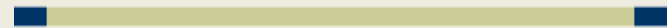


Evaluación hidrogeológica del acuífero poroso de las cuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego.

Ministerio de Medio Ambiente y

Recursos Naturales.

Gerencia de Hidrología



2014

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación hidrogeológica del acuífero poroso de las subcuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego, contempla el análisis e interpretación de la información hidrogeológica existente, así como de la información recopilada en campo, a través de las campañas de medición de niveles y toma de muestras de agua de pozos para la caracterización físico-química de las aguas subterráneas de la zona de estudio.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una evaluación de las condiciones hidrogeológicas predominantes en la zona de estudio, para contribuir al conocimiento del acuífero.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificación de unidades hidrogeológicas presentes en la zona, y sus principales características.
- Caracterización físico-química del agua subterránea en la zona de estudio.
- Elaboración del modelo conceptual del acuífero.
- Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero.

3. ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en las zonas bajas de las subcuencas denominadas Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego, las cuales se encuentran comprendidas en las regiones hidrográfica E y F, y cuya delimitación se describe de la siguiente manera:

Al Norte, en parte con la cordillera del Bálsamo y con la divisoria de aguas que drenan al lago de Ilopango y al Río Jiboa.

Al Oeste, con el parte aguas de la subcuenca del Estero San Diego, cuya cabecera se encuentra en el municipio de Nuevo Cuscatlán, en su parte media atraviesa las cercanías de Zaragoza y finaliza en los alrededores de la playa San Diego.

Al Sur, con el océano pacífico.

Al Este, con el parte aguas de la cuenca del Río Jiboa.

El área total comprendida en las subcuencas mencionadas comprende 1099.77 Km².

El área del acuífero poroso corresponde a 218.8 Km².

4. METODOLOGÍA

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron diferentes etapas de investigación:

- Etapa de investigación Bibliográfica:

En esta se realizó una recopilación de la información hidrogeológica, geológica, topográfica e hidrológica existente en la zona de estudio, a partir de esta, se diseñaron las campañas de trabajo de campo correspondientes a la siguiente etapa de la investigación.

- Etapa de trabajo de campo:

Primeramente se realizaron giras de reconocimiento e identificación de sitios representativos de las diferentes condiciones hidrogeológicas de la zona de estudio.

Se realizaron dos campañas de medición de niveles estáticos y toma de muestras de agua en los pozos de monitoreo. La primera campaña se realizó durante los meses de abril y mayo, mientras que la segunda fue llevada a cabo en los meses de septiembre y octubre, con el objetivo que los resultados obtenidos fuesen representativos de las condiciones hidrogeológicas tanto de la época seca como de la época lluviosa.

- Etapa de análisis e interpretación de resultados:

A partir de los resultados obtenidos de las muestras de agua de los pozos de monitoreo, así como de los niveles estáticos medidos durante las diferentes campañas de investigación, se realizó la integración e interpretación de los mismos, y su interrelación con las variables físicas de la zona de estudio.

5. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La descripción de la geología aflorante en superficie, se hace con respecto a la zona delimitada por las subcuencas descritas, con el fin de enmarcar la zona de interés dentro de su contexto (figura 1).

FORMACION SAN SALVADOR:

En la zona se encuentran presentes los miembros siguientes:

Miembro s2: presentes en el sector del Volcán de San Vicente, las cuales son descritas como andesitas piroxénicas porfidíticas con fenocristales de plagioclasas, augita e hiperstena.

Miembro s3'a: Este, es descrito como una secuencia de piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas (tobas color café), en parte contemporáneas con los miembros s2 y s3'b. Aflora en el sector Noreste de la zona de estudio en los alrededores de Antiguo Cuscatlán y San Marcos.

Miembro s3'b: Descrito como una unidad constituida por efusivas ácidas, en parte contemporáneas con los miembros s2, s3'a, s4 y s5'a. Localizadas en el sector del Lago de Ilopango.

Miembro s4: Definido como una secuencia de piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas. Dichos materiales afloran principalmente en los alrededores del lago de Ilopango y en la parte media de las subcuencas de los Ríos Jiboa y Comalapa.

Miembro s5'b: este miembro es descrito como una acumulación de escorias, tobas de lapilli y cinder. Se presenta pequeños afloramientos al Noroeste del lago de Ilopango.

Depósitos sedimentarios del Cuaternario Qf: Estos constituyen la principal unidad acuífera de la zona.

Depósitos sedimentarios del cuaternario (Qf), los cuales se subdividen en:

- a) Barras costeras con nivel antiguo de costa (Q's). Son materiales arenosos de finos a gruesos, con muy pocos sedimentos arcillosos por lo que son muy permeables.
- b) Depósitos acuáticos con intercalaciones de piroclástitas (Q'f). Son depósitos de materiales producto de aluviones con intercalaciones de piroclastos volcánicos. Se encuentran distribuidos, principalmente de la parte media de la zona de estudio.

- c) Depósitos de estuario (con y sin manglar) (Q'm). Son sedimentos areno-arcillosos, con abundantes sedimentos de materia orgánica y biológica. Facilita la retención del agua y por ello crea zonas pantanosas. Se encuentran en la parte baja de la zona de estudio, próximas a las barras costeras.
- d) Playa con nivel antiguo de costa. Estos son materiales arenosos, que en un momento delimitaron la playa, tienen una permeabilidad alta. Dado que se encuentran próximos a la playa, juegan un papel muy importante en la recarga vertical de la zona.
- e) Suelos anmoor, estos depósitos gran cantidad de materia orgánica humificada mezclada con arcilla, estos son originados en medios que temporalmente se encontraron inundados.

La Formación San Salvador aflora en el 39 %, de la zona que se describe.

FORMACIÓN BÁLSAMO:

Los miembros de esta formación que afloran en la zona se detallan a continuación:

Miembro b1: el cual está constituido por epiclastitas volcánicas, piroclastitas e ignimbritas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas. Este miembro es el predominante en el sector oeste la zona de estudio, y al sur del Lago de Ilopango.

Miembro b2: secuencia de rocas volcánicas de tipo efusivas básicas-intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas subordinadas.

Miembro b3: se encuentra constituido por rocas efusivas básicas-intermedias. En la zona de estudio se tienen afloramientos de este miembro en diferentes sectores, siendo estos en las cercanías del Cerro de San Jacinto, al Sureste del lago de Ilopango y en los alrededores de la cabecera municipal de Cojutepeque.

FORMACIÓN CUSCATLÁN:

Los materiales de la formación Cuscatlán, que aflora en la zona, corresponde a los miembros c1, c2 y c3, y están presentes en el 30% del área comprendida por las citadas subcuencas.

Miembro c1: este miembro está constituido por unidades volcánicas correspondientes a tobas, que de acuerdo a Weyl (1952, 1957,) los diferentes tipos que afloran en la zona de estudio, corresponden a una misma etapa volcano-tectónica, siendo estas las tobas fundidas de Comalapa, Zaragoza y las localizadas al norte del Lago de Ilopango.

Las tobas fundidas de Comalapa tienen una textura similar la cual en su parte inferior está constituida por tobas brechosas, sin textura regular, mientras que en la parte superior es vidriosa y dura, de textura paralela.

Las tobas localizadas al norte del Lago de Ilopango, se caracterizan por la abundancia de pómez, lapilli de poméz, fragmentos angulares de lavas dacíticas vítreas y andesitas principalmente, entre una masa fina de cenizas no estratificadas.

Miembro c2: Definido como una sección de rocas volcánicas efusivas de tipo ácido y ácido-intermedio, en parte contemporánea con el miembro c1. Este miembro aflora en superficie en pequeñas áreas al norte y al sur del Lago de Ilopango.

Miembro c3: Corresponde a una unidad constituida por rocas volcánicas de tipo andesítica y basáltica, en parte contemporánea con el miembro c2. Los afloramientos de este miembro se encuentran en pequeñas áreas ubicadas en los alrededores de Nuevo Cuscatlán, Panchimalco y al sur del Lago de Ilopango.

Evaluación hidrogeológica del acuífero poroso de las cuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego

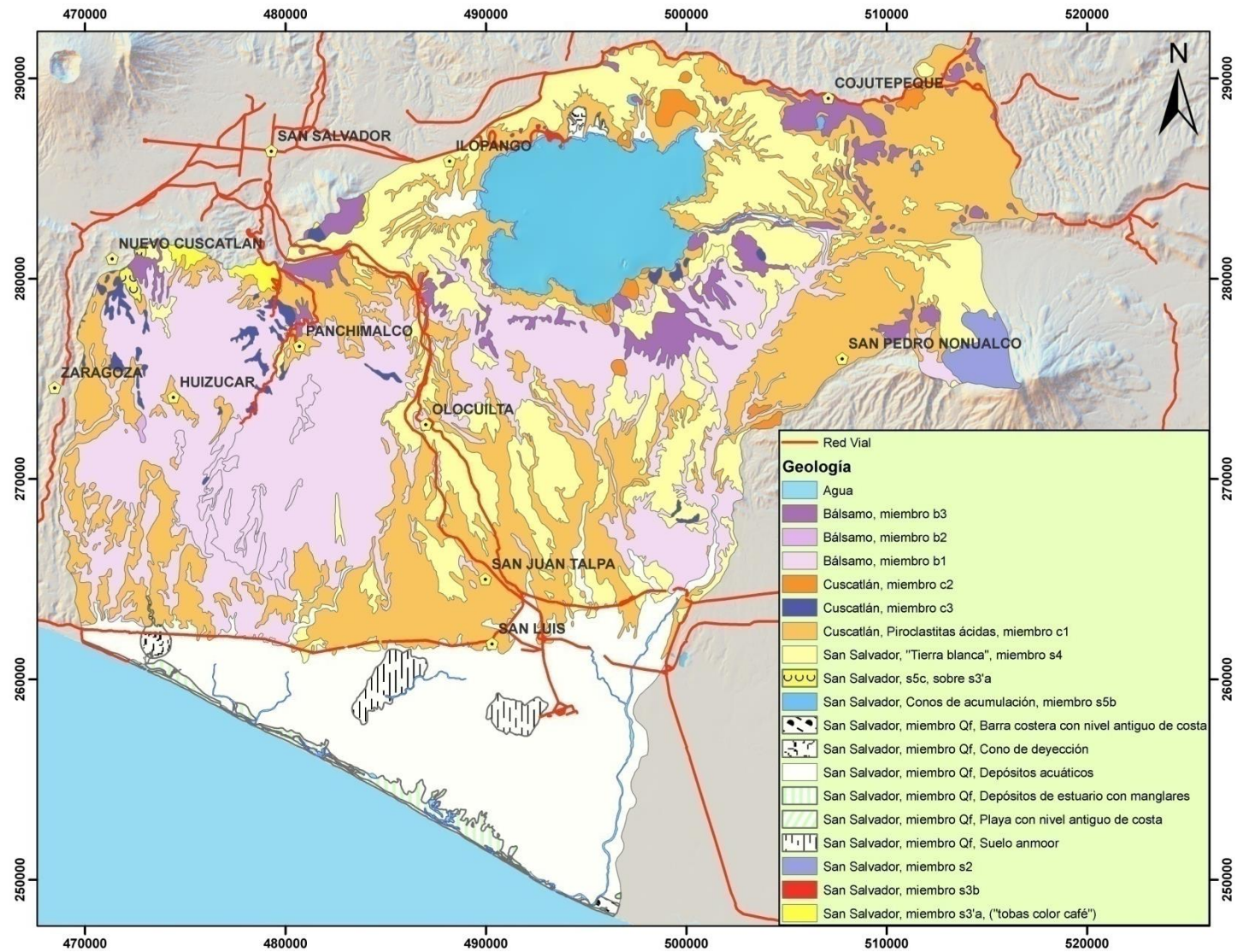


Figura 1. Mapa Geológico de la zona de estudio. Fuente: Mapa geológico de El Salvador elaborado por la misión alemana 1978.

6. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.

De acuerdo a la Geología aflorante en la zona y con base al mapa Hidrogeológico (ANDA-COSUDE 2008), las unidades identificadas en las subcuencas en estudio son (figura 2):

6.1 Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Gran Extensión y Posiblemente Alta Producción.

Esta unidad la constituyen, principalmente, rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Entre las rocas volcánicas se pueden distinguir flujos y coladas de lavas que provienen de los centros de erupción volcánica. Dichos materiales pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a altas, como consecuencia de su porosidad secundaria (fallamiento existente).

En la zona delimitada por subcuencas que conforman el área estudio, se encuentra esta unidad en el sector Noreste, el cual corresponde a la vertiente Noroeste del Volcán de San Vicente.

6.2 Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Extensión Limitada y Productividad Media.

Unidad constituida principalmente por rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Esta Unidad presenta características similares, a las de la unidad de Acuífero Volcánico Fisurado de Gran Extensión, sin embargo, su productividad se ve limitada por las dimensiones de las áreas en las cuales está presente.

Este tipo de unidad se observa en pequeños los sectores cercanos a las cabeceras municipales de Zaragoza, Nuevo Cuscatlán y Panchimalco.

6.3 Unidad Acuíferos Locales de Extensión Limitada y Productividad Mediana a Baja.

Esta unidad está conformada principalmente por sedimentos aluviales (arenas, gravas, etc.) que han sido transportados por los ríos, desde la parte alta de los cerros hasta la planicie. Los materiales de esta unidad presentan una conductividad hidráulica de mediana a baja, que depende tanto de la granulometría, como de los grados de limpieza y compactación que presentan los materiales.

La presencia de esta unidad se tiene en los alrededores de Nuevo Cuscatlán, Panchimalco, Olocuilta y en las orillas del Lago de Ilopango, en el sector Norte.

6.4 Unidad Acuífero Porooso de Gran Extensión y Productividad Media.

Los materiales de esta unidad consisten principalmente en materiales piroclásticos aglomerados y re TRABAJADOS (pómez, lapillo, tobas), teniendo una distribución granulométrica que varía de fina a gruesa. Las conductividades hidráulicas pueden variar de medianas a bajas, como consecuencia al grado de cementación o compactación que pueden tener los granos de los materiales que la constituyen. Esta unidad puede tener más de 50 m de espesor.

Estos materiales conforman la unidad acuífera predominante en la zona, y la cual es el objeto de estudio en esta evaluación, cuya extensión es de aproximadamente 219 Km².

Esta unidad se localiza en la zona costera y forma parte del delta del Río Lempa, por lo que la extensión de este acuífero es mayor a la zona que se está evaluando.

6.5 Unidad de rocas no acuíferas.

Los materiales que conforman esta unidad están compuestos por flujos macizos de lavas, intercalados con tobas aglomeradas y brechosas, además de lahares cementados, presentando conductividades hidráulicas muy bajas o casi nulas, debido a su baja porosidad o a su alto grado de compactación y cementación.

Esta unidad representa el 47% de la zona de limitada por la subcuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego.

6.6 Unidad de Acuíferos Locales Generados por Sistemas de Fallas.

Constituida principalmente, por rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, distinguiéndose flujos y coladas de lavas provenientes de procesos tectónico-volcánicos originados en la zona. Los materiales de esta unidad pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a bajas, como consecuencia de su porosidad secundaria, que dan lugar a pequeños acuíferos locales.

En el zona delimitada por la subcuencas comprendidas dentro del área de estudio, se tienen manifestaciones de este tipo de unidad acuífera en los sectores de Panchimalco y Huizucar, donde se tienen afloramientos de manantiales.

7. MODELO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO.

En la zona comprendida por las subcuencas de los ríos Jiboa, Comalapa, Bocana de Toluca y Estero de San Diego, existen diferentes formaciones que conforman las diferentes unidades hidrogeológicas de la zona, sin embargo la evaluación que se realizó se enfocó en el acuífero poroso.

Este acuífero se encuentra en depósitos sedimentarios del Cuaternario, y se caracteriza por niveles freáticos someros con profundidades inferiores a los 15m.

La recarga en este acuífero, se da principalmente por la precipitación que infiltra en estos materiales correspondientes al miembro Qf, de la formación San Salvador. La permeabilidad de estos materiales permite que tenga lugar una recarga rápida, lo cual se evidencia, con la respuesta inmediata del ascenso de los niveles freáticos, en los pozos que captan este acuífero, una vez iniciada la época lluviosa (Cuadro 1).

En el sector de la Hacienda Loma del Gallo, existe un pozo excavado, que durante el presente año, ha mostrado un pequeño descenso de 10 cm. Registrado en el periodo comprendido de mayo a octubre del año 2014. Este comportamiento difiere del registrado en el año 2013 y del comportamiento que han presentado los otros pozos de la zona.

Existen además pozos perforados, que captan estratos más profundos del acuífero, conformados por sedimentos aluviales. De acuerdo con las columnas litológicas de los mismos, se identifican alternancias de materiales piroclásticos y sedimentos aluviales, los cuales tienen conexión hidráulica entre ellos. Ya que estos pozos perforados, a pesar de

Evaluación hidrogeológica del acuífero poroso de las cuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego

captar estratos más profundos, presentan niveles freáticos muy someros y coeficientes de almacenamiento característicos de acuíferos libres.

La dirección preferencial del flujo subterráneo, es con orientación Norte Sur.

Sitio	Coordenada X	Coordenada Y	Fecha	Profundidad de N.E.	Fecha	Profundidad de N.E.	Fecha	Profundidad de N.E.	Fecha	Profundidad de N.E.
	m	m		m		m		m		m
COM-07a	491798	261581	17/04/2013	6.48	04/10/2013	5.97	10/04/2014	7.78	01/10/2014	5.32
COM-08a	486852	258234	17/04/2013	3.94	04/10/2013	2.89	10/04/2014	3.94	01/10/2014	3.64
COM-25a	496150	254200	17/04/2013	3.04	04/10/2013	2.08	10/04/2014	2.97	01/10/2014	2.42
COM-34a	493673	252291	17/04/2013	3.74	04/10/2013	2.37	10/04/2014	4.21	01/10/2014	3.3
COM-10a	495203	248901	17/04/2013	2.63	04/10/2013	2.28	10/04/2014	2.77	01/10/2014	2.35
COM-11	487030	253232					10/04/2014	2.4	01/10/2014	1.62
LLT-01	484842	261828			29/10/2013	8.85	06/05/2014	9.31	01/10/2014	9.41
LLT-02	484344	261895			29/10/2013	6.54	06/05/2014	8	01/10/2014	7.06
LLT-03	481777	261429			29/10/2013	5.79	06/05/2014	7.26	01/10/2014	6.12
LLT-04	480555	260035			29/10/2013	5.43	06/05/2014	6.26		
LLT-04ca	479612	257336					06/05/2014	4.28	01/10/2014	3.9
LLT-05	477014	262444			29/10/2013	1.36	06/05/2014	4.83	01/10/2014	1.72
LLT-06	472083	261511			29/10/2013	1.25	06/05/2014	2.86	01/10/2014	1.44

No se pudo medir.

Cuadro 1. Resumen de niveles estáticos medidos durante las campañas realizadas en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre de los años 2013 y 2014.

Las variaciones de los niveles estáticos de los pozos y su distribución en la zona de estudio se muestran en la figura 2.

En los pozos perforados, no ha sido posible medir los niveles freáticos, debido a que por encontrarse en funcionamiento están sellados. Pero de acuerdo a registros de informes de perforación se ha identificado que los niveles estáticos de estos pozos se encuentran en un rango de 6 a 15 m de profundidad.

Evaluación hidrogeológica del acuífero poroso de las cuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego

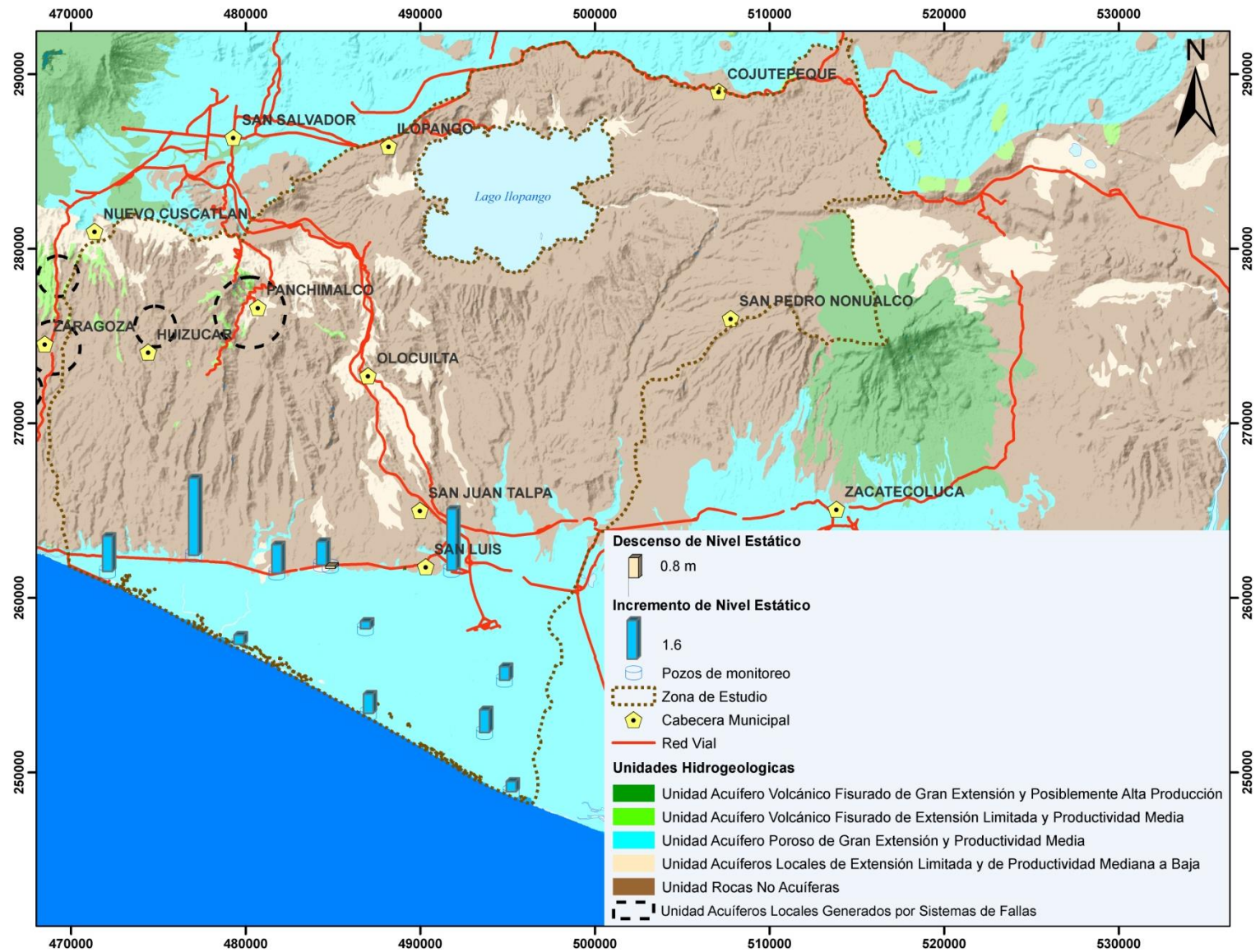


Figura 2. Unidades hidrogeológicas (Mapa ANDA-COSUDE) y variación de niveles piezométricos en la zona de estudio.

8. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Los resultados obtenidos de las campañas de muestreo en los pozos de monitoreo, permitieron realizar la caracterización físico-química del agua subterránea presente en la zona de estudio (cuadro 2).

Sitio	Caracterización físico química época lluviosa 2013	Caracterización físico química agosto 2014	Caracterización físico química época lluviosa 2014
COM-07a	Bicarbonatada Cálcica		Bicarbonatada Cálcica
COM-08a	Bicarbonatada Sódica		Bicarbonatada Sódica
COM-10a	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
COM-25a	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
COM-34a	Bicarbonatada Sódica		Bicarbonatada Sódica
LLT-01	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
LLT-02	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Sódica
LLT-03	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
LLT-04	Bicarbonatada Cálcica		Bicarbonatada Sódica
LLT-05	Bicarbonatada Sódica		Bicarbonatada Sódica
LLT-06	Bicarbonatada Cálcica		Bicarbonatada Cálcica
Pozo San Luis Talpa			Bicarbonatada Sódica
Pozo Loma del Gallo			Bicarbonatada Sódica
Pozo Zambomera			Bicarbonatada Sódica

Cuadro 2: Caracterización físico-química de los pozos de monitoreo en campañas de muestreo.

Diagrama de Piper (campeña octubre 2013)

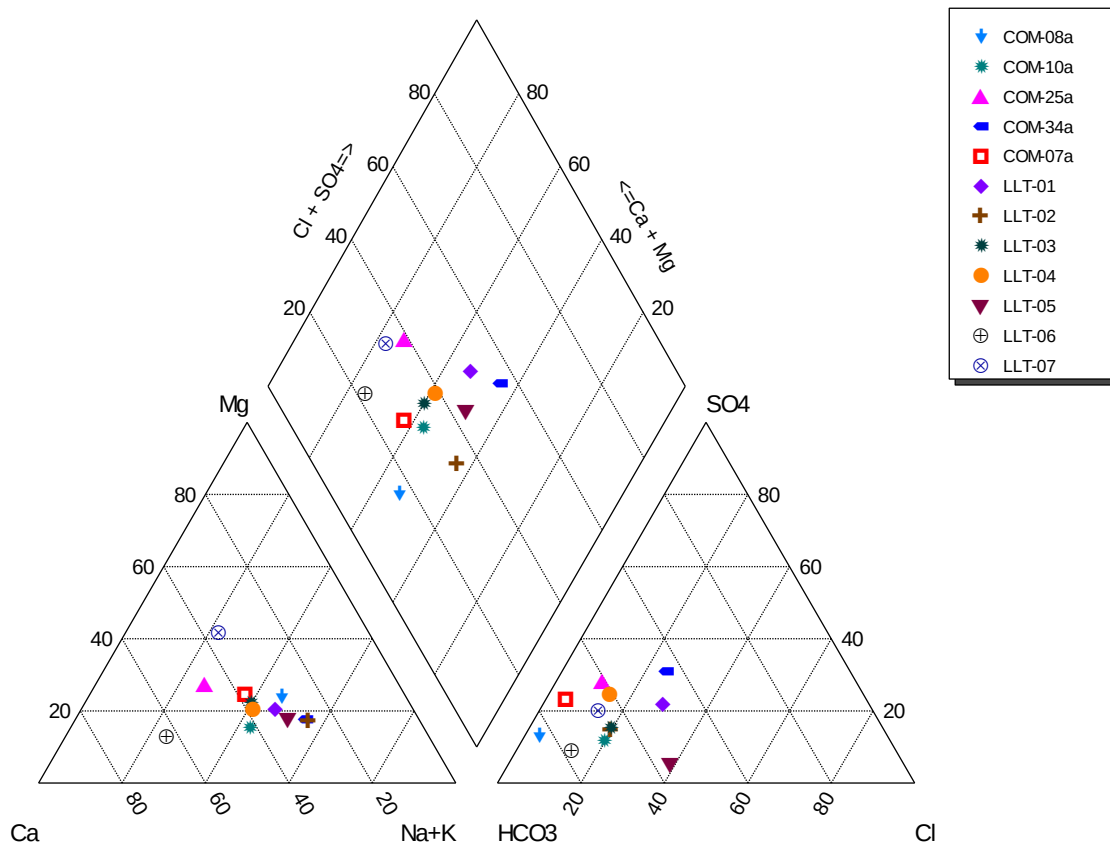


Figura 3. Representación en diagrama de Piper de los resultados de la campeña de muestreo realizada en los meses de abril-mayo.

Diagrama Piper (campaña agosto 2014)

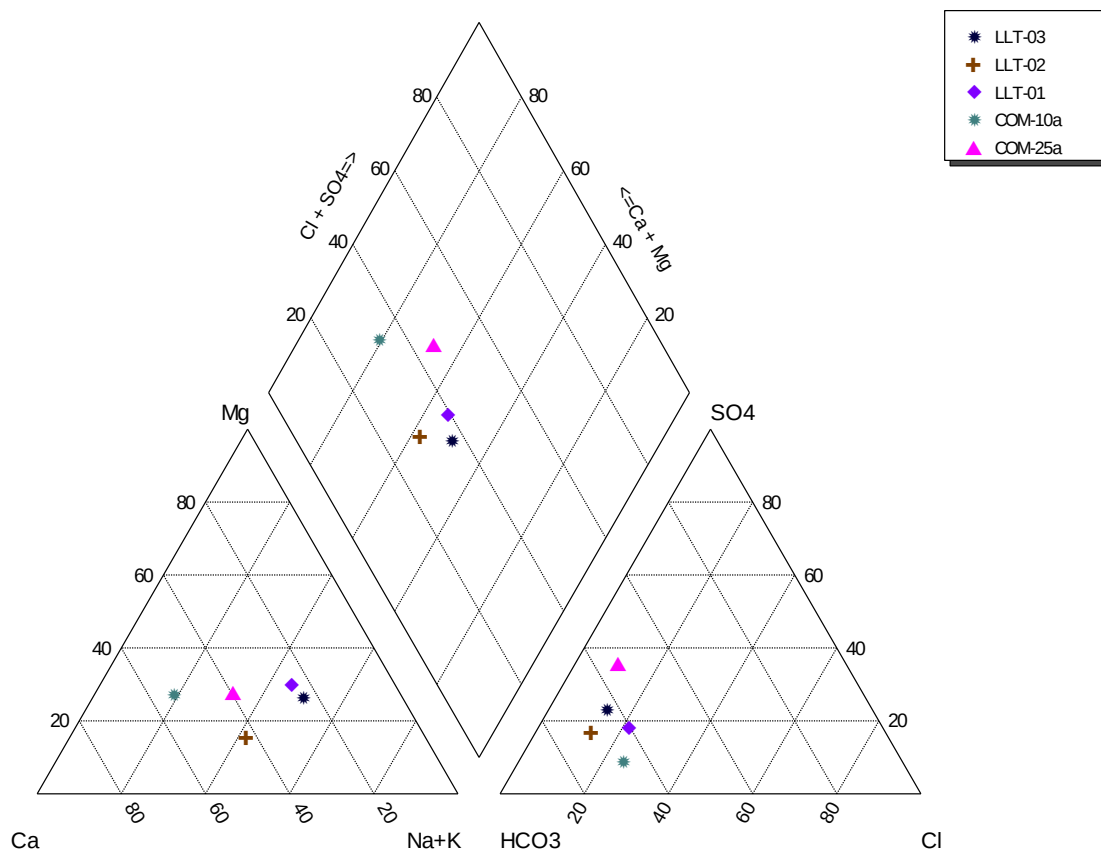


Figura 4. Representación en diagrama de Piper de los resultados de la campaña de muestreo realizada en el mes de agosto.

Diagrama Piper (campaña octubre 2014)

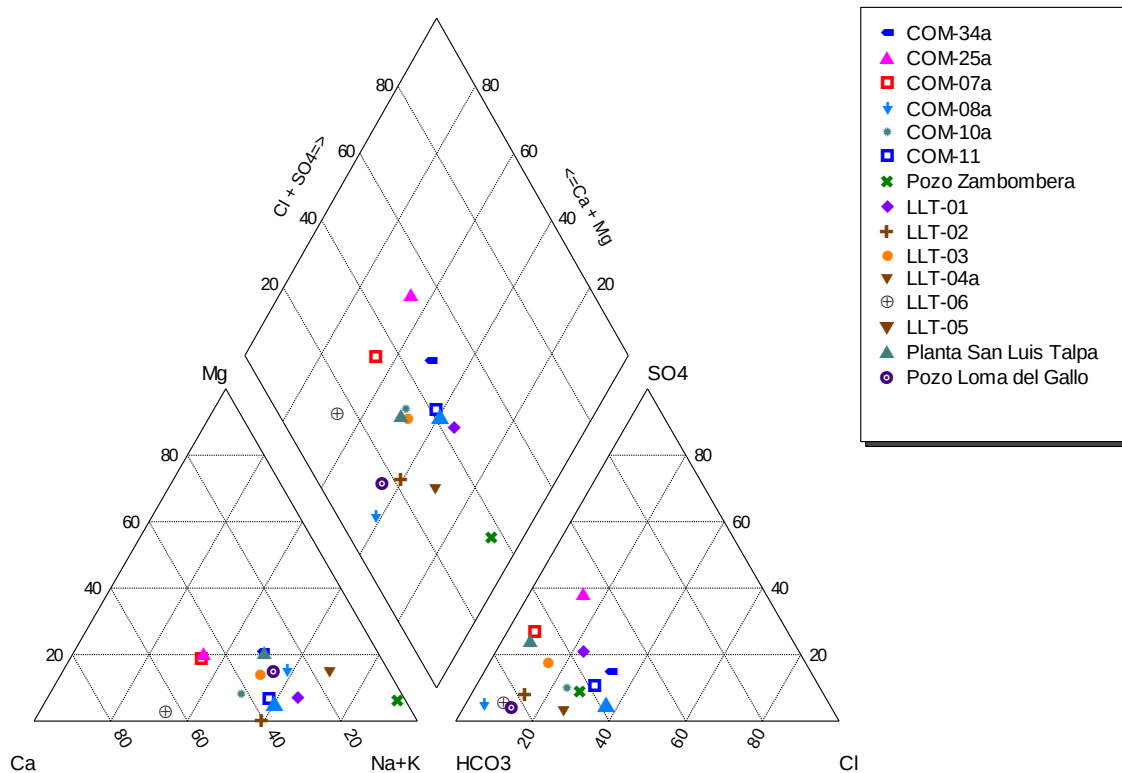


Figura 5. Representación en diagrama de Piper de los resultados de la campaña de muestreo realizada en el mes de octubre.

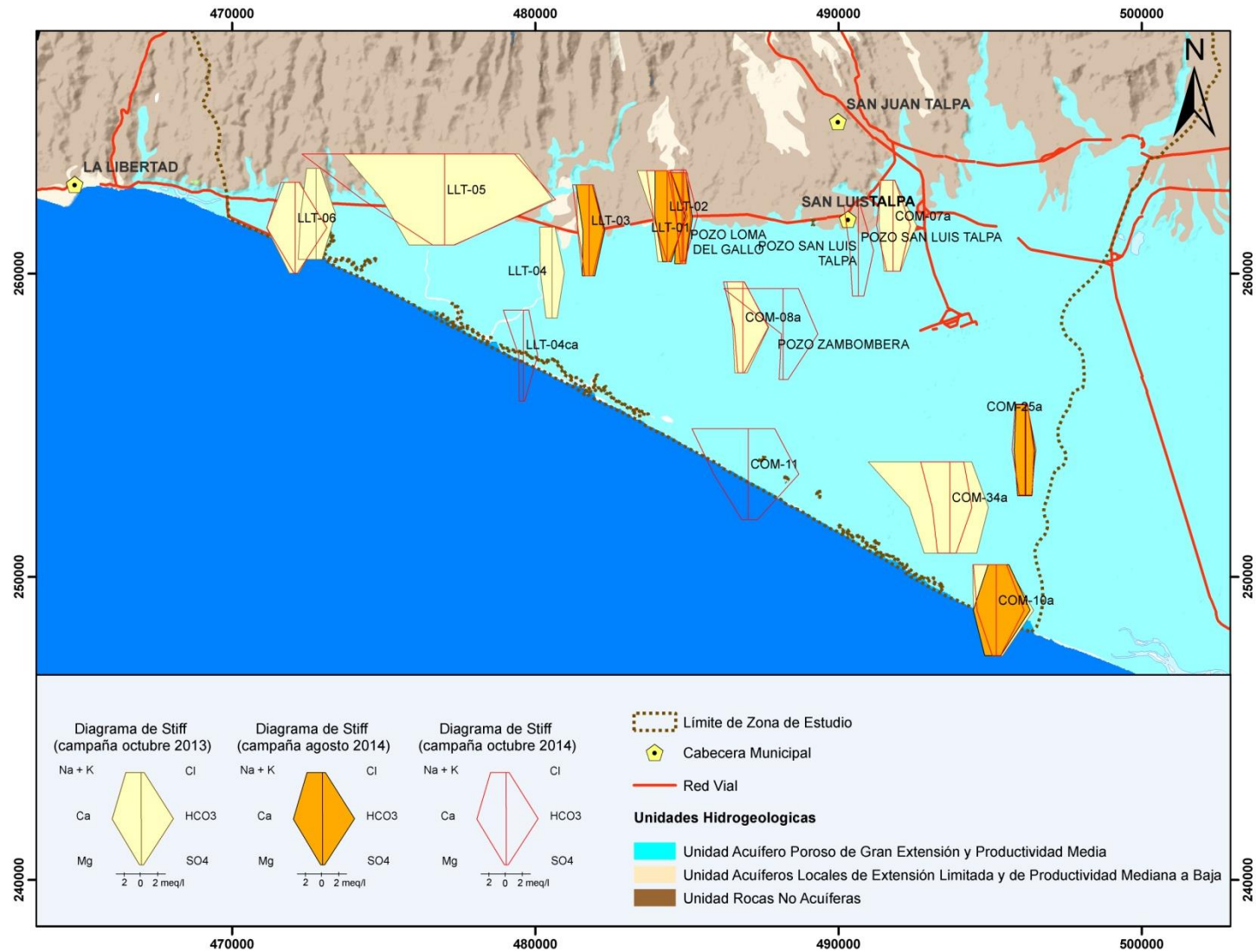


Figura 6. Diagramas de Stiff de resultados de las campañas de muestreo.

Los resultados obtenidos, durante el monitoreo de agua subterráneas, han sido evaluados tomando como referencia la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01.08, ya que se carece de Normas aplicables para su evaluación, sin embargo, es importante recalcar que el uso principal de las aguas provenientes de los sitios de monitoreo, corresponde al doméstico, pero no para consumo humano.

En la mayoría de los casos los sitios son pozos excavados, cuyos propietarios, adquieren el agua para su humano de otras fuentes, dado que las condiciones de sus pozos no son las idóneas.

Contenido de Sodio:

En general, las concentraciones de Sodio en los sitios de monitoreo de la zona de estudio, se encuentran bajo los 100 mg/L. Únicamente tres sitios muestras concentraciones superiores a este valor, específicamente el sitio LLT-05, presente una concentración por encima de los 300 mg/L, como se evaluará más adelante, la caracterización iónica de este sitio, es muy particular. Es importante resaltar que durante la campaña realizada en el mes de abril no se analizó este parámetro.

El límite máximo establecido por la Norma Salvadoreña de Agua Potable es de 200 mg/L, por lo que solamente el sitio identificado como LLT-05, no cumple con este límite.

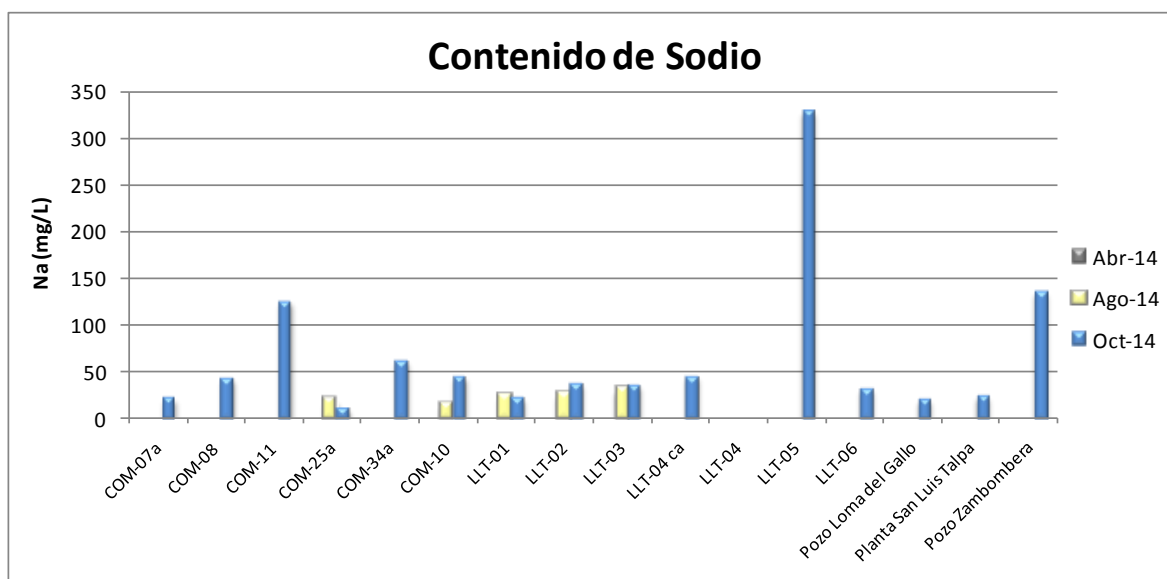


Figura 7. Resultados de las concentraciones de Sodio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Contenido de Potasio:

Al igual que el ión Sodio, el Potasio no fue analizado durante la primera campaña de muestreo realizada durante el año 2014.

Los resultados obtenidos, durante el muestreo del mes de octubre, se obtuvieron valores de concentración de Potasio altos, en comparación con los resultados obtenidos durante el mes de agosto. Debido a que estas variaciones representan incrementos de más del 100%, es importante verificar esta condición con muestreos y análisis posteriores.

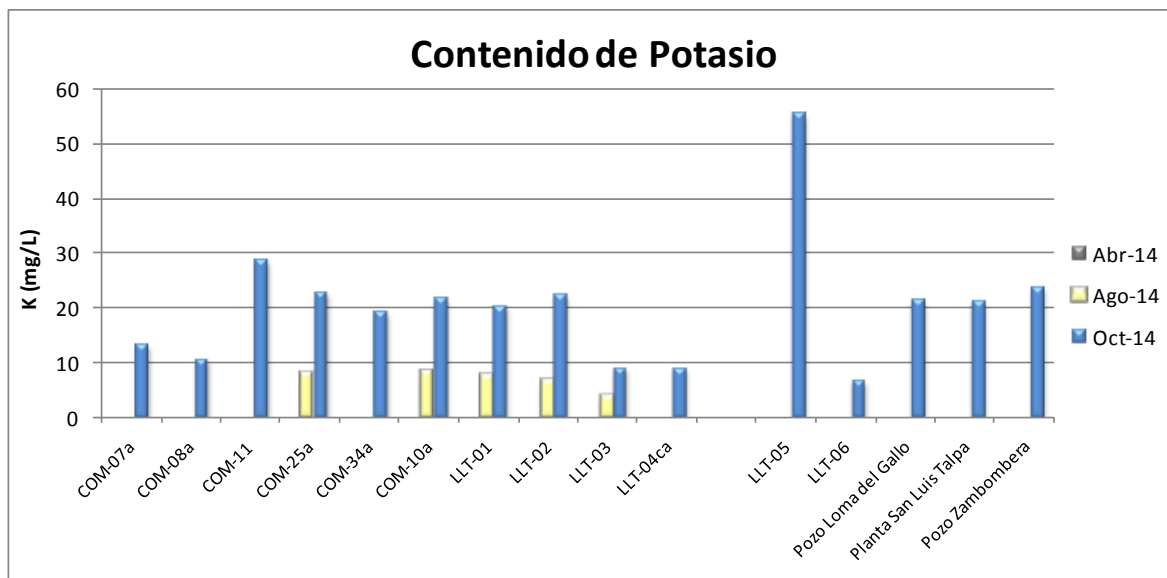


Figura 8. Resultados de las concentraciones de Potasio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Contenido de Calcio:

Las concentraciones de Calcio, en los sitios de monitoreo, se presentan sin mayores variaciones estacionales, únicamente en el sitio identificado como COM-34a, se observa un descenso en las concentraciones de calcio. En el punto LLT-05, al igual que con otros iones se observa un valor alto de concentración de Calcio.

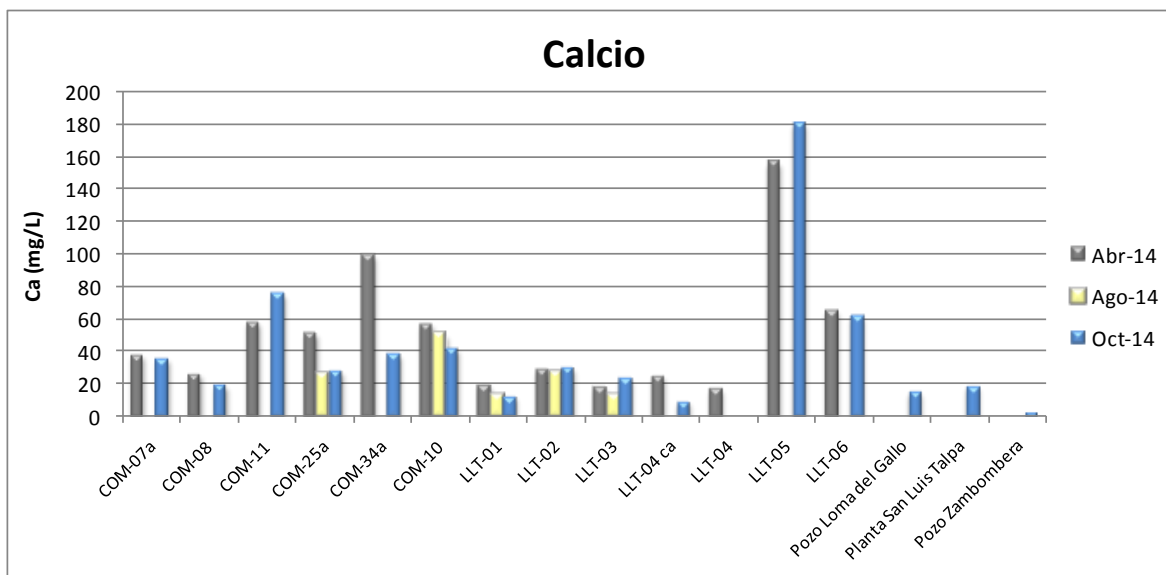


Figura 9. Resultados de las concentraciones de Calcio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Contenido de Magnesio:

En las concentraciones de Magnesio, se registra un descenso de este ión, durante la campaña de muestreo, realizada durante el mes de octubre, inclusive en el sitio identificado como LLT-05.

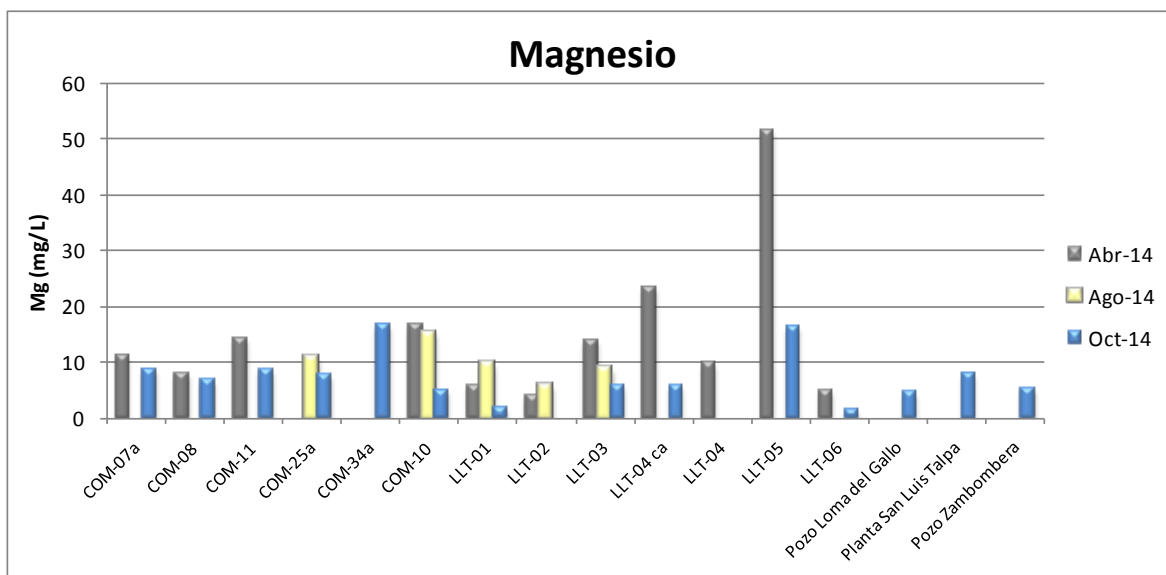


Figura 10. Resultados de las concentraciones de Magnesio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Concentración de Cloruro:

En la mayor parte de sitios analizados, la concentración del ión cloruro, se encuentra muy por debajo del límite establecido por la Norma Salvadoreña de Agua Potable, únicamente el sitio identificado como LLT-05, presenta concentraciones que superan este valor, en ambas campañas de monitoreo.

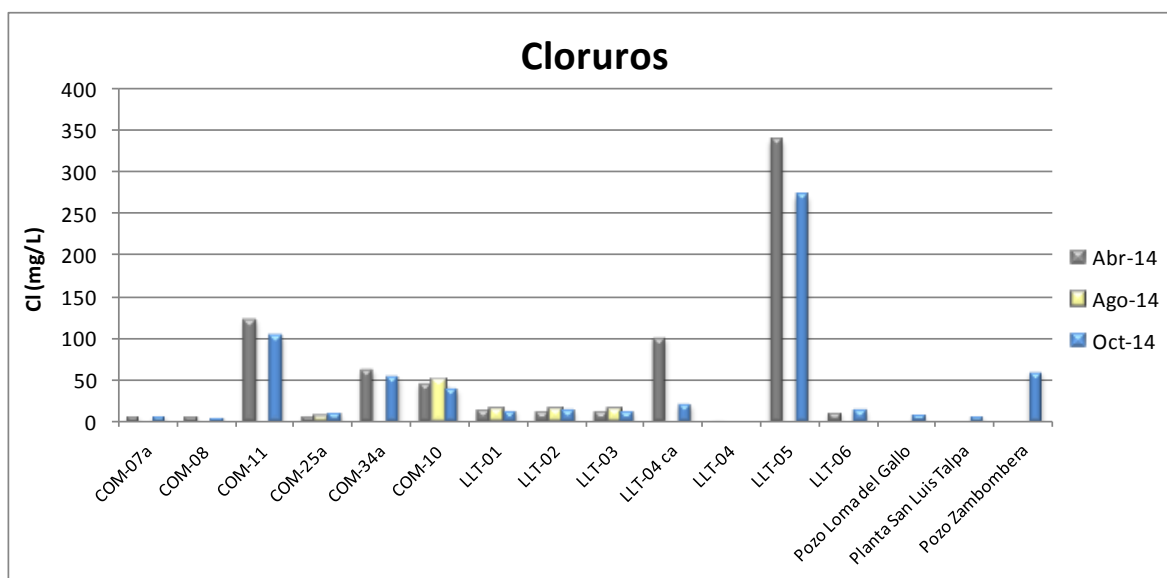


Figura 11. Resultados de las concentraciones de Cloruros obtenidos en las diferentes campañas de muestreo

Concentración de Bicarbonatos:

Los Bicarbonatos representan el ión dominante, en las aguas subterráneas de la zona de estudio. Las concentraciones de este, varían entre 57.3 – 716.71 mg/L, durante la época seca, y entre 58.53 – 743.15 mg/L, durante la época lluviosa, en ambos casos la máxima concentración se registra en el sitio identificado como LLT-05.

Los valores registrados, durante el mes de agosto de 2014, en los cinco sitios que fueron monitoreados en esa fecha, muestran un comportamiento acorde al registrado en las otras campañas.

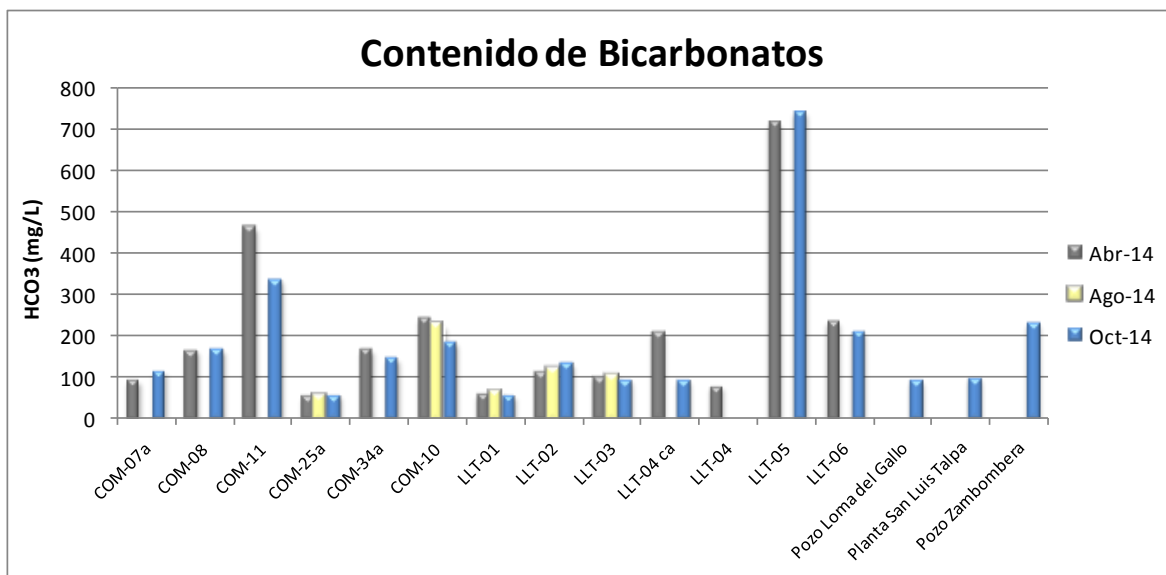


Figura 12. Resultados de las concentraciones de Bicarbonatos obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Concentración de Sulfatos:

Las concentraciones de Sulfatos, se encuentran bajo los 50 mg/L, en la mayoría de los sitios muestreados, en todas las campañas realizadas. Sin embargo, existen cuatro sitios, en los cuales las concentraciones de Sulfatos, superaron los 100 mg/L, durante la campaña de muestreo de época seca, mientras que en la realizada en época lluviosa se encontraron valores en el rango inferior o igual a 50 mg/L.

Es importante dar seguimiento al comportamiento de este ión, para evaluar las posibles causas de estos cambios.

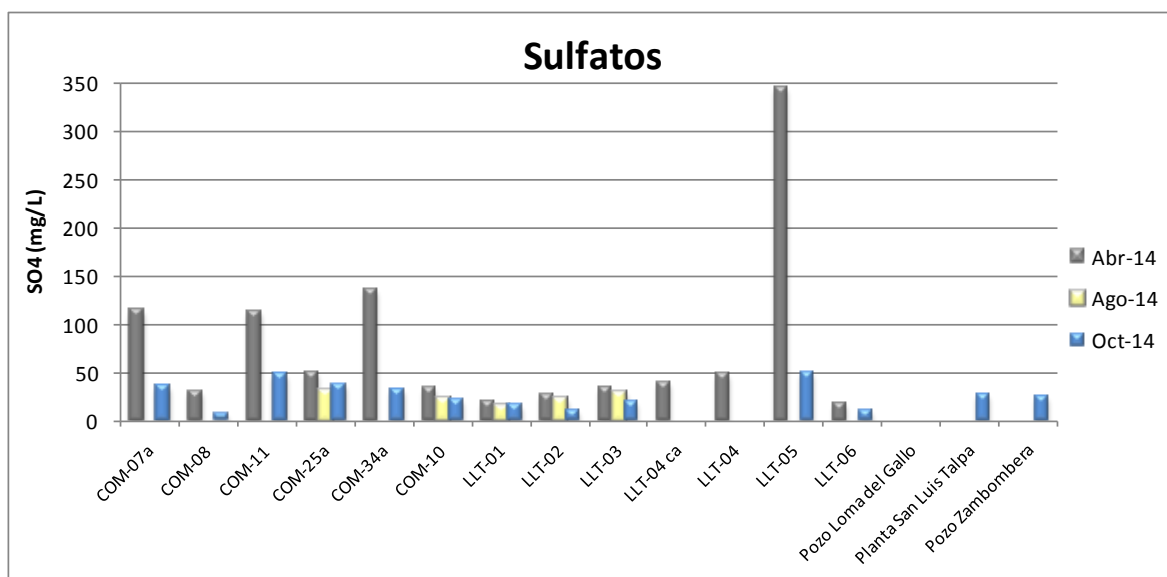


Figura 13. Resultados de las concentraciones de Sulfatos obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Se analizaron además los iones de Flúor, Fosfatos, Manganeseo, Nitratos, Nitrógeno amoniacal y Sílice.

De los cuales el Manganeseo fue el único, que se presentó en valores superiores al máximo establecido por la Norma Salvadoreña de Agua Potable, en los sitios identificados como COM-08a, COM-25a y LLT-03, únicamente en este último sitio ha sido identificado en dos campañas de monitoreo consecutivas, por lo que es importante evaluar en campañas posteriores, las posibles fuentes de este ión en este sitio.

En la campaña de muestreo realizada durante el mes de octubre de 2014, adicionalmente al análisis de iones mayoritarios, se evaluaron otros elementos como el Boro, Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo y Arsénico.

Los resultados obtenidos de Cadmio, Cobre, Cromo y Níquel, se encuentran bajo el límite de detección de los equipos utilizados en el laboratorio de Calidad de Aguas del MARN, y se encuentran bajo el límite establecido por la Norma Salvadoreña de Agua Potable.

En el caso del Boro, se ha identificado dos sitios que exceden el límite máximo establecido por la Norma, y estos son el pozo COM-25a y el COM-10a, ambos sitios se encuentran en la margen derecha del Río Jiboa.

El contenido de Plomo, se encuentra por encima del valor máximo admisible en dos sitios, el LLT-01 y COM-10a.

El Arsénico, representa una condición particular en la zona de estudio, ya que de un total de 15 sitios muestreados, 10 de ellos tienen concentraciones de Arsénico, que exceden el límite máximo

Evaluación hidrogeológica del acuífero poroso de las cuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego

establecido por la Norma Salvadoreña de Agua Potable. La distribución de estos sitios se muestran en la figura 14.

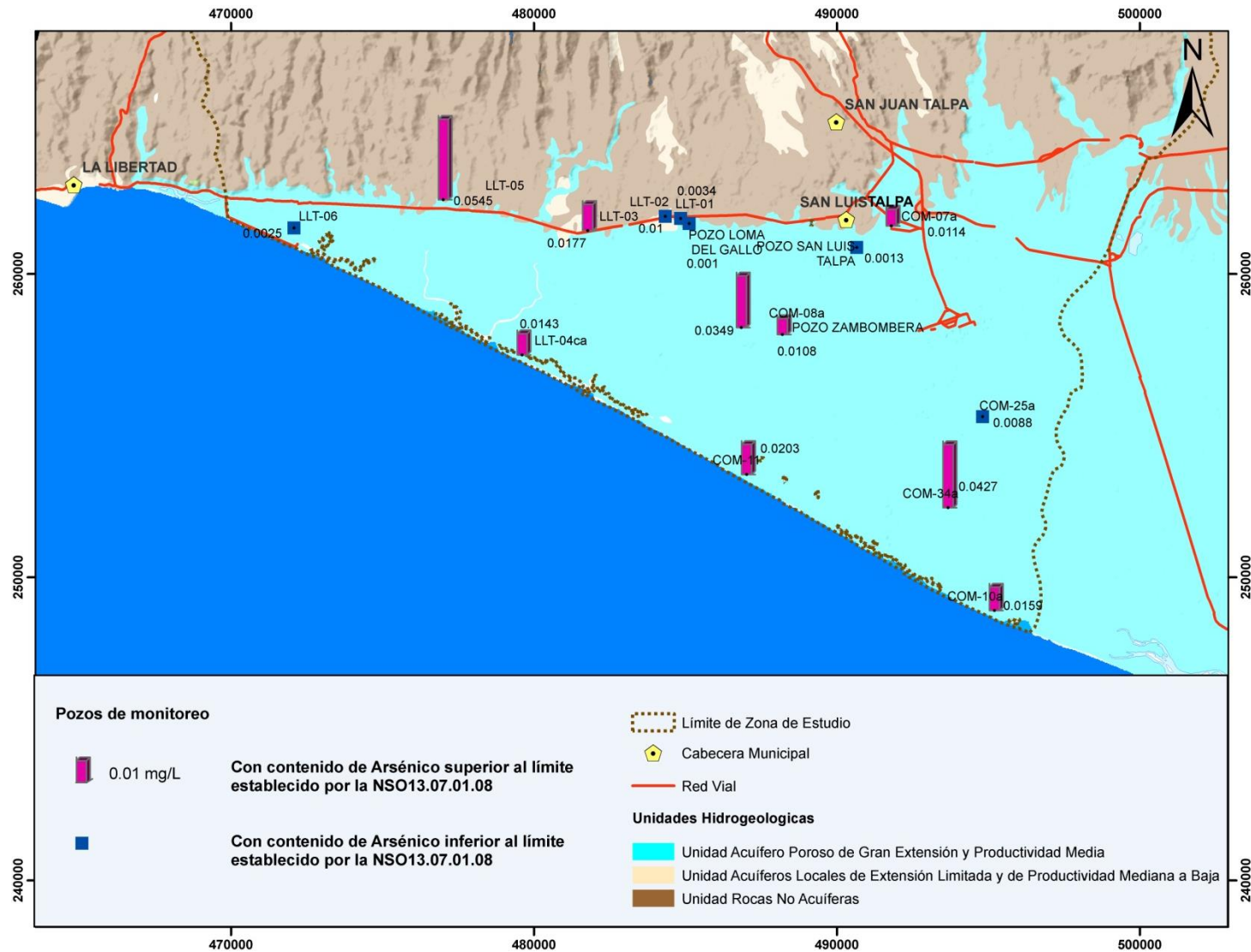


Figura 14. Resultados y distribución de las concentraciones de Arsénico, obtenidas durante la campaña realizada en octubre 2014.

9. VULNERABILIDAD INTRÍNSECA A LA CONTAMINACIÓN

El término vulnerabilidad intrínseca se encuentra relacionado con las propiedades físicas del medio acuífero. Foster e Hirata (1991) la definen como vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, y representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta.

La determinación de la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero, es de gran importancia, para poder realizar una zonificación su grado de vulnerabilidad. Con base en ésta, establecer criterios para los trabajos de planificación de uso del territorio y del agua, en busca de preservar la calidad del recurso.

La metodología aplicada para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación en la zona de estudio corresponde a la desarrollada por Foster e Hirata (1991), denominada Método GOD.

Este método utiliza tres factores para la determinación del grado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero. Los factores que interviene son los siguientes:

- Índice G: el cual es representativo del tipo de acuífero.
- Índice O: este se refiere al tipo de litología de la zona no saturada.
- Índice D: definido a partir de la profundidad a la cual se encuentra el agua subterránea.

Estos tres parámetros son indicadores de la inaccesibilidad hidráulica y la capacidad de atenuación, del acuífero.

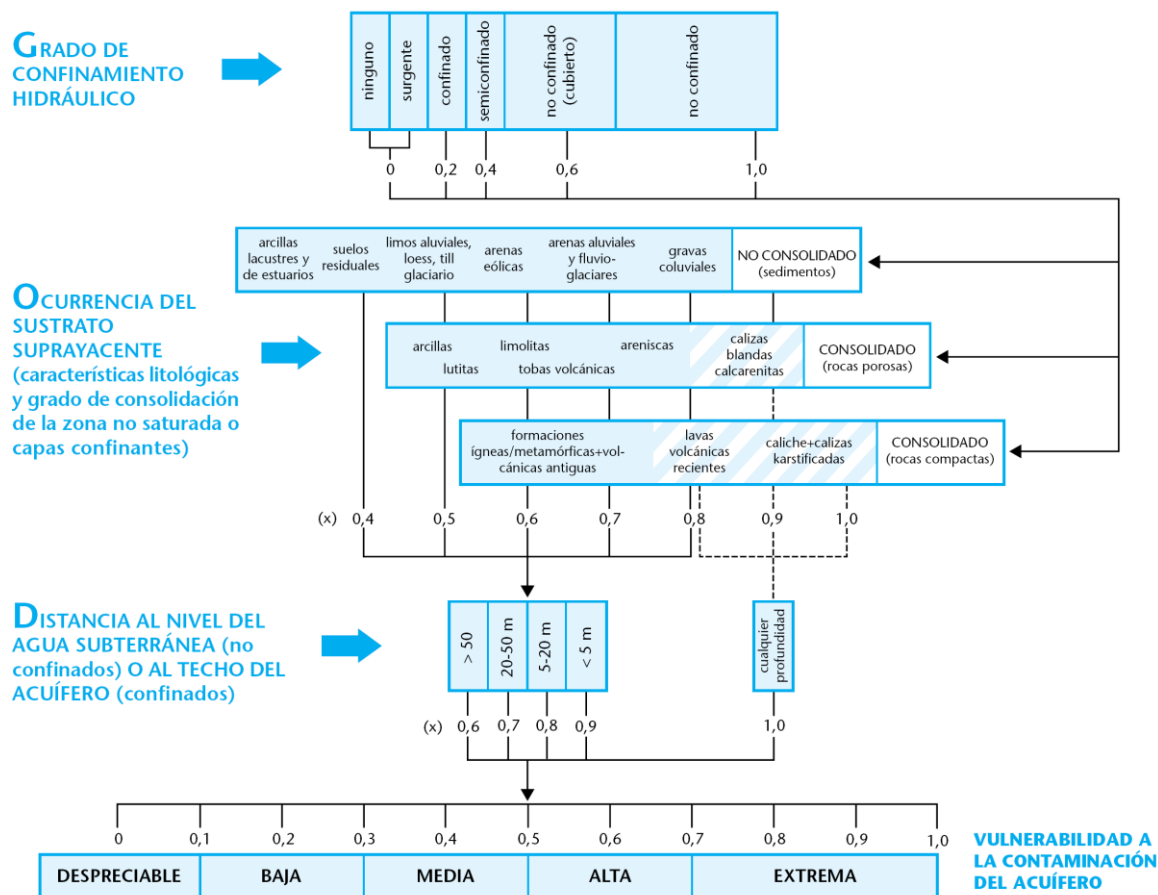


Figura 15. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos. Fuente: Foster, et al, Protección de la calidad de aguas subterráneas.2002.

Debido a que la zona de estudio corresponde, únicamente al acuífero poroso, las características que determinan los parámetros para evaluar la vulnerabilidad intrínseca, se consideran homogéneos

Tipo de ocurrencia del agua subterránea (G)

Este parámetro está asociado al tipo de acuífero, de acuerdo con el grado de confinamiento hidráulico. Los rangos de variación de este índice se encuentran entre 0- 1.

El acuífero que se evalúa es de tipo libre no confinado, por lo que se le asigna el valor de 0.8.

Cobertura del acuífero (O)

El tipo de material que sobreyace el acuífero es un factor determinante para la valoración del grado de vulnerabilidad de éste, ya que está asociado a la capacidad de atenuación de los contaminantes por medio de los materiales que se encuentra sobre el acuífero.

La asignación de este parámetro se basó en la litología, textura y grado de consolidación, de los materiales geológicos que afloran en superficie en el área del acuífero poroso. A partir de estas

Evaluación hidrogeológica del acuífero poroso de las cuencas de los Ríos Jiboa, Comalapa, Bocana Toluca y Estero de San Diego

características se asignó el valor de 0.7 a los materiales correspondientes a Depósitos sedimentarios del Cuaternario (Qf).

Profundidad del agua (D)

La profundidad del nivel estático condiciona el espesor de la zona no saturada, razón por la cual a mayor profundidad los valores del índice D son menores.

La profundidad relativa del nivel estático se determinó a partir de la interpolación lineal de los niveles medidos en los pozos.

Los rangos de profundidad medidos en el acuífero poroso varían entre 1 – 10 m.

Para la determinación del índice D, se considero la condición más desfavorable, en la cual el acuífero se encuentra más expuesto. Esta situación se tiene durante la época lluviosa, que es cuando los niveles freáticos reciben el aporte de la recarga generada por las precipitaciones.

Con base a este criterio se clasificó, el sector del acuífero poroso en dos sectores:

- Profundidades de nivel freático: 5.00 – 9.41 m, al cual se le asignó un índice de 0.8.
- Profundidades de nivel freático: 1.44 – 5.00 m, al cual se le asignó un índice de 0.9.

A partir de los índices establecidos por cada zona se realizó un mapa por cada uno de los índices descritos, y se creó el mapa de índice de vulnerabilidad (figura 16).

Con los resultados obtenidos, se determinó que la mayor parte del acuífero poroso, se encuentra en la categoría de vulnerabilidad alta, en el sector cuya profundidad del nivel freático es inferior a los 5m.

En el cuadro 3, se muestra el resumen del grado de vulnerabilidad y el área correspondiente que se encuentra bajo esa clasificación.

GRADO DE VULNERABILIDAD	AREA en Km ²	% DEL AREA TOTAL
MEDIA	178	10.61
ALTA	378.18	89.39

Cuadro 3: Tipo de vulnerabilidad y área correspondiente.

Dadas las condiciones de vulnerabilidad del acuífero poroso, se deben tener en cuenta las siguientes precauciones en el uso del suelo:

- El desarrollo de actividades agrícolas, deben tomar en cuenta que para el uso de agroquímicos, estos deben restringirse a aquellos de muy baja toxicidad, persistencia y movilidad.
- En las áreas pobladas, debe haber un buen sistema de manejo de excretas y aguas servidas.
- El desarrollo de nuevos proyectos, debe evaluar el potencial de contaminación de los mismos, considerando las características del subsuelo y el grado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero.

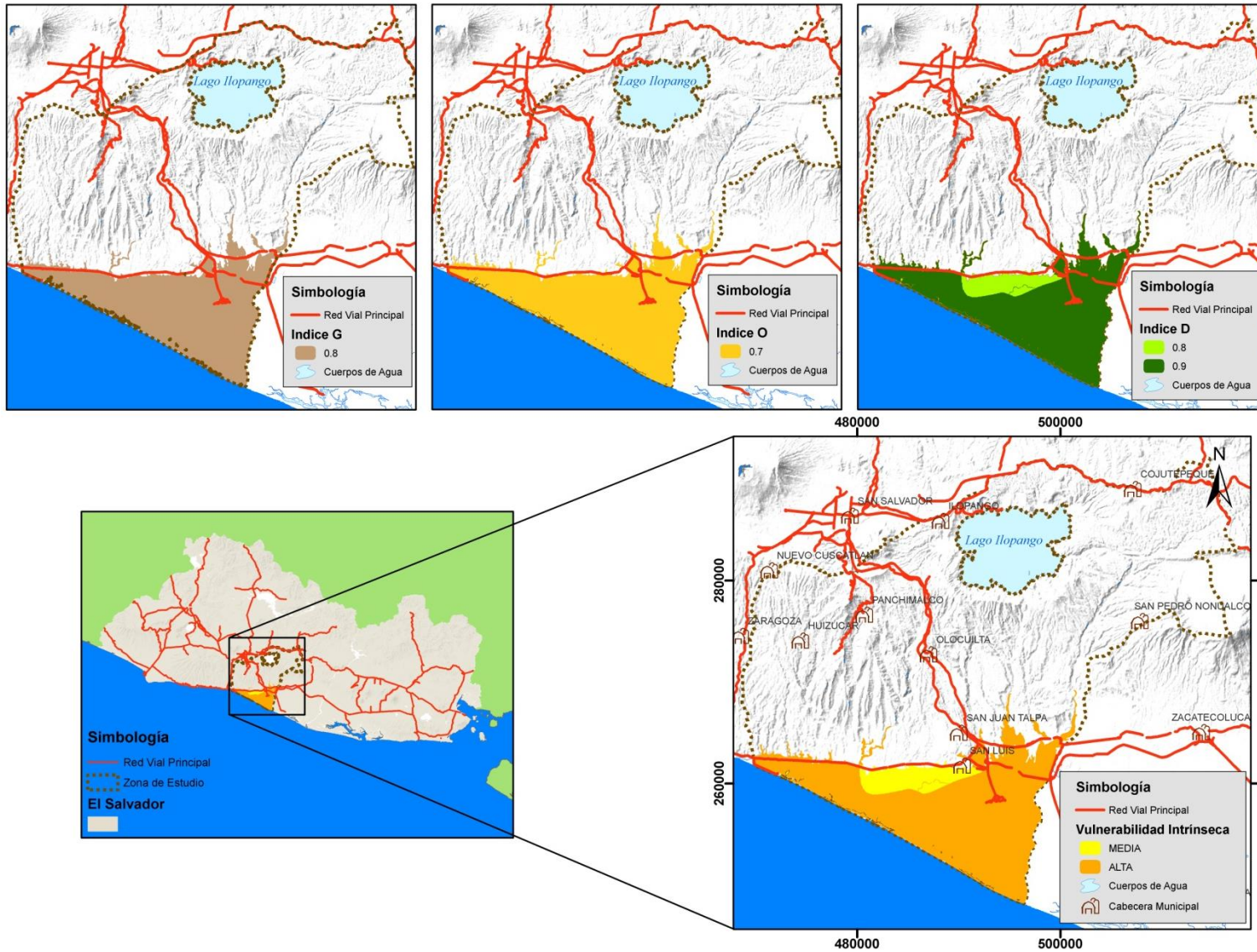


Figura 16. Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos de la zona de estudio.

10. CONCLUSIONES.

- El acuífero poroso, está conformado por alternancias de materiales piroclásticos y sedimentos aluviales, que se encuentran conectados hidráulicamente, por lo que se comporta como un solo estrato acuífero.
- La recarga en el acuífero poroso, se ve reflejada de forma rápida durante la época lluviosa, debido a la alta permeabilidad de los materiales aluviales que lo conforman y que afloran en superficie.
- De acuerdo a la caracterización físico-química de las aguas provenientes del acuífero poroso, existen dos tipos de aguas, las bicarbonatadas cálcicas y las bicarbonatadas sódicas, siendo estas últimas las de mayor predominancia en la zona de estudio, tanto en los pozos excavados como en los perforados.
- Cerca del 90% del área que conforma el acuífero poroso, se encuentra en la categoría de vulnerabilidad alta, la cual es conferida principalmente por la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno. Es de suma importancia, tomar en cuenta esta condición, ya que pone de manifiesto el grado de exposición del acuífero.
- Considerando que el acuífero poroso se comporta como un solo estrato acuífero, es de suma importancia, tener en cuenta que las actividades potencialmente contaminantes que tienen lugar en la zona, ponen en riesgo, la calidad de las aguas subterráneas de la zona, tanto la que es aprovechada, por medio de pozos excavados como por pozos perforados de mayor profundidad.
- Las concentraciones de Arsénico encontradas, en la mayoría de los sitios de monitoreo, indica que es una condición generalizada en el acuífero poroso, por lo que es importante dar seguimiento a estas características. Así como delimitar el área que se encuentra influenciada por esta condición.