄ ²⁻	48.33	1.01
Cl ⁻	13.19	0.37
NO ₃ ⁻	113.79	1.84
Catión	p.p.m.	Miliequivalente
Na ⁺	105.78	4.60
K ⁺	34.21	0.88
Ca ²⁺	336.15	16.81
Mg ²⁺	48.74	4.06
NH ⁴⁺	0.00	0.00

Fecha: 27 y 30 de Julio del 2013

Tabla 11. Análisis químico del agua en Carretera Trinitaria-Palenque

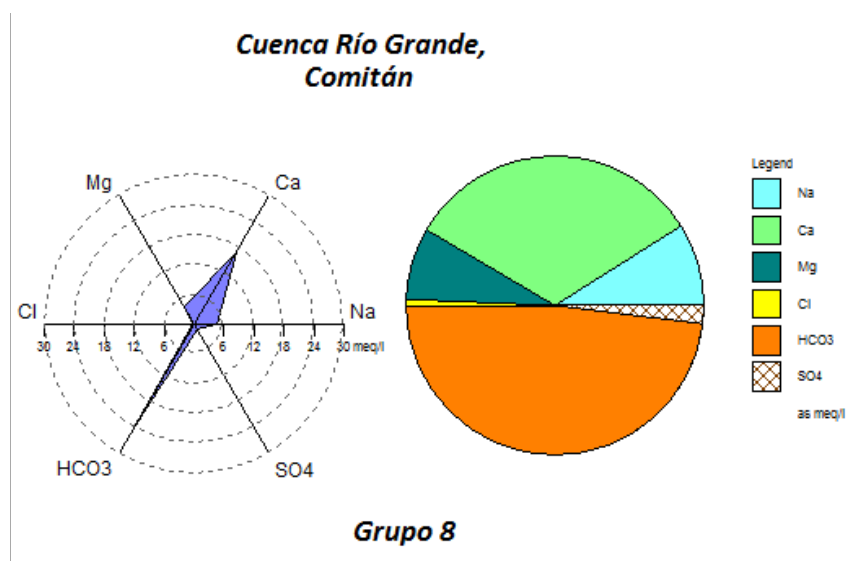


Imagen 9. Diagramas radiales de concentraciones de iones en carretera Trinitaria-Palenque

b) Caracterización de las aguas deducidas de los diagramas de Piper-Hill-Langellier y de Stiff

Los Diagramas Hidrogeoquímicos son utilizados para representar de manera gráfica las características químicas principales del agua, y así dar una clasificación particular.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis químicos interpretados por el software "Diagrammes" (software de uso libre, creado en la Universidad Avignon, en Francia) y de los diagramas de Stiff realizados con el software AquaChem, es posible inducir que las aguas analizadas en la Cuenca Río Grande Comitán son de tipo bicarbonatadas cálcicas-magnésicas en general.

El tipo de agua tiene relación con las rocas marinas sedimentarias del Mesozoico Superior y Terciario y Cuaternario que es la mayor zona de recarga.

En las imágenes 10 hasta la 26 se muestran los diagramas de Piper-Hill-Langellier y de Stiff de cada grupo de la Cuenca respectivamente.

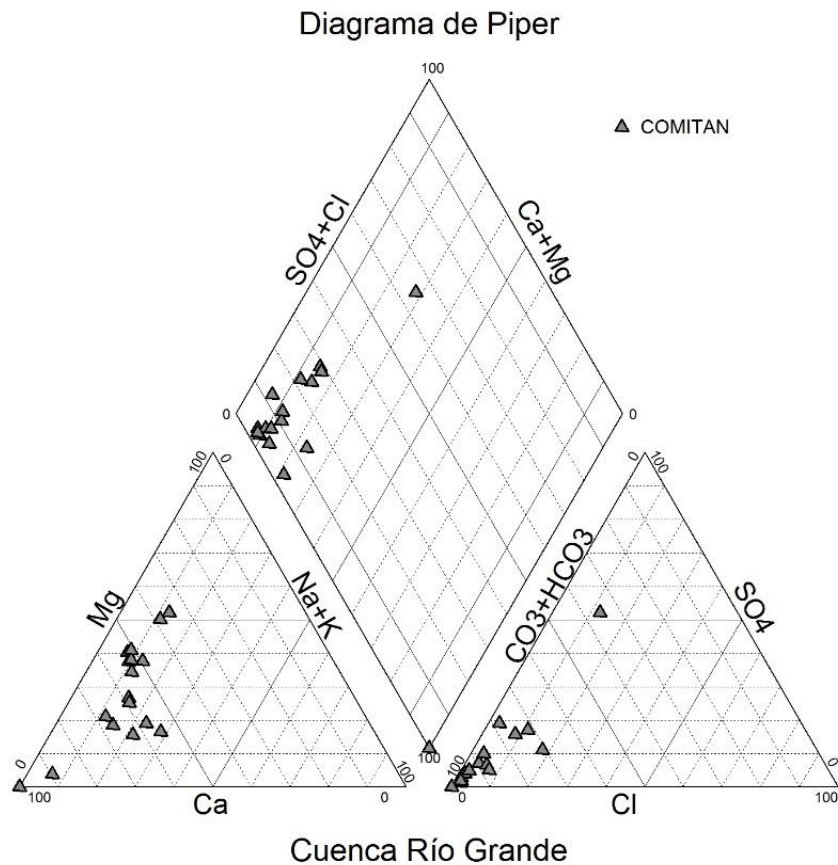
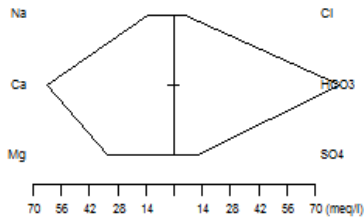


Imagen 10. Diagrama de Piper en el área de Comitán

Diagrama de Stiff
Cuenca Río Grande, Comitán



Grupo 1

Imagen 11. Diagrama de Stiff en el área de Comitán

Como se observa en la imagen 2 y 3, las aguas que pertenecen al grupo 1 denominada "Comitán", son de tipo Bicarbonatadas Cállicas-Magnésicas, con mayor proporción del calcio.

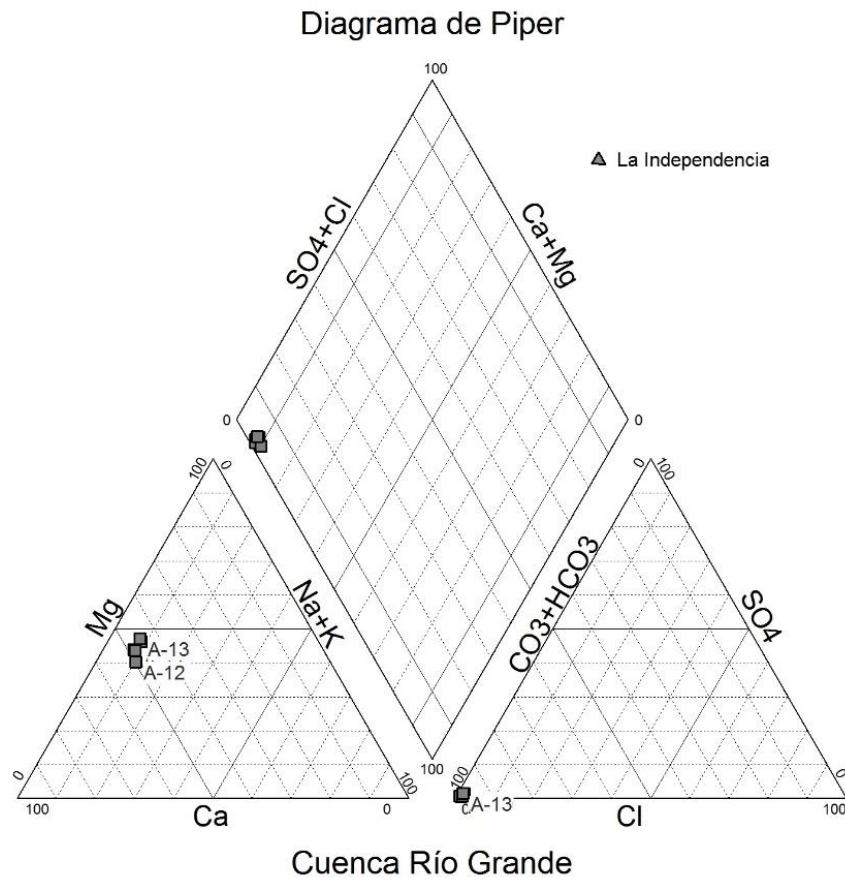
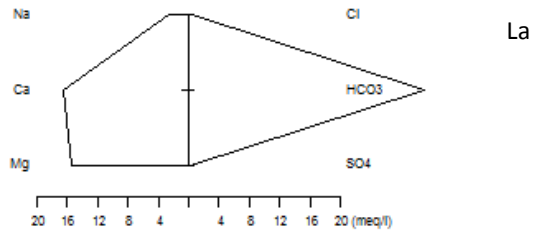


Imagen 12. Diagrama de Piper en el área de La Independencia

Diagrama de Stiff
Cuenca Río Grande, Comtán

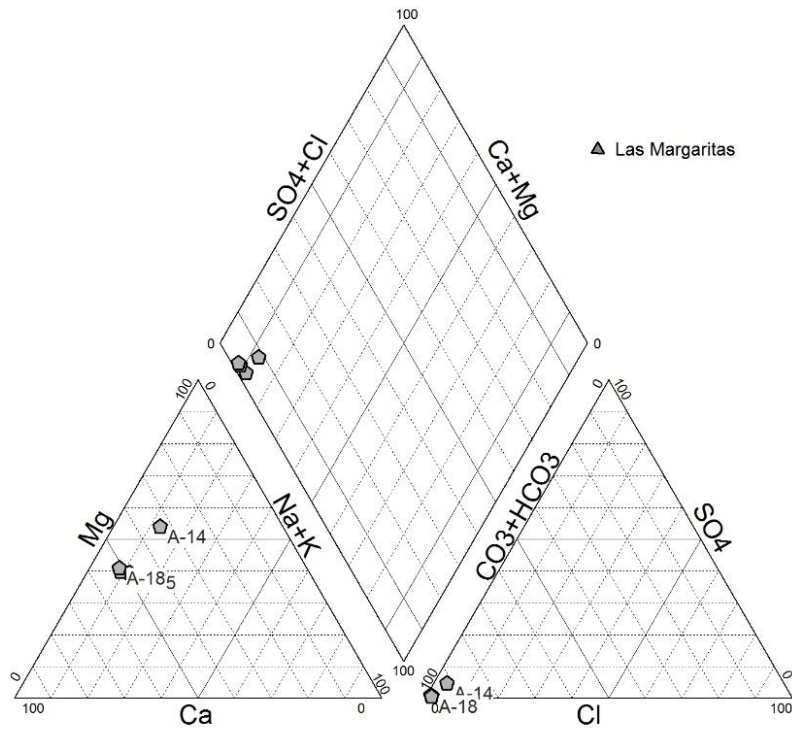
Imagen 13. Diagrama de Stiff en el área de Independencia



Grupo 2

El diagrama del grupo dos denominado "La Independencia", debido a que sus muestras de agua fueron tomadas en ese poblado o en sus cercanías, señala un tipo de aguas Bicarbonatadas Cálcicas-Magnésicas. Este grupo se ubica al sureste de Comitán (grupo 1).

Diagrama de Piper



Cuenca Río Grande

Imagen 14. Diagrama de Piper en el área de Las Margaritas

Diagrama de Stiff
Cuenca Río Grande, Comtán

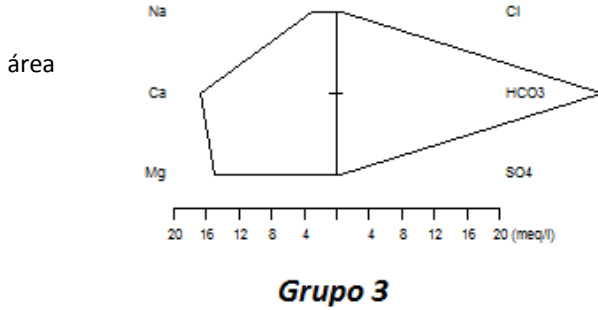


Imagen 15. Diagrama de Stiff en el área de Las Margaritas

El diagrama del Grupo "Las Margaritas", ubicado al noreste del mapa 9 muestra un tipo de agua bicarbonatada cálcica-magnésica, con igual proporción de cationes de calcio y magnesio. En este diagrama se lograron obtener pocas muestras de agua.

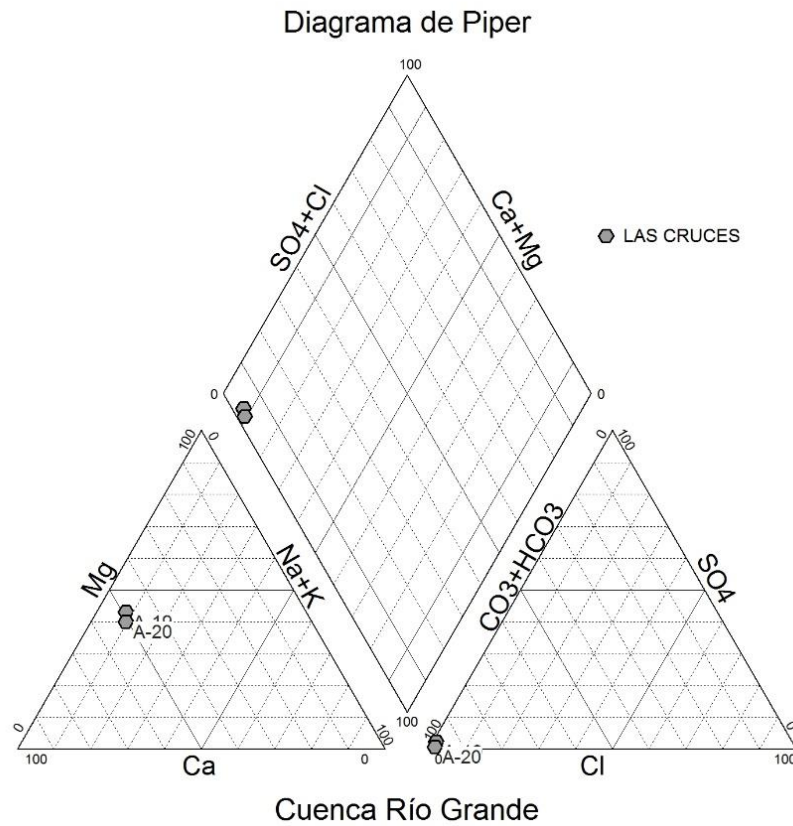


Imagen 16. Diagrama de Piper en el área de Las Cruces

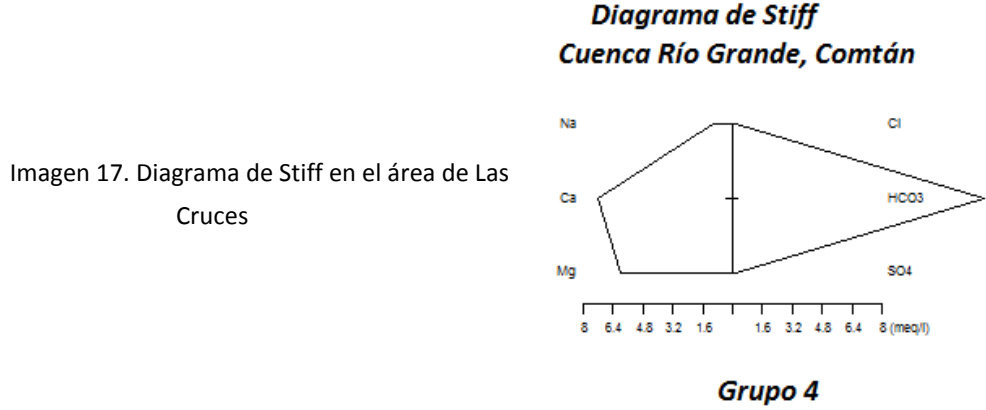


Imagen 17. Diagrama de Stiff en el área de Las Cruces

El grupo de las "Cruces" cuenta con agua tipo bicarbonatada cálcico-magnésico, con proporciones ligeramente iguales de cationes.

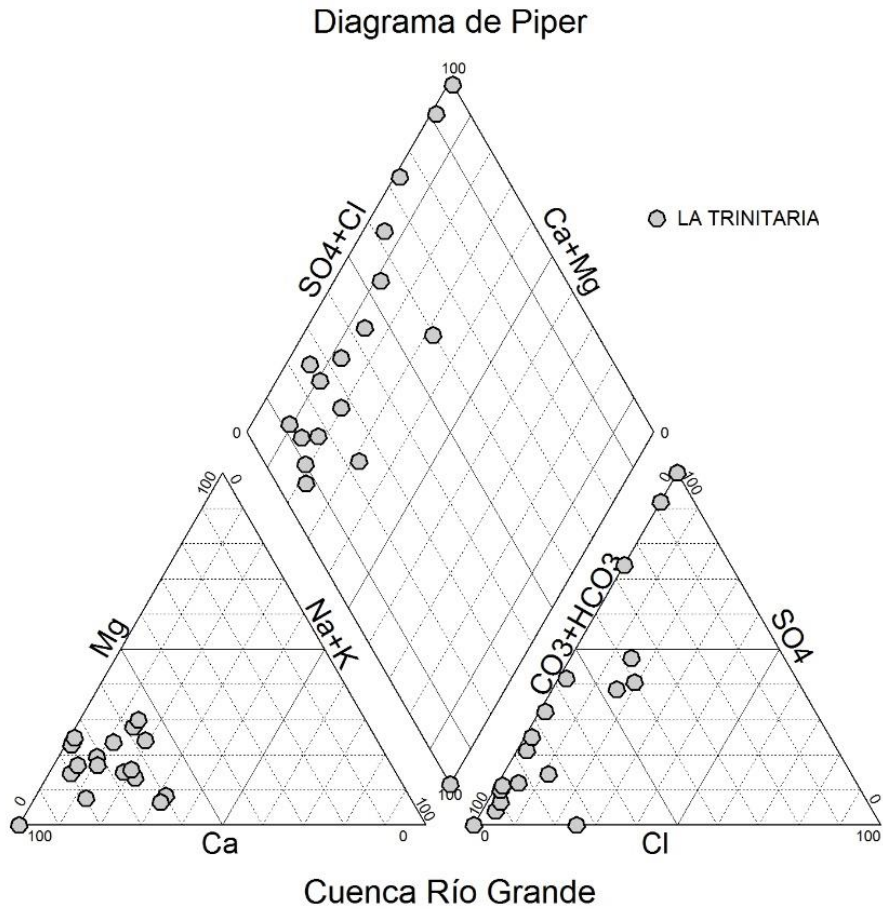
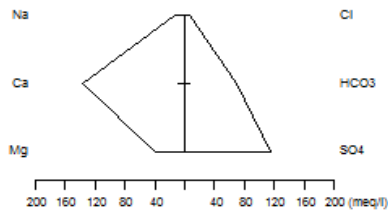


Imagen 18. Diagrama de Piper en el área de La Trinitaria

Diagrama de Stiff
Cuenca Río Grande, Comtán

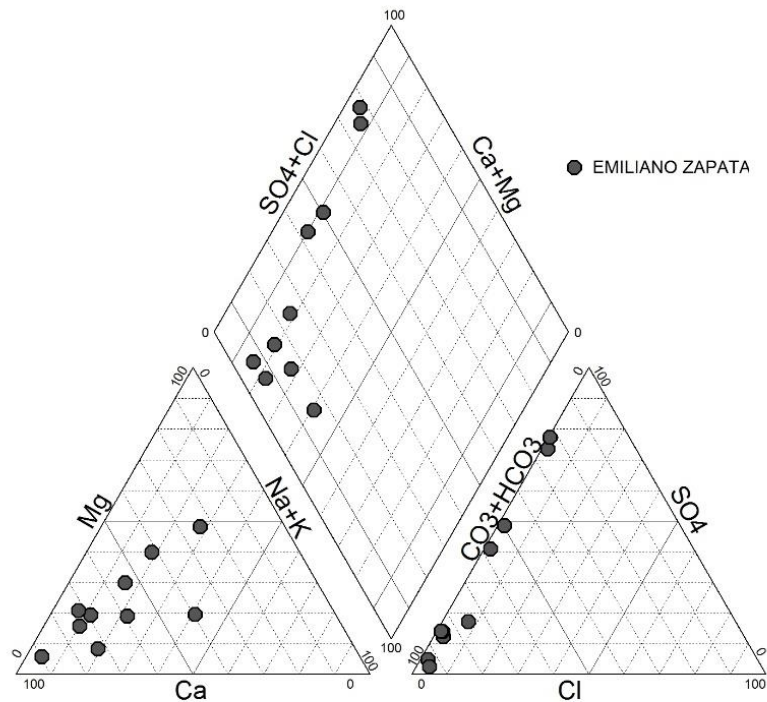


Grupo 5

Imagen 19. Diagrama de Stiff en el área de La Trinitaria

Por otro lado, el tipo de agua del grupo 5 "La Trinitaria" es bicarbonatada y sulfatada cálcica.

Diagrama de Piper

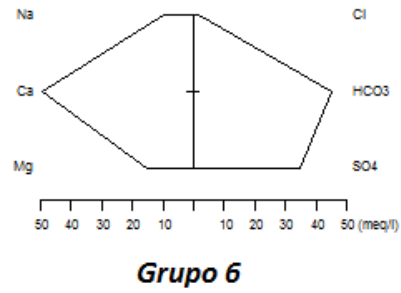


Cuenca Río Grande

Imagen 20. Diagrama de Piper en el área Emiliano Zapata

Imagen 21. Diagrama de Stiff en el área Emiliano Zapata

Diagrama de Stiff
Cuenca Río Grande, Comtán



El grupo 6 de "Emiliano Zapata" ubicado al sureste del mapa 9, indica aguas con mayor concentración de calcio, por lo que el tipo de agua pertenece a bicarbonatadas cálcicas con tendencia a sulfatadas.

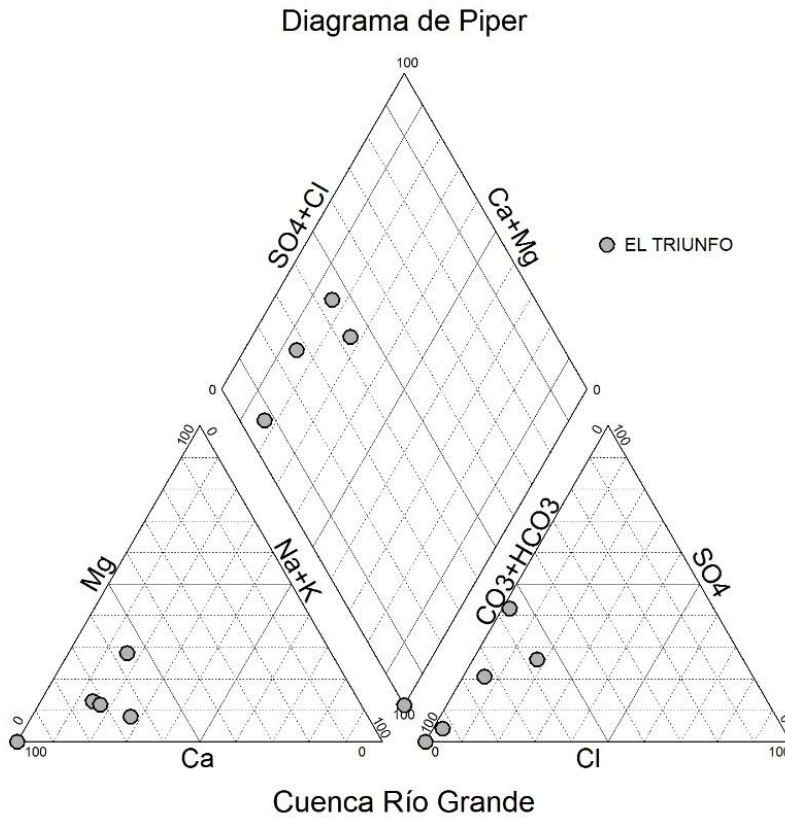
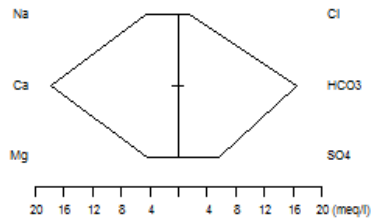


Imagen 22. Diagrama de Piper en el área de El Triunfo

Diagrama de Stiff
Cuenca Río Grande, Comtán

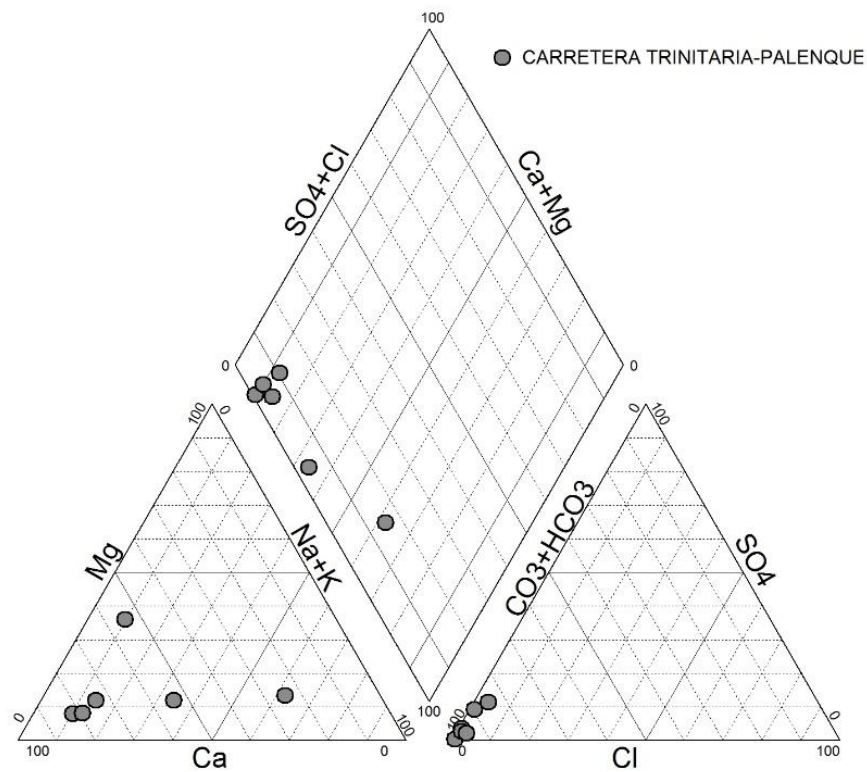


Grupo 7

Imagen 23. Diagrama de Stiff en el área de El Triunfo

En el grupo 7 "El Triunfo" se tomaron pocas muestras, sin embargo el análisis de ellas indican un tipo de agua bicarbonatadas cálcicas.

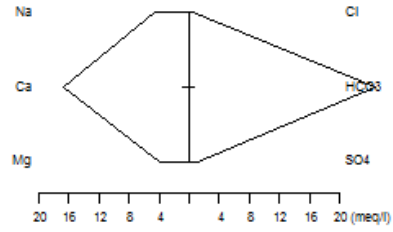
Diagrama de Piper



Cuenca Río Grande

Imagen 24. Diagrama de Piper en el área de Carretera Trinitaria-Palenque

Diagrama de Stiff
Cuenca Río Grande, Comtán



Grupo 8

Imagen 25. Diagrama de Stiff en el área de Carretera Trinitaria-Palenque

En el último grupo denominado "Carretera Trinitaria-Palenque" tenemos un tipo de agua bicarbonatada cálcica marcadamente.

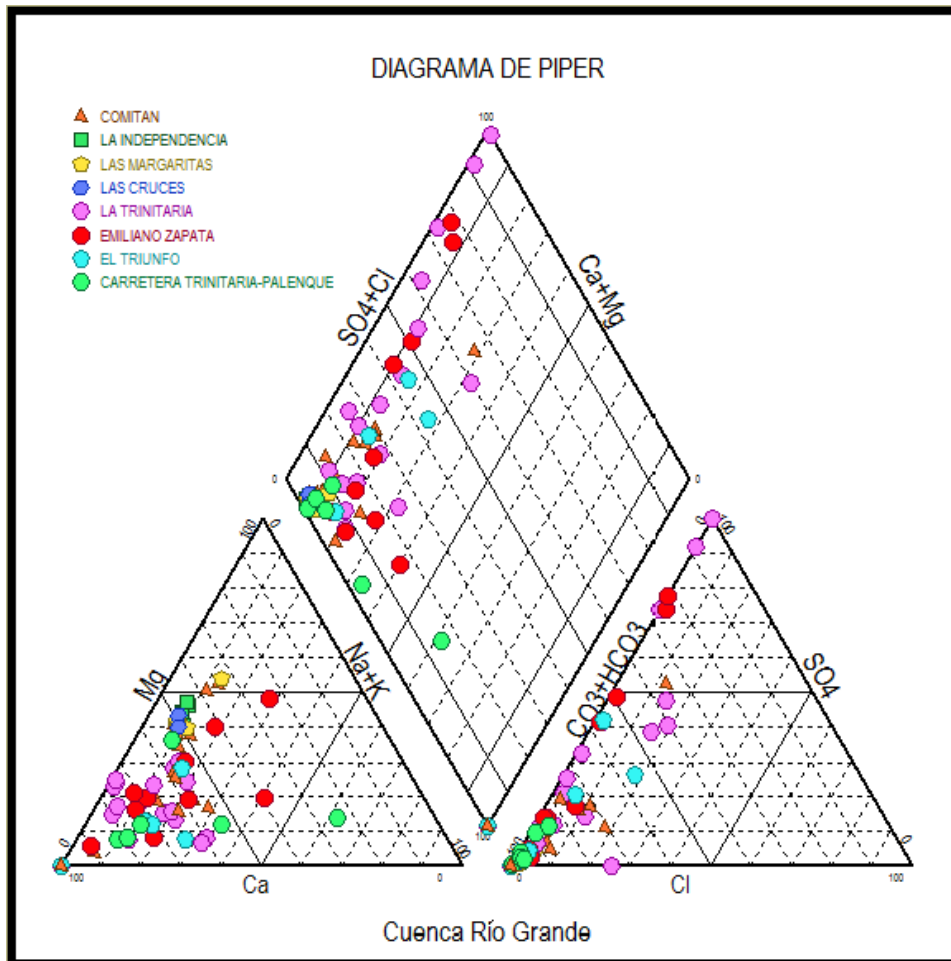


Imagen 26. Diagrama de Piper donde se muestran todas las áreas juntas

El diagrama de Piper (imagen 26) se muestran los 8 grupos de agua juntos. En él se puede ver que de forma general la Cuenca Río Grande tiene un tipo de agua bicarbonatada cálcica-magnésica, con alguna ligera tendencia a sulfatada.

Se induce que su composición química se debe a la litología sobre la cual se ubica la cuenca, ya que los estratos ricos en carbonato de calcio proveen al agua de estos iones. Las formaciones de yeso que se ubican al sur del municipio de Comitán son las principales fuentes del anión sulfato (recordemos que su composición química es de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), estas aportan a las aguas subterráneas el anión, sin embargo, no solo las formaciones de yeso proveen al agua de este compuesto, algunos fertilizantes utilizados en zonas agricultoras también pueden ser la causa del enriquecimiento en sulfato, así como en otros compuestos como el nitrato, fosfato, etc., para ello fue necesario analizar cuidadosamente las concentraciones de los iones por regiones.

5.2 Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico

Para poder visualizar de forma más clara la delimitación de la cuenca, así como la morfología y la altimetría de la zona de estudio y zonas aledañas se desarrollaron dos modelos que a continuación se presentan.

Los modelos fueron creados en el software ArcGis 10.1 con ayuda de fotografías digitales descargadas de la página oficial Aster Gdem, donde se logró conocer las diferentes elevaciones por medio del mapa de curvas de nivel, posteriormente se generaron los modelos de elevación digital, donde se observa la topografía en tercera dimensión.

Los modelos digitales del terreno MDT son representaciones digitales de la superficie terrestre, se conforman por un conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

En general, un MDE es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (INEGI).

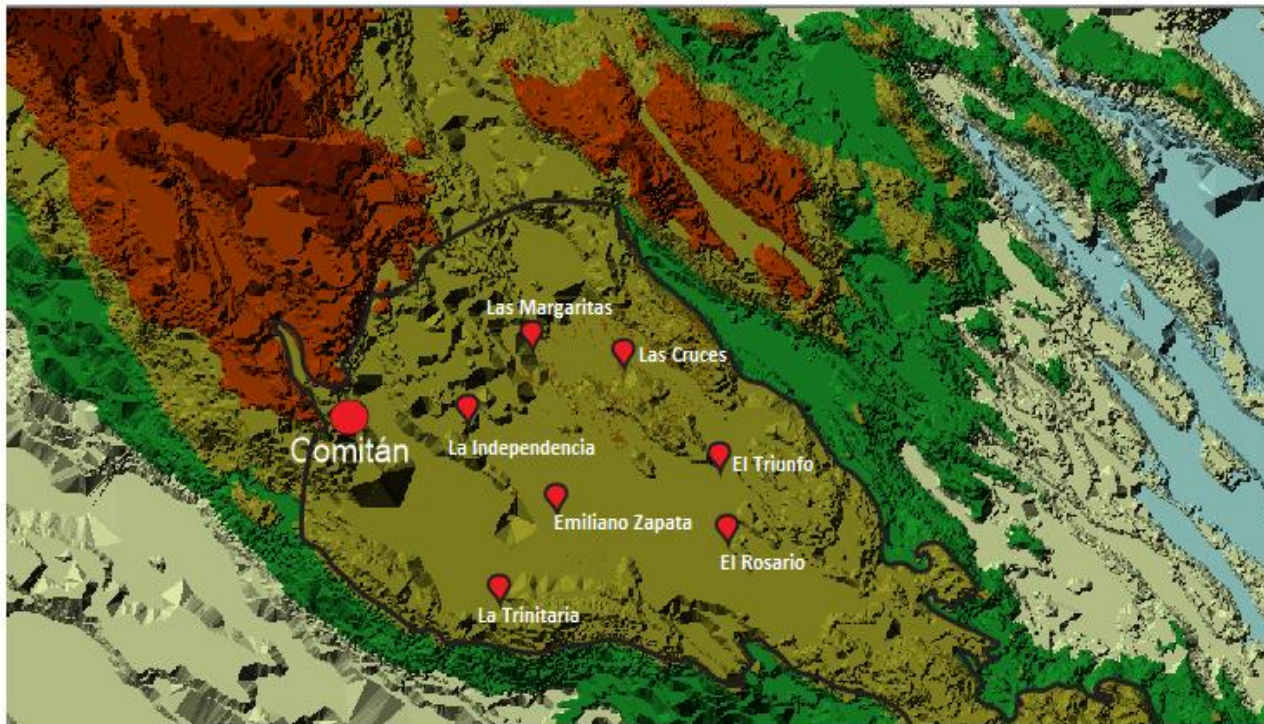
El modelo conceptual mostrado en el mapa 10, señala la delimitación de la Cuenca Río Grande Comitán. Es un modelo digital de terreno (MDT) en dos dimensiones que simboliza a un mapa altimétrico, donde las elevaciones son representadas con diferentes colores.

También se observa que los municipios de Comitán, Las Margaritas, Las Cruces, La Independencia, El Triunfo, Emiliano Zapata y La Trinitaria, forman parte de una cuenca que se logra desarrollar debido a las zonas altas de alrededor. Las curvas de nivel de la cuenca oscilan entre 1560 a 1680. La parte alta se encuentra en el municipio de Comitán, mientras que las más bajas se ubican hacia el poblado de El Rosario, al sureste de Comitán.

Finalmente el mapa 11 constituye a un mapa digital de elevaciones (MDE) en donde se representa la cuenca estudiada en un mapa de tercera dimensión. El objetivo de este mapa es dar una idea más específica de la morfología de la zona y así poder visualizar las áreas de aporte de agua. Siendo la zona del norte de Comitán un área de aporte, al igual que la zona del este, por tener una elevación mayor; al oeste de Comitán se logra ver un conjunto de pequeñas sierras que también ayuda a la formación de la Cuenca y además sirve como zona de barrera.

MODELO DIGITAL DEL TERRENO

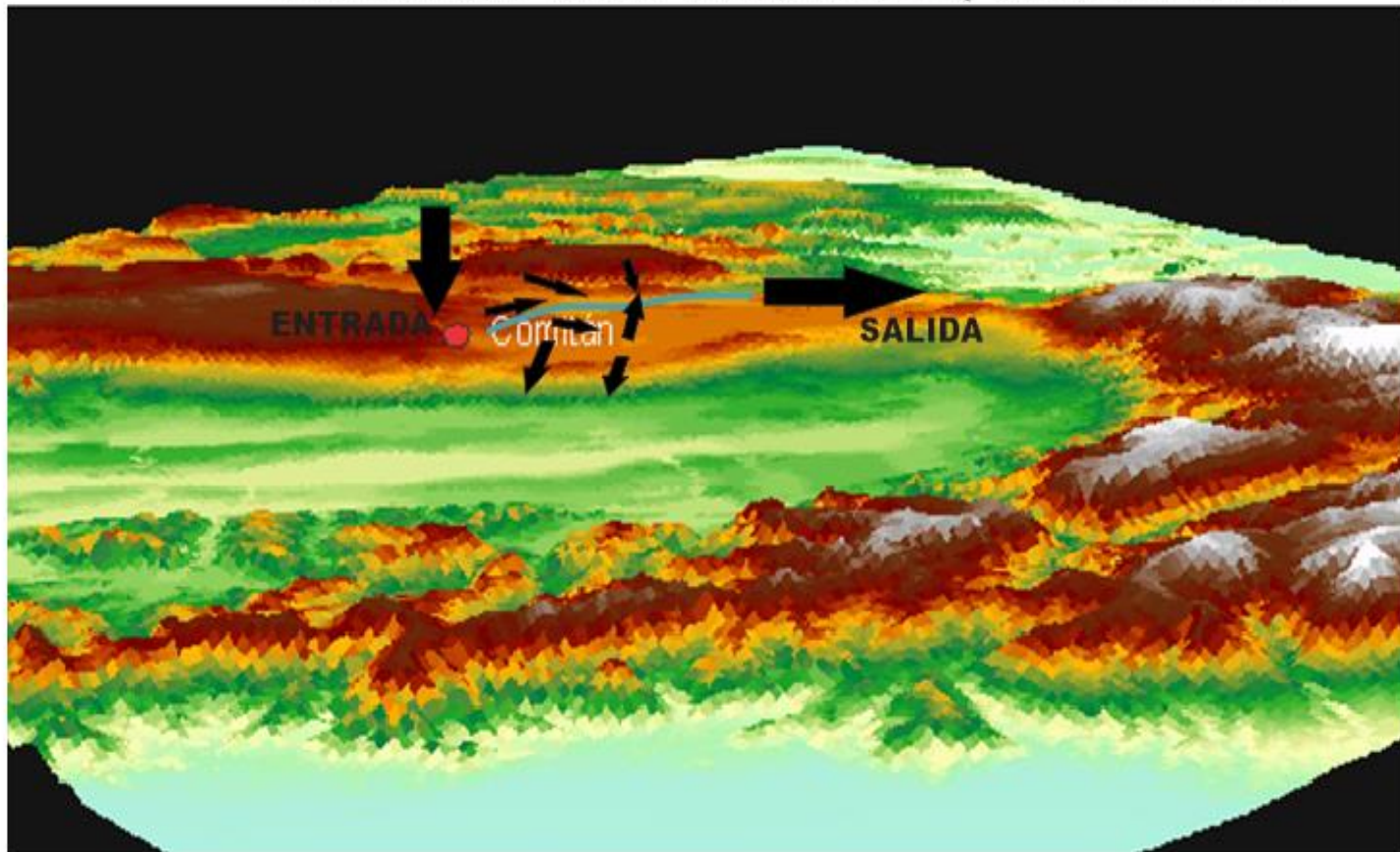
CUENCA RÍO GRANDE, COMITÁN



Simbología

- Edge type
 - Hard Edge
- Elevation
 - 3733 - 4200
 - 3266 - 3733m
 - 2800 - 3266m
 - 2333 - 2800
 - 1866 - 2333m
 - 1400 - 1866.667
 - 933 - 1400
 - 466 - 933m
 - 0 - 466.667

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES CUENCA RÍO GRANDE, COMITÁN



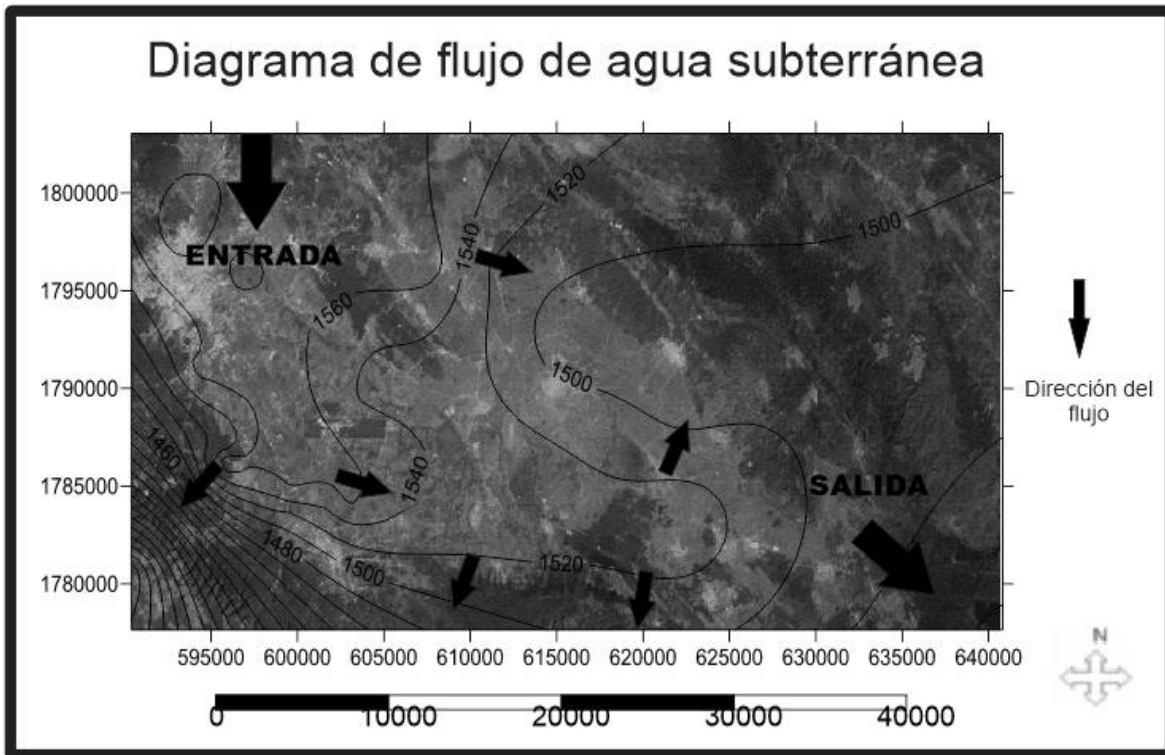
SIMBOLOGÍA

↓
Dirección de
Flujo de agua

~
Río Grande

El software Surfer 10.0 sirvió como herramienta para la obtención de un diagrama de flujo de agua subterránea, tal como se muestra en el mapa 12 y 13. Para ello fue necesario medir los niveles piezométricos de los aprovechamientos estudiados en campo.

En estos mapas se observa que la tendencia de flujo subterráneo es aportada por el río, ya que sigue el mismo trayecto. Las Sierras que están al norte y este de Comitán también son parte fundamental, ya que ambas contribuyen al aporte de agua en la cuenca.



Mapa 12. Flujo subterráneo del agua en la Cuenca Río Grande, Comitán

Como ya se ha dicho, Chiapas es un estado donde la litología en general se basa de rocas calizas y dolomías, además de material aluvial. Comitán y los demás municipios que forman parte de la cuenca Río Grande se encuentran sobre estratos de rocas sedimentarias, volcanosedimentarias y material aluvial del Mesozoico Superior, Terciario y Cuaternario. Correlacionando los diagramas de Piper y de Stiff con la ubicación de cada grupo de la cuenca de estudio podemos inferir que la litología está aportando los cationes de calcio y magnesio que caracterizan los tipos de agua presentes.

Los municipios de Comitán, El Triunfo, El Rosario, Las Cruces, Las Margaritas, La Independencia se caracterizan por tener aguas carbonatadas cálcicas y magnésicas, siendo los tres primeros municipios mencionados de mayor contenido de calcio. El municipio de Emiliano Zapata, el cual se encuentra en la parte central de la cuenca mantiene aguas carbonatadas a sulfatadas cálcicas, con ligero enriquecimiento de bicarbonato. Al suroeste de este municipio se encuentra La Trinitaria, en la cual podemos observar un cambio del tipo de agua a sulfatada cálcica.

Los sulfatos después de los bicarbonatos, son los principales aniones presentes en el agua, pueden originarse de forma natural o antrópica. En el caso del origen natural, estos pueden ser generados a partir de depósitos minerales ricos de estos iones, por ejemplo, depositaciones de yeso, anhidrita, evaporitas, etc., o por deposición atmosférica. Sin embargo, también pueden estar presentes debido a consecuencias humanas, como es el caso de las descargas de aguas industriales o por la utilización de fertilizantes agrícolas.

Por otro lado, los nitratos también son foco de preocupación debido a que estos aniones son dañinos en concentraciones mayores en el agua. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas es un resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el intemperismo de los minerales y descomposición de la materia orgánica. Los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen: la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Heaton, 1985).

El problema con los nitratos, es que son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral. Estos dos factores, permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble, los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la subsuperficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas (Freeze y Cherry, 1979).

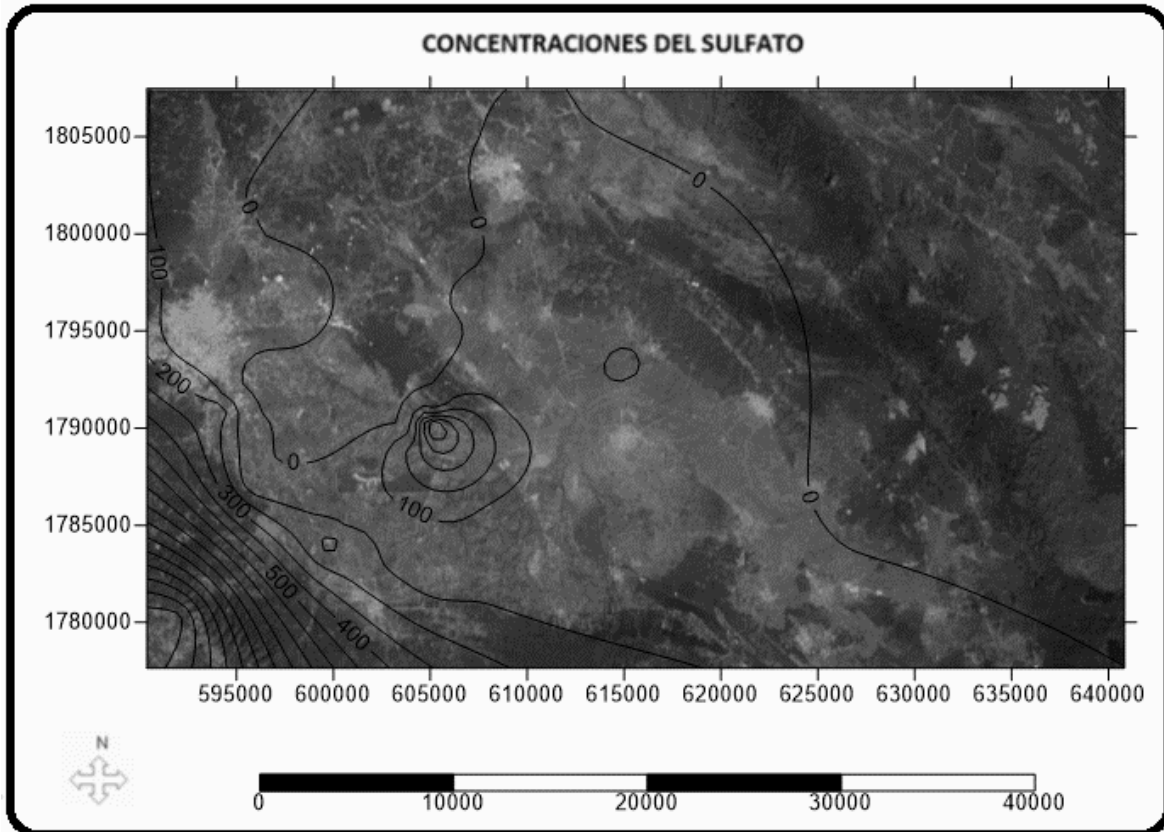
Mientras que la contaminación por fuentes puntuales se origina de diversos medios tales como efluentes de tanques sépticos y depósitos de excretas, la contaminación no puntual se distribuye en amplias áreas como son los campos donde los fertilizantes nitrogenados han sido aplicados (Hurlburt, 1988). El único control del nitrato por debajo

de la superficie es la reducción del nitrato o denitrificación. La reducción del nitrato es una reacción natural en la cual el nitrato es reducido a gases de nitrógeno, menos peligrosos, por la acción de bacterias. En donde esta reducción no ocurre, los nitratos que persisten en los abastecimientos de agua son un riesgo; así, áreas con alto riesgo incluyen acuíferos bajo agricultura intensiva y la vecindad de campos con alta densidad de tanques sépticos.

Por su naturaleza, los acuíferos son lentos para contaminarse pero una vez que sean contaminados, difícilmente se auto depuran. La única opción para evitar futuras contaminaciones por nitratos en acuíferos someros susceptibles, es iniciar con el control del uso del suelo (Hendry, 1988).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (1995) los límites máximos permisibles de sulfato en el agua potable son 250 miligramos por cada litro, mientras que los valores de nitrato permisibles son de 50 miligramos por cada litro.

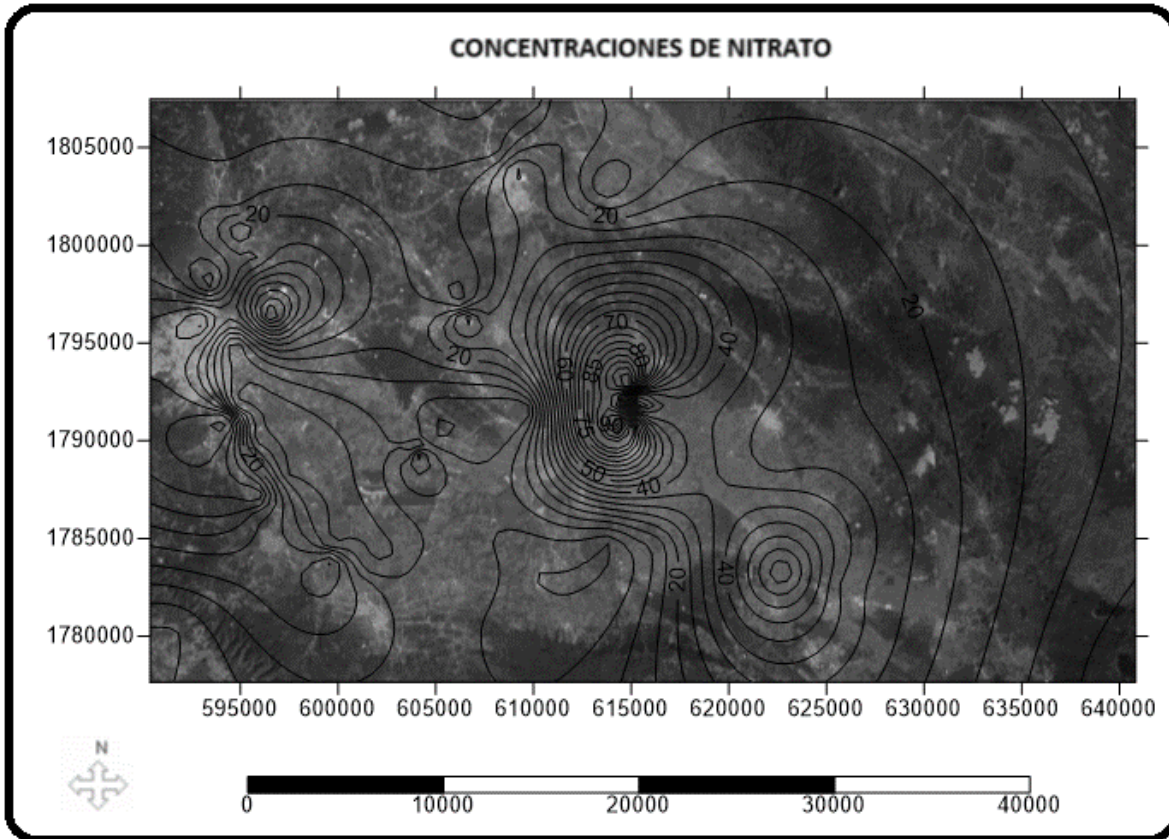
En los mapas 13 al 18 se muestran curvas de concentraciones de los iones sulfato, nitrato, cloro, bicarbonato, calcio y magnesio, los cuales fueron realizados con el software Surfer 10. El objetivo de estos mapas es conocer el origen de los aniones y cationes presentes en el agua, correlacionando la ubicación de sus concentraciones con la litología presente y con las características de la región, es decir, si están o no en zonas agricultoras y esto pudiera afectar o cambiar la calidad del agua.



Mapa 13. Concentraciones de sulfato en la cuenca Río Grande, Comitán

Como se observa en el mapa anterior, las concentraciones más altas de sulfato se ubican en la zona suroeste de la cuenca, abarcando el sur de Comitán y la Trinitaria (grupos 1 y 5 respectivamente); dichas concentraciones se van degradando hacia la parte central y este de la cuenca.

Sabiendo que las formaciones de yeso se ubican geográficamente al sur de Comitán como se observa en el mapa 7, y que esta área se encuentra libre de actividades agrícolas, podemos inferir que el aporte de los sulfatos al agua se debe a los minerales de yeso, por lo que la naturaleza del agua es totalmente ajena a procesos antrópicos.



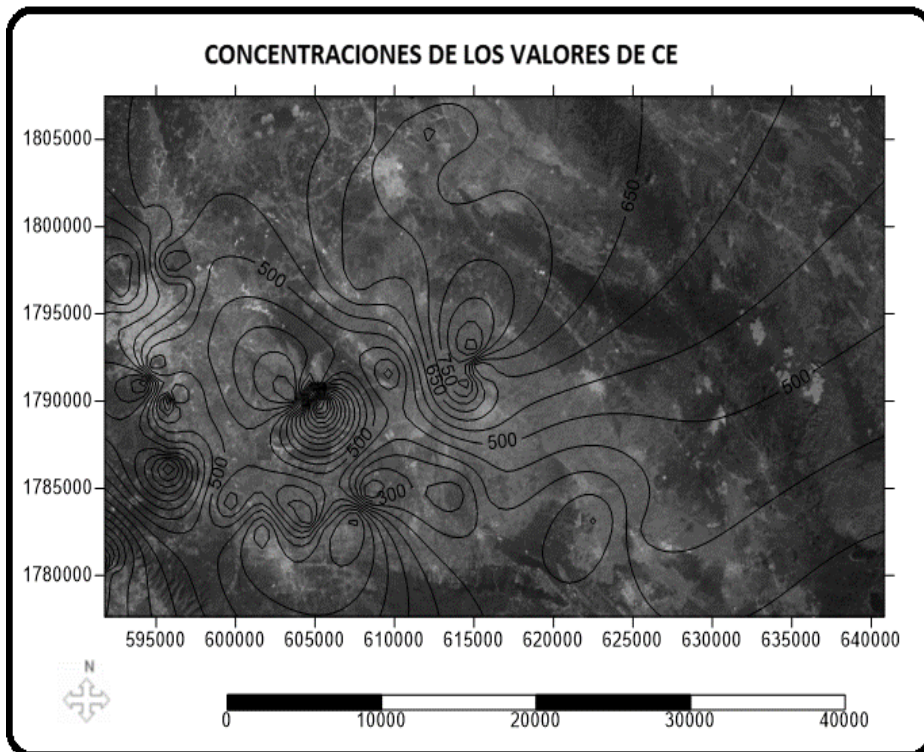
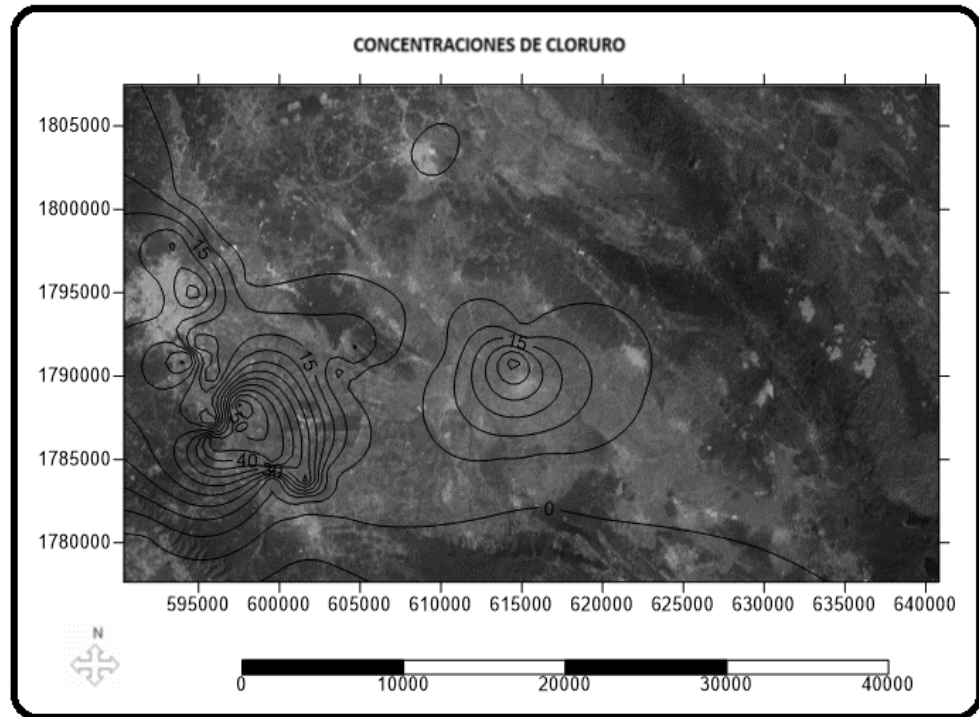
Mapa 14. Concentraciones de nitrato en la cuenca Río Grande, Comitán

Las concentraciones de nitrato se centran en los municipios de Comitán, La Independencia y Emiliano Zapata, mayormente en este último, centro de la cuenca Río Grande, cuya área geográfica está establecida como zona agricultora.

Los nitratos en medios naturales pueden ser obtenidos mediante los nitrógenos en sistemas oxigenados. Los minerales de origen natural que pudieran aportar este ion y cambiar la química del agua son raros, solamente los salitres (nitrato de sodio y nitrato de potasio) o las margas. También se puede deber a causas biológicas, como es el caso de la descomposición natural de microorganismos y materiales nitrogenados orgánicos.

Sin embargo, haciendo un análisis de las ubicaciones de las concentraciones del nitrato en el mapa 14, podemos inferir que nuestro aporte del ion a las aguas subterráneas se debe a causas de contaminación humana, pues ya que las mayores concentraciones se ubican en zonas de cultivo. Las aguas residuales y el uso excesivo de los fertilizantes son fuentes de contaminación del agua en la zona este de la Cuenca Río Grande, específicamente en los grupos 1, 6 y 8 principalmente.

Mapa 15.
Concentraciones
de cloro en la
cuenca Río Grande,
Comitán



Mapa 16.
Concentraciones
de los valores de
conductividad
eléctrica en la
cuenca Río
Grande, Comitán

Las aguas ricas en cloro indican presencia de sales en el medio geológico. Las sales pueden tener diferentes orígenes, por ejemplo, el agua de mar, por aportes de aguas residuales al suelo o por arcillas de forma natural.

En el caso de la cuenca estudiada, los aportes de cloro tuvieron dos orígenes, estos son por arcillas y aguas residuales.

La conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua y, por ende, se relaciona con la salinidad. Los valores de conductividad se expresan en microsiemens por cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o micromohos/cm. Los sólidos totales disueltos (STD) se refieren a la concentración total de minerales presentes en las aguas naturales, y la salinidad, a la concentración total de los componentes iónicos, se miden en partes por millón (ppm) o en mg/l (Roldán P., 2003).

Clasificación de las aguas según la salinidad del agua de riego (James et al., 1982)

Clase de agua	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)
Excelente	250	175
Buena	250-750	175-525
Permisible	750-2000	525-1400
Uso dudoso	2000-3000	1400-2100
Inapropiada	3000	2100

En el mapa 15 se visualizan dos zonas de concentración alta del ion cloro, una al oeste de la cuenca, entre los poblados de Comitán, Tzimol y La Trinitaria; y otro en la parte central de la cuenca, sobre Emiliano Zapata.

Como ya se mencionó anteriormente, la zona rica en sulfatos debido a formaciones de yesos es hacia el suroeste de la cuenca y la zona de aguas contaminadas por nitratos es hacia el este, causado por aguas residuales y fertilizantes. Por estas razones se induce que los cloros de los grupos 1 y 5 (Comitán y Trinitaria) están siendo aportados de manera natural, debido a las arcillas ubicadas en la zona aluvial. Por lo que las aguas de los grupos 2, 6, 7 y 8 (La Independencia, Emiliano Zapata, El Triunfo y Carretera Trinitaria-Palenque, respectivamente) están siendo afectadas por aguas residuales, ya que esta área geográfica, de acuerdo al mapa 7, se encuentra sobre una litología diferente,

por lo que se puede asegurar que sus aportes del ion cloro al agua corresponde al agua residual y no por minerales arcillosos.

Los municipios de las Margaritas y Las Cruces mantienen niveles bajos de concentraciones, ambos poblados se encuentran sobreyaciendo a rocas calizas; la mineralización del agua por cloro se podría clasificar como insignificante debido a sus bajos valores.

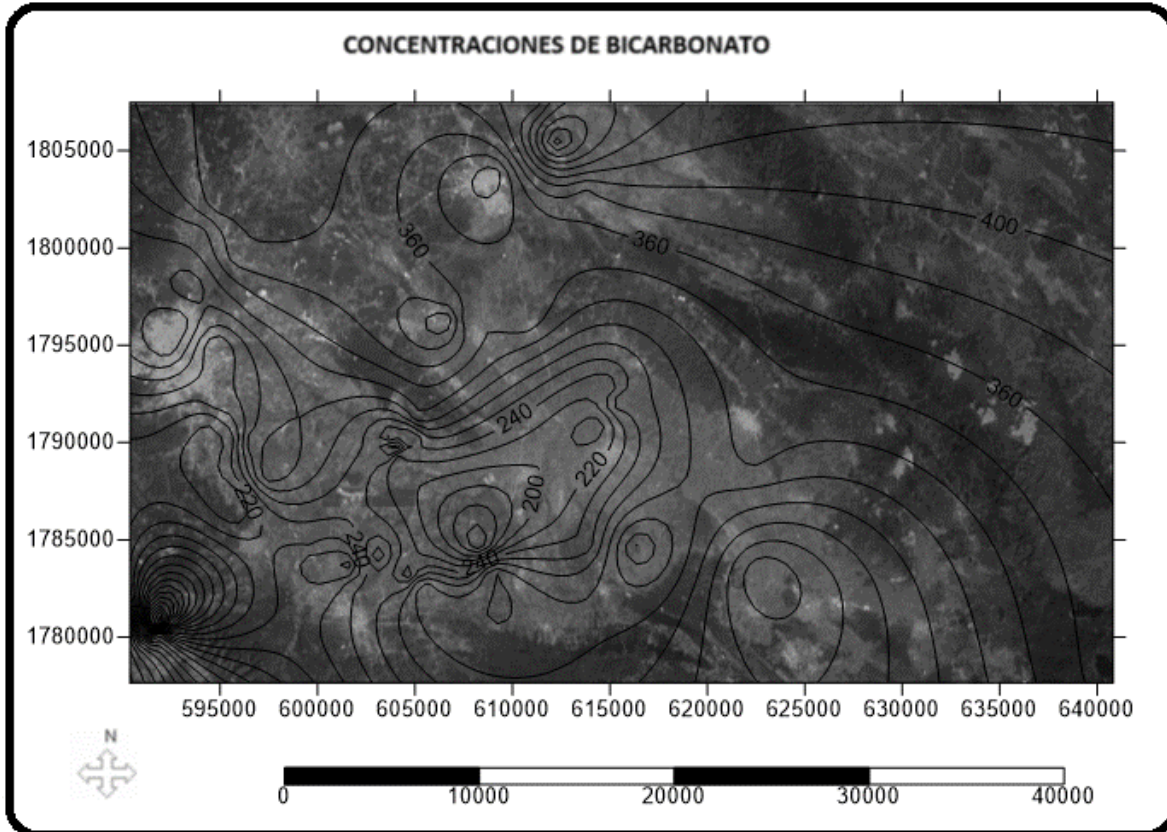
El tiempo de interacción del agua con las rocas y minerales darán los niveles de concentración, pues a mayor tiempo de interacción del agua con las arcillas, mayor será la concentración de cloro en el agua subterránea. De manera que los municipios de Las Margaritas y Las Cruces al estar sobre rocas calizas, cuyas propiedades de permeabilidad y porosidad secundaria son altas, debido a los procesos de karstificación y fracturación, darán un tiempo de interacción con el agua rápido, es decir, el contacto entre ambos será mucho menor al contacto del agua con las arcillas. Es por eso que se observan valores bajos del ion cloro en estos poblados.

El mapa 16 muestra zonas de mayor conductividad eléctrica (CE) en el área central de la cuenca, así como en el occidente, coincidiendo con las zonas altas de concentración del cloro, esto debido a la relación ya antes mencionada de las sales con la conductividad eléctrica; pues a mayor contenido de sales, mayor será la conductividad eléctrica registrada por el agua.

La secuencia de enriquecimiento del cloro en el agua se conoce como "Secuencia Chevotareb", la cual está estrictamente relacionada con la solubilidad del medio geológico y la abundancia de los minerales presentes.

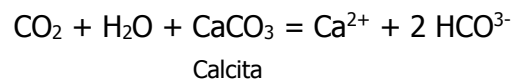
	<p>....→ Recorrido y tiempo de permanencia en el acuífero -→</p>
Aniones predominantes:	<p>$\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{HCO}_3^- \text{ y } \text{SO}_4^{=}$ $\rightarrow \text{SO}_4^{=}$ $\rightarrow \text{SO}_4^{=-}$ y $\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}^-$</p>
	<p>....→ Aumento de la salinidad→</p>

Cuando hay una interacción del agua en la superficie del terreno, se produce agua acida, debido al almacenamiento de CO₂ en los poros de los suelos. Si esta agua posteriormente es relacionada con yesos, entonces tendremos un enriquecimiento de sulfatos. Las sales al tener una permeabilidad muy baja permite que el agua interactúe con mayor tiempo; esto genera un enriquecimiento considerable del anión Cl⁻



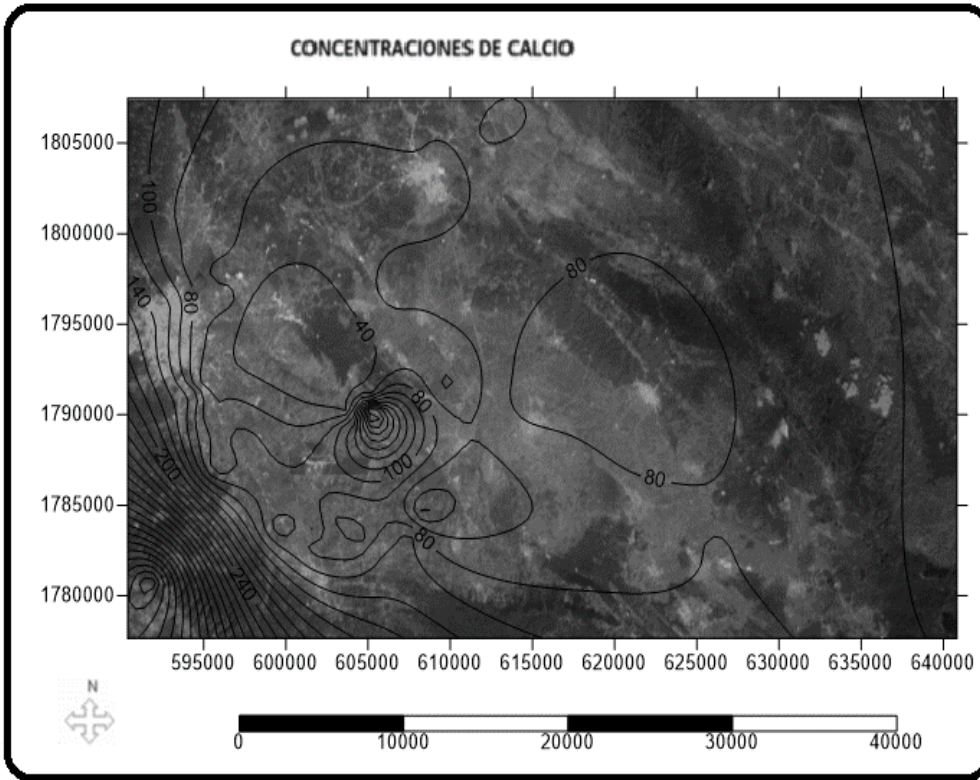
Las aguas naturales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores de tipo químico-físico, geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, antrópico y otros (Fagundo, 1990).

Las aguas carbonatadas surgen debido a la intervención de diferentes medios físicos como son: agua-roca-aire. Donde las calizas cuya composición química es de CaCO_3 , los gases del medio (CO_2), así como el agua, interactúan y dan origen a las aguas con componentes de HCO_3^- . Para el caso de la calcita, éstos se pueden resumir de la manera siguiente:



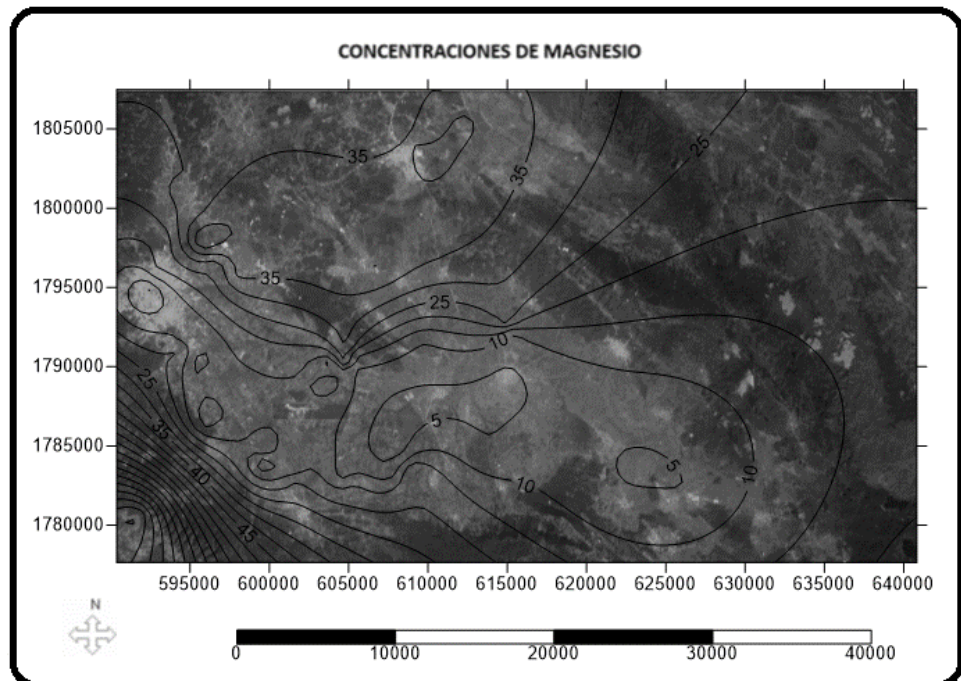
Lo más común en la naturaleza es que este proceso ocurra en presencia de otros minerales, principalmente dolomita, yeso y halita.

En la cuenca se observan valores mayores en el área noreste donde tenemos presencia de rocas calizas y disminuyendo gradualmente hacia el suroeste, en donde la zona aluvial se hace presente, sin observarse cambios abruptos.



Mapa 18.
Concentraciones de calcio en la cuenca Río Grande, Comitán

Mapa 19.
Concentraciones de magnesio en la cuenca Río Grande, Comitán



Los mapas 18 y 19 nos dan una clara idea de la ubicación en proporciones de las calizas y dolomías en la región de estudio. Haciendo una comparación en la distribución de las concentraciones podemos decir que las proporciones de calcio se hacen mayores hacia el suroeste, mientras que las de magnesio se incrementan ligeramente de forma radial. Es claro que tenemos mayor concentración de iones de calcio que de magnesio, lo que nos indica mayor cantidad de rocas calizas.

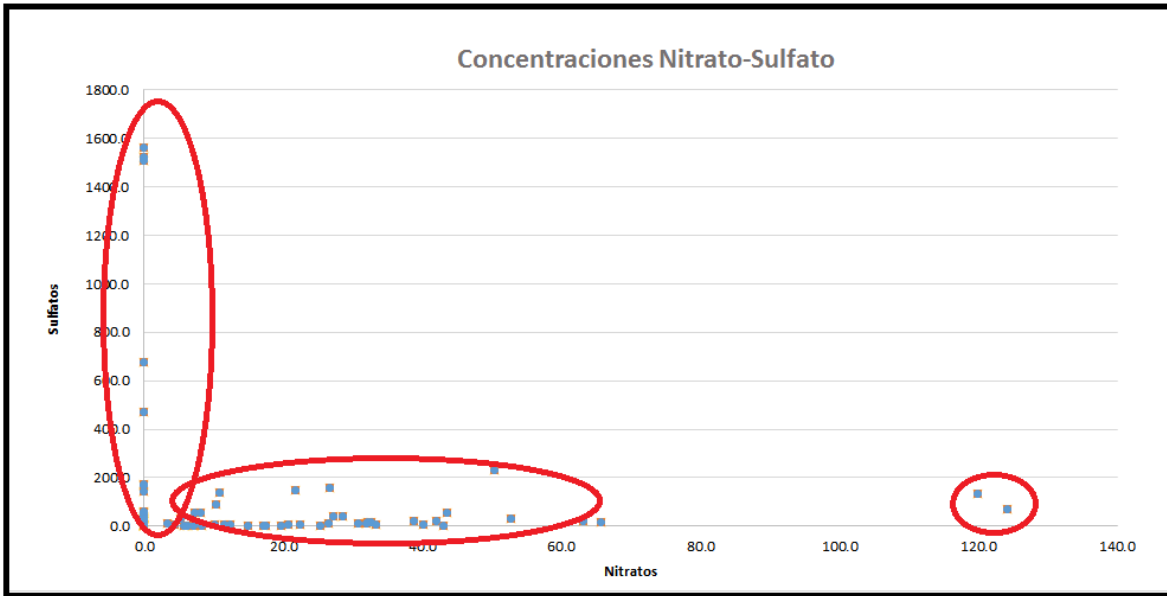


Tabla 12. Valores de concentraciones Nitrato-Sulfato

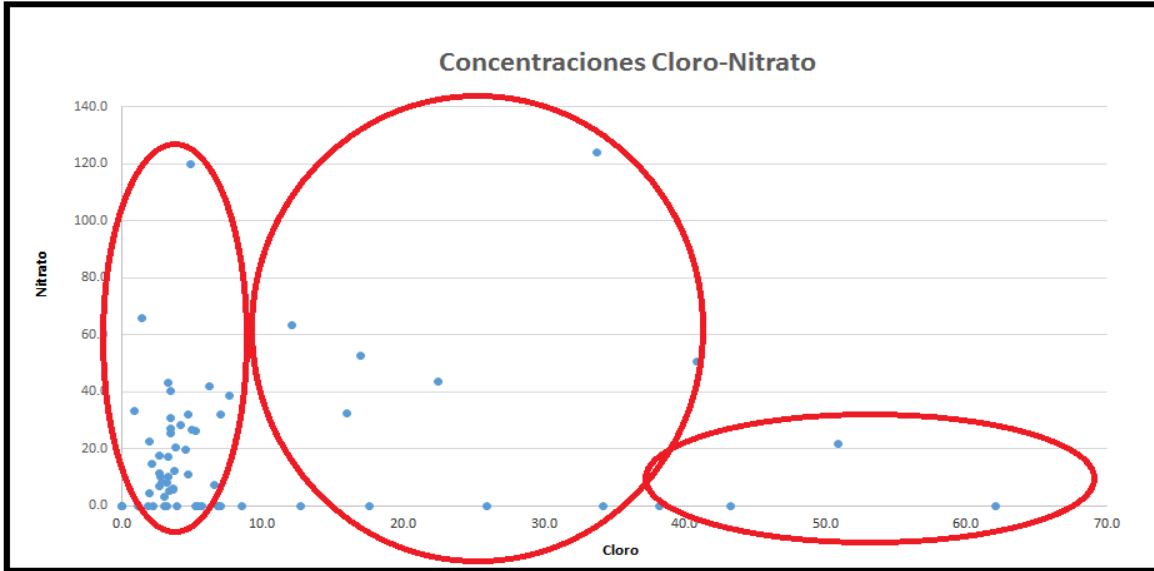


Tabla 13. Valores de concentraciones Cloro -Nitrato

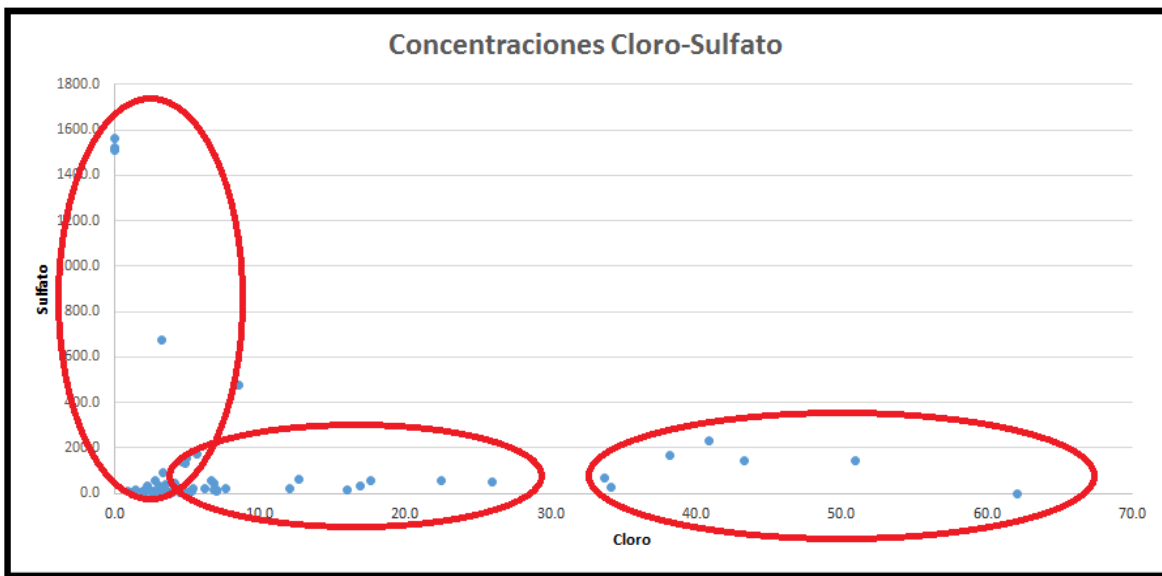


Tabla 14. Valores de concentraciones Cloro -Sulfato

Las tablas 12, 13 y 14 se muestran datos complementarios que ayudan a confirmar la distribución de las concentraciones de sulfato, nitrato y cloro en la cuenca.

En la tabla de Nitrato-Sulfato podemos ver un gran número de muestras con valores medios, sin preferencia por algún ion. Por el contrario, la tabla 13 donde se muestran valores de cloro-nitrato, tenemos mayor concentración de muestras con valores

altos en el ion nitrato. Finalmente, la última grafica cloro-sulfato indica una mayor proporción de valores clorados.

Por lo general, en zonas agricultoras se usan "fertilizantes triples", ricos en iones sulfatos, nitratos y fosfatos, como ya se había mencionado anteriormente; esta información nos dan una relación lógica en los datos obtenidos en las gráficas anteriores. Por lo que es natural encontrar muestras de agua sulfatada y con nitrato, como se muestra en la tabla 12.

Las aguas cloradas junto con iones de nitrato (como se observa en la tabla 13), explican la relación de contaminantes, como pueden ser fertilizantes o aguas residuales descargadas por los poblados, dichos valores fueron obtenidos en zonas agricultoras.

Analizando las aguas cloradas-sulfatadas, podemos ver que la ubicación geográfica de ambas es la misma. Esto indica que el cloro, más que ser de origen por contaminantes, es por arcillas de la zona aluvial que se encuentran aledañas a las formaciones de yeso.

CAPÍTULO 6

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Con la mayor información disponible y con los resultados que integran el presente estudio se concluye que:

- I. El origen de la composición química del agua se debe a los iones que componen a las rocas sedimentarias en las que se localiza la cuenca. Por lo que los cationes de calcio y magnesio son aportados por rocas calizas y dolomías.
- II. Las concentraciones de sulfato en el sureste de la cuenca son consecuencia de aguas residuales emanadas principalmente por el poblado de
- III. Las aguas con mayor concentración de nitrato se ubicaron justamente en zonas de cultivo, por lo que es fácil inducir la presencia de aguas contaminadas por agroquímicos, ya que por lo general, los pesticidas están hechos a base de sulfato, nitrato y fósforo.
- IV. Las aguas residuales emanadas por los poblados de La Independencia, Emiliano Zapata, El Triunfo y la zona cercana a la Carretera Trinitaria-Palenque están alterando de igual forma a la composición química del agua, aportando una concentración anormal de cloro.
- V. Las aguas cloradas analizadas en Comitán y Trinitaria son naturales, es decir, su origen no se debe por efectos antrópicos, sino debido a las arcillas de la zona aluvial del Cenozoico tardío.
- VI. Los análisis químicos interpretados con el programa de computo AcuaChem versión 4.0 y Diagrammes, permiten concluir que el agua subterránea corresponde al tipo genético Bicarbonatada cálcica-magnésica en su mayoría, y sulfatada-cálcica.

- VII. La topografía alta del norte y este de Comitán son fuentes de aporte de agua que ayudan a la regeneración de la cuenca, sin embargo habría que hacer un análisis estructural detallado para poder confirmar las posibles entradas del agua.

- VIII. El control de la contaminación por fertilizantes es difícil debido a su naturaleza difusa, por ello la importancia de preservarlos sin rebasar Límites Máximos Permisibles de contaminantes.

- IX. Debido a la rápida tasa de renovación de la cuenca, no es recomendable la remediación de las aguas contaminadas, sin embargo, se podría instalar una pequeña planta potabilizadora de agua para consumo humano.

Recomendaciones

- I. Realizar un diagrama de flujo más amplio y posteriormente un diagrama de flujo de contaminantes con ayuda de trazadores.

- II. Hacer un estudio geofísico del área para conocer las estructuras geológicas que están sirviendo como barrera a la cuenca (posiblemente gravimétrico, visto desde el punto económico).

- III. Hacer una perforación por recuperación o algún análisis geofísico para saber la profundidad de la zona aluvial y de esta forma dar una idea de la tasa de filtración de contaminantes por unidad de tiempo, con objetivo de preservar la calidad del agua subterránea.

- IV. Se recomienda complementar en mucho los análisis químicos del agua para determinar si cumple con los parámetros previstos en la Norma Oficial Mexicana No. 127, para calidad de agua potable.

- V. Es evidente que el abuso de los agroquímicos están afectando la calidad de agua, por ello se propone concientizar a los agricultores ofreciéndoles cursos con algunos pesticidas menos dañinos y que afecten menos al ecosistema.

BIBLIOGRAFÍA

Alcalinidad del agua. Método ASTM D 1067-92.

American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994
Determinación de Conductividad eléctrica del agua. Método ASTM D 1125-91.

American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994.
Determinación de Nitratos en agua. Método ASTM D 1125-91.

American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994.
Determinación de Sulfuros en agua. Método ASTM D 1125-91.

American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994.
Determinación de dureza en agua. Método ASTM D 1126-92.

Antonio Creus. Instrumentación Industrial, 8va. Ed. Marcombo. España, 2011.
Unidad 7.1.7.

Arellano M. J. L. 2005. Apropiación territorial, deterioro ambiental y gestión de recursos hídricos en la cuenca superior del Río Cuxtepeques, Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

BÖSE, EMIL, 1896, Geología de Chiapas y Tabasco: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Geológico de México, Boletín 20,113 p.

Böse, E., 1905, Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco: Bol. Inst. Geol. México.

CONEY, P.J., 1983, Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe: Inst. Mex. Petróleo, Revista, 15.

CONEY, P.J. and CAMPA, M.F., 1984, Lithotectonic terrane map of Mexico: U.S. Geol. Survey, Open-file report 84-523.

Castro Mora, José, Schlaepfer, C. J.; y Martínez-Rodríguez E., 1975. Estratigrafía y microfacies del Mesozoico de la Sierra Madre del sur, Chiapas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos.

Castro Mora, J.T., Carta de Terrenos y Conjuntos Estratotectónicos: Instituto Mexicano del Petróleo, Boletín Informativo núm. 56, p. 27

Castro Mora, Ortiz Hernández. GEOLOGICAL-MINING MONOGRAPH OF THE STATE OF CHIAPAS. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Coordinación General de Minería. Consejo General de Recursos Minerales. México, 2010.

Comisión nacional de áreas naturales protegidas. "Programa de monitoreo de calidad del agua". Estudio para monitorear los parámetros de calidad de agua de las lagunas comunicadas con el sistema lagunar Tepancoapan. Comitán de Domínguez, Chiapas, 2011.

Comité Estatal De Información Estadística Y Geografía De Chiapas. Pagina Oficial Web: <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx>

Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP Y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello México. 1ª. Ed. Estados Unidos Mexicanos, 2007.

Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. Datos estadísticos de los municipios de Chiapas, 2011.

De-la Cruz-Reyna, S., Armienta, M.A., Zamora, V., Juárez, F., 1989, Chemical changes in spring waters at Tacaná Volcano, Chiapas, México: Journal of Volcanology and Geothermal.

De La Rosa, J.L., Eboli, A. Y Dávila, M., 1989, Geología del estado de Chiapas: México, D.F., Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Construcción, Unidad de Estudios de Ingeniería Civil, Subjefatura de Estudios Geológicos, Departamento de Geología, 192 p.

Duffield, W.A., Tilling, R.I., Canul, R., 1984, Geology of El Chichón volcano, Chiapas, México: Journal of Volcanology and Geothermal.

E. López Ramos. Geología de México Tomo III, Edición Escolar, 1979.

E. Jimenez Fernandez. Estudio Geológico de Proyecto Hidroelectrico Itzantun, Río Tacotalpa, Estado de Chiapas. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1979.

Evolución estructural del sureste de México; paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas mesozoicas: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, 1985. Revista del Instituto de Geología, v.5, núm. 2.

Fagundo, J.R., 1990. Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. I- Estudio mediante simulación química del efecto de la litología. Voluntad Hidráulica, 82: 28-37.

Ferrusquía-Villafranca, Ismael, 1996, Contribución al conocimiento geológico de Chiapas-El área Ixtapa-Soyaló: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 109.

Freeze, R.A. y Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Prentice Hall, Inc. pp. 367-389.

Faustino M.J y García S. (2004). Manejo de cuencas hidrográficas. Conceptos, gestión, planificación, implementación y monitoreo. San Salvador, El Salvador.

F. J. Pettijhon. Rocas Sedimentarias. Edición Eudeba. 1963.

García García y Edith F. Kauffer M. Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: Un acercamiento a su delimitación y problemática general. 23 (45) México enero-junio 2011.

Gibson, J.B.,1936a, Estratigrafía y tectónica de la zona costera del Golfo entre el 19° 34' latitud Norte y el Río Coatzacoalcos, Ver.: Bol. Soc. Geol. Mex., Tomo IX, No 5.

Gutiérrez-Gil, R., 1956, Geología del Mesozoico y estratigrafía pérmica del Estado de Chiapas, in XX Congreso Geológico Internacional, Guidebook, Excursion C-15: Mexico, D.F., 1-82.

Gams I (1991a). The origin of the term karst in the time of transition of karst (kras) from deforestation to forestation, Proceedings of the international conference on environmental change in karst areas (IGU/UIS), Quaderni del dipartimento di geografia 13, Università di Padova.

Gams I (2003). Kras v sloveniji v prostoru in casu, Založba ZRC, ZRC SAZU, Ljubljana, 516 pp.

Gonzalo F. Chirinos. Comitán-Trinitaria, Chis. Inédito (PEMEX) Z. S. México, 1966.

Gutierrez G. R. Geología del Mesozoico y Estratigrafía Pérmica del Estado de Chiapas. Congreso Geológica Internacional-C-15, México, 1956.

Heaton, T. 1985. Isotopic and chemical aspects of nitrate in the ground water of the Springbok Flats. Water, SA. Vol. 11, No. 4, pp. 199-208.

Hernández-García, Rosalio, 1973. Paleogeografía del Paleozoico de Chiapas, México: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, V. 25

Hendry, J. 1988. The nitrate problem. Water Well Journal. Vol. 42, No. 8, pp. 4-5.

Hurlburt, S. 1988. Water Well Journal. Vol. 42, No. 8, pp. 37-42.

1995c, Cartas hidrológicas (aguas superficiales e hidrológicas): Aguascalientes, Ags., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, scale 1:250,000.

Instituto de Salud estatal. Datos estadísticos de Chiapas y sus municipios, 2010.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Anuario Estadístico de Chiapas, 2010

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 1997, Anuario estadístico del estado de Chiapas: Aguascalientes, Ags., Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Gobierno del estado de Chiapas.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2000. Censo de población y vivienda. México, D. F.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Carta Geológico-Minera E15-12-D15-3 Las Margaritas, 2007. Escala 1:250 000

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Carta Geológico-Minera E15-11 Tuxtla Gutierrez, 1997. Escala 1:250 000

J. J. Durán, B. Andreo y F. Carrasco. Karst, cambio climático y aguas subterráneas. Ministerio de Educación y Ciencia. España. 2006.

José Luis de la Roas Z., Aldemar Eboil, y Moisés Dávila, Geología del Estado de Chiapas, Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Construcción, Superintendencia de estudios de la Zona Sureste, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Kranjc A (2001a). Classical karst- contact karst; A symposium. Actacarsologica.

LÓPEZ-RAMOS, ERNESTO, 1980, Geología de México, 2a ed.: México, D.F., edición escolar, tomo 2, 454 p.

México: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 24,109-123.

MORALES-SALINAS, AMADO, Y OROZCO-GUTIÉRREZ, MARIO, 1988, Monografía geológico-minera, del estado de Chiapas: México, D.F., Consejo de Recursos Minerales, Subgerencia Regional Zona Sur, informe técnico, 16 p.

Morán-Zenteno, D. J. 1984. Geología de la República Mexicana. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 77-83.

Mullerried, F. La geología de Chiapas, Gobierno Constitucional del estado de Chiapas. 1957.

N. Llopis Llado. Fundamentos de Hidrogeología Cárstica. Ed. Blume, 1970.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996.

NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Núñez S., Jorge. 2001. Manejo y Conservación de Suelos. San José, EUNED.

Organización Mundial de la Salud, 1995. Calidad del agua Potable.

Padilla y Sánchez, R.J., 2007, Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59 (1), 19–42.

Raymond E. Davis, Kenneth W. Whitten. Química 8va ed. Cengage Learning Publisher, 2008.

Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Geológico de México, 1905. Boletín 20, p. 5–100.

Richards, H. G., 1963. Stratigraphy of earliest Mesozoic sediments in southeastern Mexico and western Guatemala: Am Assoc. Petroleum Geologist Bull., v. 47.

Romero Morales P. R. Estudio Geológico Petrolero del Anticlinal Bonampak, Estado de Chiapas. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1976.

Roldán Pérez, Gabriel. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad del Antioquia, 2003.

Ruiz Meza y Arellano M. Transferencia de tecnología para la conservación del suelo y agua en micro cuencas de Chiapas. Comisión Nacional del Agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Estados Unidos Mexicanos, 2007.

Sapper, K., 1894, Informe sobre la geografía física y la geología de los estados de Chiapas y Tabasco: México, D.F., Agricultura, Minería e Industria de México, Boletín 3.

Sanchez M. de O. R. 1973. Proyecto Mesozoico Arrecifal de la Sierra de Chiapas. Inédito (PEMEX) Z. S. 1973.

Sánchez-Montes de Oca, R., 1969, Estratigrafía y paleogeografía del Mesozoico de Chiapas: Seminario sobre exploración petrolera, Instituto Mexicano del Petróleo, México, v. 3, 31 p.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Anuarios estadísticos del sector comunicaciones y transportes (2000).

Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R.C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Geological Society of America, Special Paper.

Servicio Geológico Mexicano y Secretaría de Seguridad Pública. Atlas de peligros de la ciudad de Comitán, estado de Chiapas. Año 2012, pp.3 y 7-23.

Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAT, 1996.

Sedlock, L.R., Ortega-Gutiérrez, Fernando Y Speed, C., R., 1993, Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico: The Geological Society of America, Special Paper 278.

Sedue, 1989, Información básica sobre las áreas naturales protegidas de México: México, D.F., Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, folleto explicativo.


Silva-Romo y Mendoza-Rosales, 2009. Evaluación geológica de los modelos para el truncamiento cenozoico del sur de México: Erosión por subducción y detachment del bloque Chortís. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Volumen 26 N.1.

Vargas Márquez, Fernando. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, D.F. 1984.

VINIEGRA, F.: "Age and Evolution of Salt Basins of Southern México". Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull., 55, 478-494, Tulsa 1971.

Zamora, S. C. y J. López M. Informe Técnico 2006. Programa de Manejo de Agua y Preservación de Suelos, en el DTT O11 Comitán – Margaritas, de CONAGUA. INIFAP Ocozocoautla, Chis. 2006.

ANEXO

Sample Summary Report				
Sample ID	Grupo 1			
Sample Date				
Station	pozo			
Location	1			
Geology				
Watertype	Ca-Mg-HCO3			
Temperature (°C)				
pH	7.00			
Conductivity	uS/cm			
Sum of Anions	104.07	meq/L		
Sum of Cations	111.38	meq/L		
Balance	-3.40	%		
Total dissolved solids	8190.20	mg/L		
Total hardness	4800.83	mg/l CaCO3		
Alkalinity	4115.66	mg/l CaCO3		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	307.00	13.35	13.35	
K	82.10	2.100	2.100	
Ca	1259.30	31.42	62.84	
Mg	402.10	16.54	33.09	
Cl	194.20	5.48	5.48	
SO4	556.30	5.79	11.59	
NO3	371.20	4.76	4.76	
HCO3	5018.00	82.24	82.24	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.13	1.90	0.319	0.194
Ca/SO4	2.26	5.42	0.152	0.364
Na/Cl	1.58	2.44	0.556	0.858
Cl/Br			287	648
DESCRIPTION:				
	PROJECT:		PROJECT NO:	
	CLIENT:		DATE:	

Sample Summary Report

Sample ID	Grupo 2			
Sample Date				
Station	pozo			
Location	1			
Geology				
Watertype	Ca-Mg-HCO ₃			
Temperature (°C)				
pH	7.00			
Conductivity	uS/cm			
Sum of Anions	33.33	meq/L		
Sum of Cations	35.06	meq/L		
Balance	-2.53	%		
Total dissolved solids	2642.94	mg/L		
Total hardness	1604.63	mg/l CaCO ₃		
Alkalinity	1547.20	mg/l CaCO ₃		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	59.81	2.60	2.60	
K	15.53	0.397	0.397	
Ca	332.29	8.29	16.58	
Mg	188.14	7.74	15.48	
Cl	15.04	0.42	0.42	
SO ₄	15.27	0.16	0.32	
NO ₃	130.45	1.67	1.67	
HCO ₃	1886.41	30.92	30.92	
Ratios		Comparison to Seawater		
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1.77	1.07	0.319	0.194
Ca/SO ₄	21.76	52.12	0.152	0.364
Na/Cl	3.98	6.13	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

DESCRIPTION:



Company
Logo

PROJECT:

PROJECT NO:

CLIENT:

DATE:

Sample Summary Report

Sample ID Grupo 3
 Sample Date
 Station pozo
 Location 1
 Geology
 Watertype Ca-Mg-HCO₃
 Temperature (°C)
 pH 7.00
 Conductivity uS/cm
 Sum of Anions 34.71 meq/L
 Sum of Cations 35.13 meq/L
 Balance -0.59 %

Total dissolved solids 2719.14 mg/L
 Total hardness 1585.07 mg/l CaCO₃
 Alkalinity 1631.33 mg/l CaCO₃

Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l
Na	67.94	2.96	2.96
K	19.45	0.497	0.497
Ca	334.40	8.34	16.69
Mg	182.11	7.49	14.99
Cl	20.99	0.59	0.59
SO ₄	21.64	0.23	0.45
NO ₃	83.62	1.07	1.07
HCO ₃	1988.99	32.60	32.60

Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1.84	1.11	0.319	0.194
Ca/SO ₄	15.45	37.01	0.152	0.364
Na/Cl	3.24	4.99	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

DESCRIPTION:



PROJECT:

PROJECT NO:

CLIENT:

DATE:

Sample Summary Report

Sample ID	Grupo 4			
Sample Date				
Station	pozo			
Location	1			
Geology				
Watertype	Ca-Mg-HCO3			
Temperature (°C)				
pH	7.00			
Conductivity	uS/cm			
Sum of Anions	13.97 meq/L			
Sum of Cations	14.38 meq/L			
Balance	-1.47 %			
Total dissolved solids	1095.19 mg/L			
Total hardness	657.46 mg/l CaCO3			
Alkalinity	673.79 mg/l CaCO3			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	24.40	1.06	1.06	
K	7.12	0.182	0.182	
Ca	143.53	3.58	7.16	
Mg	72.61	2.99	5.97	
Cl	5.59	0.16	0.16	
SO4	10.23	0.11	0.21	
NO3	10.20	0.13	0.13	
HCO3	821.51	13.46	13.46	
Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1.98	1.20	0.319	0.194
Ca/SO4	14.03	33.61	0.152	0.364
Na/Cl	4.36	6.73	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

DESCRIPTION:



PROJECT:

PROJECT NO:

CLIENT:

DATE:

Sample Summary Report

Sample ID	Grupo 5			
Sample Date				
Station	pozo			
Location	1			
Geology				
Watertype	Ca-Mg-SO ₄ HCO ₃			
Temperature (°C)				
pH	7.00			
Conductivity	uS/cm			
Sum of Anions	192.35	meq/L		
Sum of Cations	189.85	meq/L		
Balance	0.65	%		
Total dissolved solids	13664.41	mg/L		
Total hardness	8771.77	mg/l CaCO ₃		
Alkalinity	3416.06	mg/l CaCO ₃		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	293.51	12.77	12.77	
K	70.47	1.802	1.802	
Ca	2716.98	67.79	135.58	
Mg	482.37	19.85	39.69	
Cl	250.46	7.06	7.06	
SO ₄	5507.26	57.37	114.73	
NO ₃	178.35	2.29	2.29	
HCO ₃	4165.01	68.26	68.26	
Ratios		Comparison to Seawater		
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	5.63	3.42	0.319	0.194
Ca/SO ₄	0.49	1.18	0.152	0.364
Na/Cl	1.17	1.81	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

DESCRIPTION:



PROJECT:

PROJECT NO:

CLIENT:

DATE:

Sample Summary Report

Sample ID	Grupo 6		
Sample Date			
Station	pozo		
Location	1		
Geology			
Watertype	Ca-HCO ₃ -SO ₄		
Temperature (°C)			
pH	7.00		
Conductivity	uS/cm		
Sum of Anions	82.01	meq/L	
Sum of Cations	75.22	meq/L	
Balance	4.32	%	
Total dissolved solids	5957.94	mg/L	
Total hardness	3229.46	mg/l CaCO ₃	
Alkalinity	2236.51	mg/l CaCO ₃	
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l
Na	220.55	9.59	9.59
K	42.93	1.098	1.098
Ca	989.17	24.68	49.36
Mg	184.34	7.58	15.17
Cl	63.07	1.78	1.78
SO ₄	1665.61	17.35	34.70
NO ₃	65.41	0.84	0.84
HCO ₃	2726.86	44.69	44.69
Ratios		Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l
Ca/Mg	5.37	3.25	0.319
Ca/SO ₄	0.59	1.42	0.152
Na/Cl	3.50	5.39	0.556
Cl/Br			287
			648

DESCRIPTION:



PROJECT:

PROJECT NO:

CLIENT:

DATE:

Sample Summary Report

Sample ID	Grupo 7		
Sample Date			
Station	pozo		
Location	1		
Geology			
Watertype	Ca-HCO3-SO4		
Temperature (°C)			
pH	7.00		
Conductivity	uS/cm		
Sum of Anions	27.26	meq/L	
Sum of Cations	26.93	meq/L	
Balance	0.60	%	
Total dissolved solids	2136.96	mg/L	
Total hardness	1096.87	mg/l CaCO3	
Alkalinity	826.50	mg/l CaCO3	
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l
Na	102.55	4.46	4.46
K	21.46	0.549	0.549
Ca	354.14	8.84	17.67
Mg	51.59	2.12	4.25
Cl	56.56	1.60	1.60
SO4	272.54	2.84	5.68
NO3	270.41	3.47	3.47
HCO3	1007.71	16.52	16.52
Ratios			Comparison to Seawater
	mg/l	mmol/l	mg/l mmol/l
Ca/Mg	6.86	4.16	0.319 0.194
Ca/SO4	1.30	3.11	0.152 0.364
Na/Cl	1.81	2.80	0.556 0.858
Cl/Br			287 648

DESCRIPTION:



PROJECT:

PROJECT NO:

CLIENT:

DATE: