Evaluación Hidrogeológica de las subcuencas comprendidas en la Bahía de Jiquilisco

2013

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación hidrogeológica de las subcuencas comprendidas en la Bahía de Jiquilisco, 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 comprende la región hidrográfica G, la cual limita al Norte con el Volcán Tecapa y Cerro El Tigre, al Oeste con el parte aguas de la cuenca del Río Lempa, al Sur con el océano pacífico, y al Este con el parte aguas de la cuenca del Río Grande de San Miguel.

El área total de la zona de estudio es de 721.69 Km^2.

Las subcuencas que se encuentran en la zona son las denominadas: El Espino, El Potrero, Nanachepa, Aguacayo, El Cacao, El Quebrado y El Molino, las cuales desembocan en la Bahía de Jiquilisco.

4. METODOLOGÍA

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

- Etapa de investigación Bibliográfica:

En esta se realizo 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 realizo 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 realizo 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 geología aflorante en superficie en la zona de estudio corresponde en más del 98% a la formación San Salvador, y el área restante comprende materiales de las Formaciones Bálsamo y Cuscatlán (figura 1).

FORMACION SAN SALVADOR:

En la zona de estudio se encuentran presentes los miembros siguientes:

Miembro s1: el cual está constituido por una secuencia de piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas básicas-intermedias; en parte contemporánea con el miembro s2 .

Miembro s2: descrito como secuencia de rocas volcánicas básica-intermedias, piroclastitas subordinadas. El cual en las cercanías del volcán Tecapa se ha identificado como basalto hipersténico.

Miembro s3'a: En las cercanías del Volcán Tecapa, ha sido identificado como una secuencia de materiales piroclásticos, que incluyen fragmentos de pómez, tobas e ignimbritas de composición intermedia a ácida, los cuales constituyen la base de dicho Volcán.

Miembro s5'b: este miembro es descrito como una acumulación de escorias, tobas de lapilli y cinder.

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. Son muy permeables. Se encuentran distribuidos en toda la Península San Juan del Gozo.

b) Depósitos acuáticos con intercalaciones de piroclástitas (Q'f). Son depósitos de materiales producto de aluviones con intercalaciones de piroclastos volcánicos, los cuales contribuyen a que se dé una cementación, formando una matriz consolidada poco permeable. 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

FORMACIÓN BÁLSAMO:

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

Miembro b1: el cual está constituido por epiclastitas volcánicas, piroclastitas e ignimbritas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas.

Miembro b3: se encuentra constituido por rocas efusivas básicas-intermedias.

FORMACIÓN CUSCATLÁN:

El miembro de la formación Cuscatlán que aflora en la zona de estudio corresponde al c1, el cual aflora en el sector Oeste de la zona de estudio.

Miembro c1: está formado por piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.

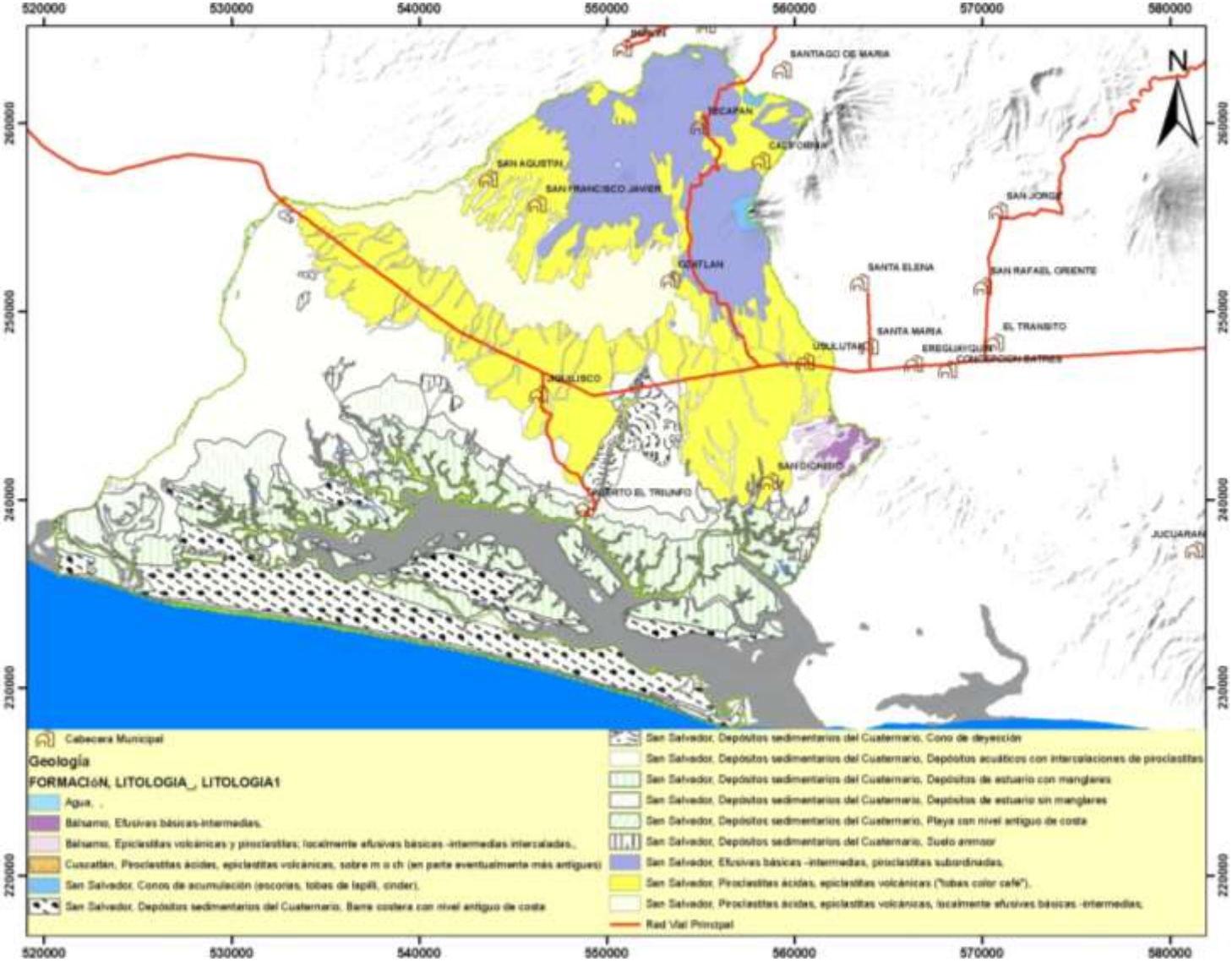

Figura 1. Mapa Geológico de la zona de estudio. Fuente: Mapa geológico de El Salvador elaborado por la misión alemana 1978.

6. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.

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 media de las subcuencas de estudio, a la altura de la carretera panamericana, esta unidad hidrogeológica se encuentra cubierta por materiales de la formación San Salvador, específicamente "tobas color café", pertenecientes al miembro s3'a.

6.2 Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media.

Los materiales de esta unidad consisten principalmente en materiales piroclásticos aglomerados y retrabajados (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.

Esta unidad es la predominante en la zona de estudio, ya que se encuentra en alrededor del 90 por ciento del área total.

6.3 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.

7. MODELO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO.

En la zona de estudio existen se distinguen 2 acuíferos principales:

- Acuífero poroso.

El cual se encuentra en depósitos sedimentarios del Cuaternario, y se caracteriza por niveles freáticos someros con profundidades inferiores a los 10m.

La recarga en este acuífero, se da principalmente por la precipitación que infiltra en estos materiales correspondientes a 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).

- Acuífero fisurado.

Este acuífero se localiza en la parte media de las subcuencas en estudio, y en materiales correspondientes al miembro s1 de la formación San Salvador, aproximadamente entre las cotas topográficas de 60 y 190 msnm, cuyas profundidades de nivel freático se encuentran cerca de los 35m en las cercanías de la carretera del litoral, y alrededor de los 100 m en los sectores con cotas topográficas superiores.

El comportamiento de la recarga en este acuífero difiere del observado en el acuífero poroso, ya que no se observa una respuesta inmediata en el acuífero, como consecuencia del inicio de la época lluviosa, esto efecto se debe principalmente a que el estrato acuífero se encuentra a mayor profundidad y los materiales que afloran en superficie, poseen permeabilidades menores que los que sobre yacen al acuífero poroso.

Sitio	X	Y	Fecha	Profundidad Nivel Estático (m)	Fecha	Profundidad Nivel Estático (m)
AGF-01	560666	249270	12/04/2013	46.9	10/10/2013	47.8
AGF-02	557808	248878	12/04/2013	41.52	10/10/2013	43.09
AGF-04	546322	252503	12/04/2013	45.07	10/10/2013	45.3
AGF-0	540804	252815	12/04/2013	99.58	10/10/2013	100.77
AGF-03	551155	247086	12/04/2013	31.03	10/10/2013	32.5
AGF-06	537750	252950	12/04/2013	36.16	10/10/2013	36.33
BH-01	554356	229636	15/04/2013	2.26	03/10/2013	1.47
BH-04	549973	231673	15/04/2013	3.15	03/10/2013	2.02
BH-05	545661	232514	15/04/2013	4.17	03/10/2013	3.45
BH-07	538324	233714	15/04/2013	3.12	03/10/2013	2.21
BH-10	524915	236358	15/04/2013	3.22	03/10/2013	*
BH-11	525659	241518	15/04/2013	5.12	03/10/2013	3.77
BH-12	529953	244262	15/04/2013	4.94	03/10/2013	2.37
BH-13	534418	240435	15/04/2013	3.53	03/10/2013	2.31
BH-14	532412	252617	15/04/2013	3.65	27/09/2013	2.15
USU-08	558735	240587	14/05/2013	3.29	26/09/2013	2
USU-11	559404	244172	14/05/2013	9.53	26/09/2013	9.27
USU-05a	549222	239468	14/05/2013	2.37	27/09/2013	1.66
USU-04	544089	248523	14/05/2013	35.2	10/10/2013	35.55
USU-03	535805	244384	14/05/2013	0.2	27/09/2013	0.1

*No se pudo medir.

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

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

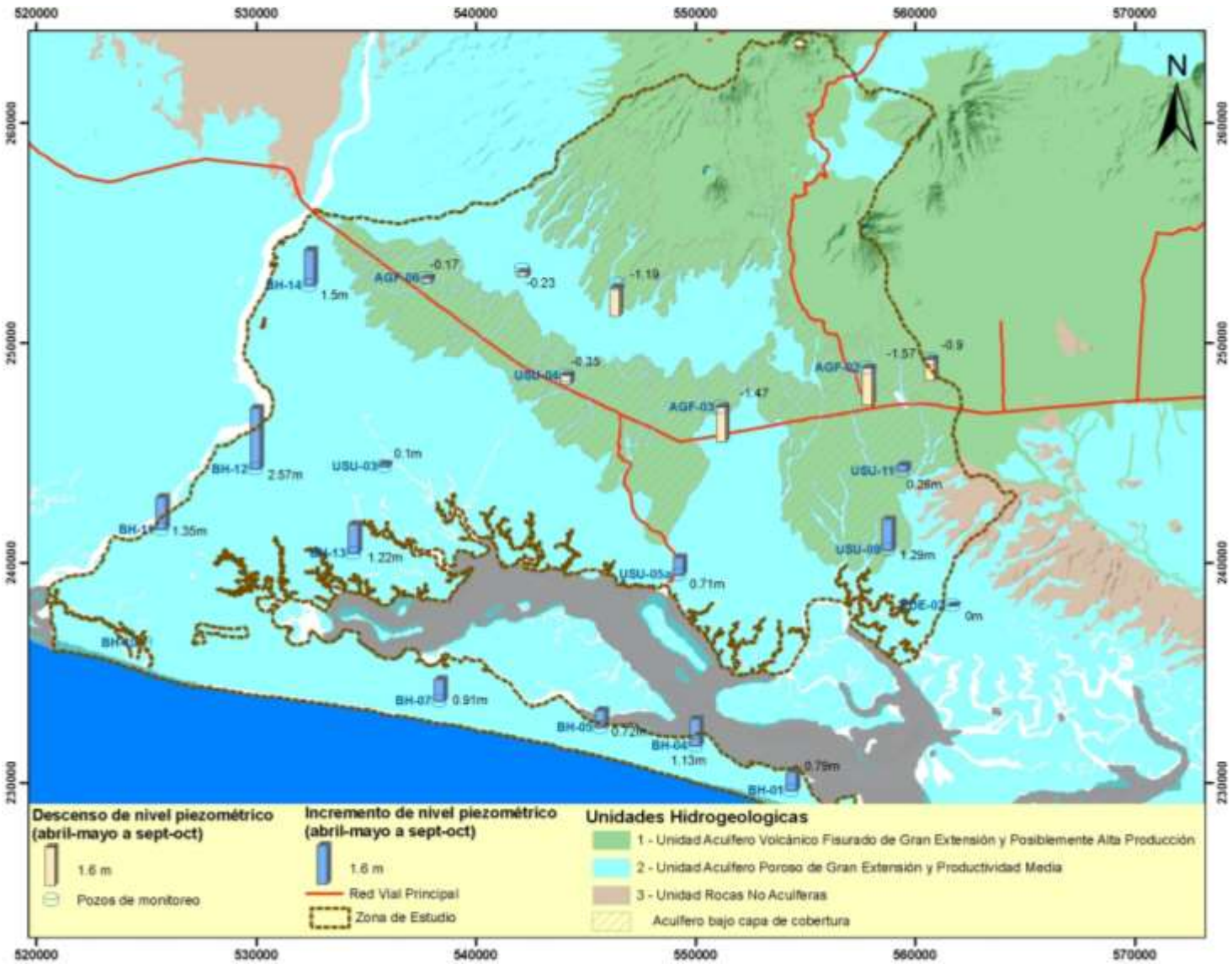

Figura 2. Unidades hidrogeológicas y variación de niveles piezométricos en la zona de estudio.

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 abril-mayo	Caracterización físico-química septiembre-octubre
EDE-02	Bicarbonatada magnésica	Bicarbonatada Cálcica
AGF-01	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
AGF-02	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
AGF-03	Bicarbonatada magnésica	Bicarbonatada Cálcica
AGF-06	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
BH-01	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
BH-04	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
BH-05	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
BH-07	Bicarbonatada magnésica	Bicarbonatada Cálcica
BH-10	Clorurada Sódica	Clorurada Sódica
BH-11	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
BH-12	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
BH-13	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Sódica
BH-14	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
USU-08	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
USU-11	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
USU-05a	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
USU-04	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Sódica
USU-03	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica

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

La representación gráfica, de los resultados obtenidos del análisis de los iones mayoritarios, presentes en las muestras de los pozos de monitoreo, tomadas en las dos campañas realizadas, se muestran en las figuras 3, 4 y 5.

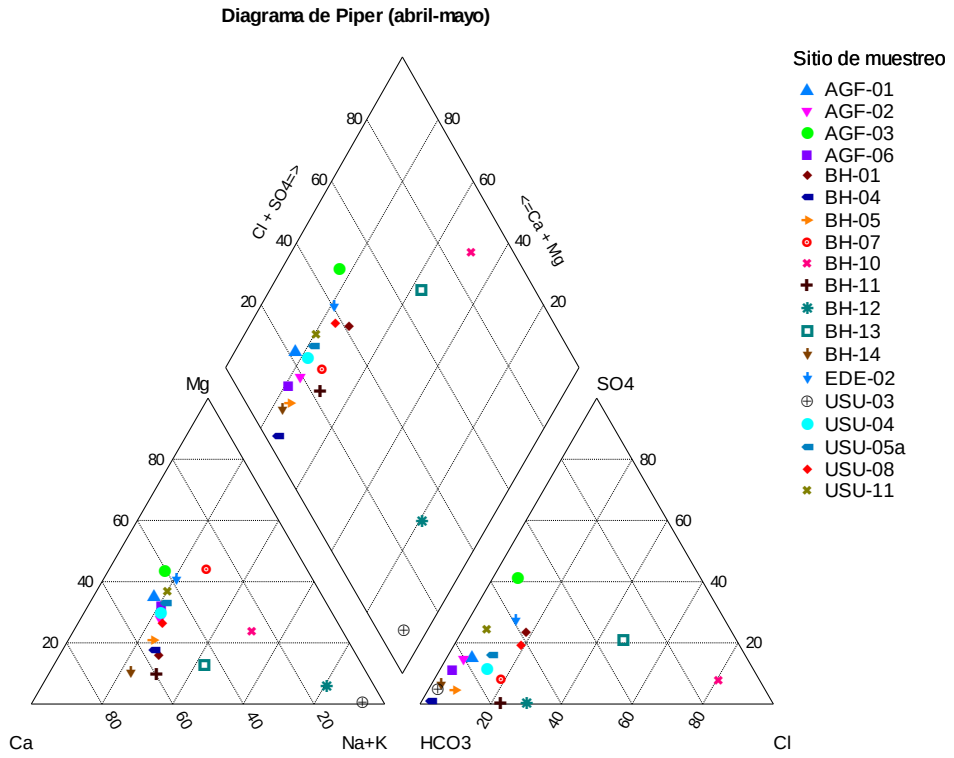

Figura 3. Representación en diagrama de Piper de los resultados de la campaña de muestreo realizada en los meses de abril-mayo.

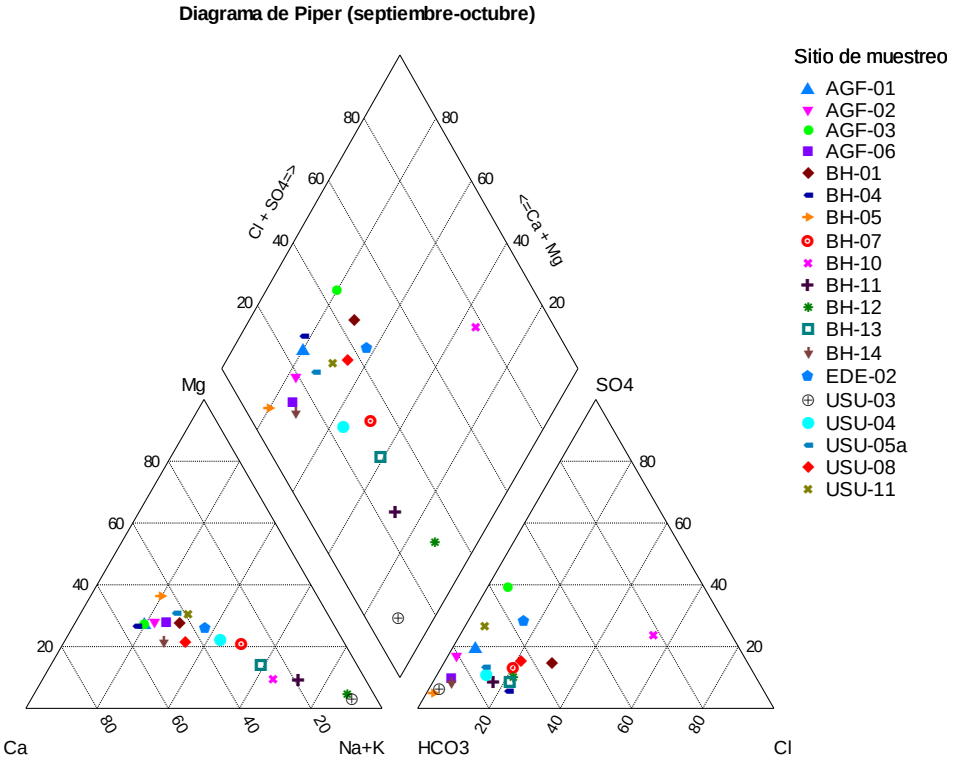

Figura 4. Representación en diagrama de Piper de los resultados de la campaña de muestreo realizada en los meses de septiembre-octubre.

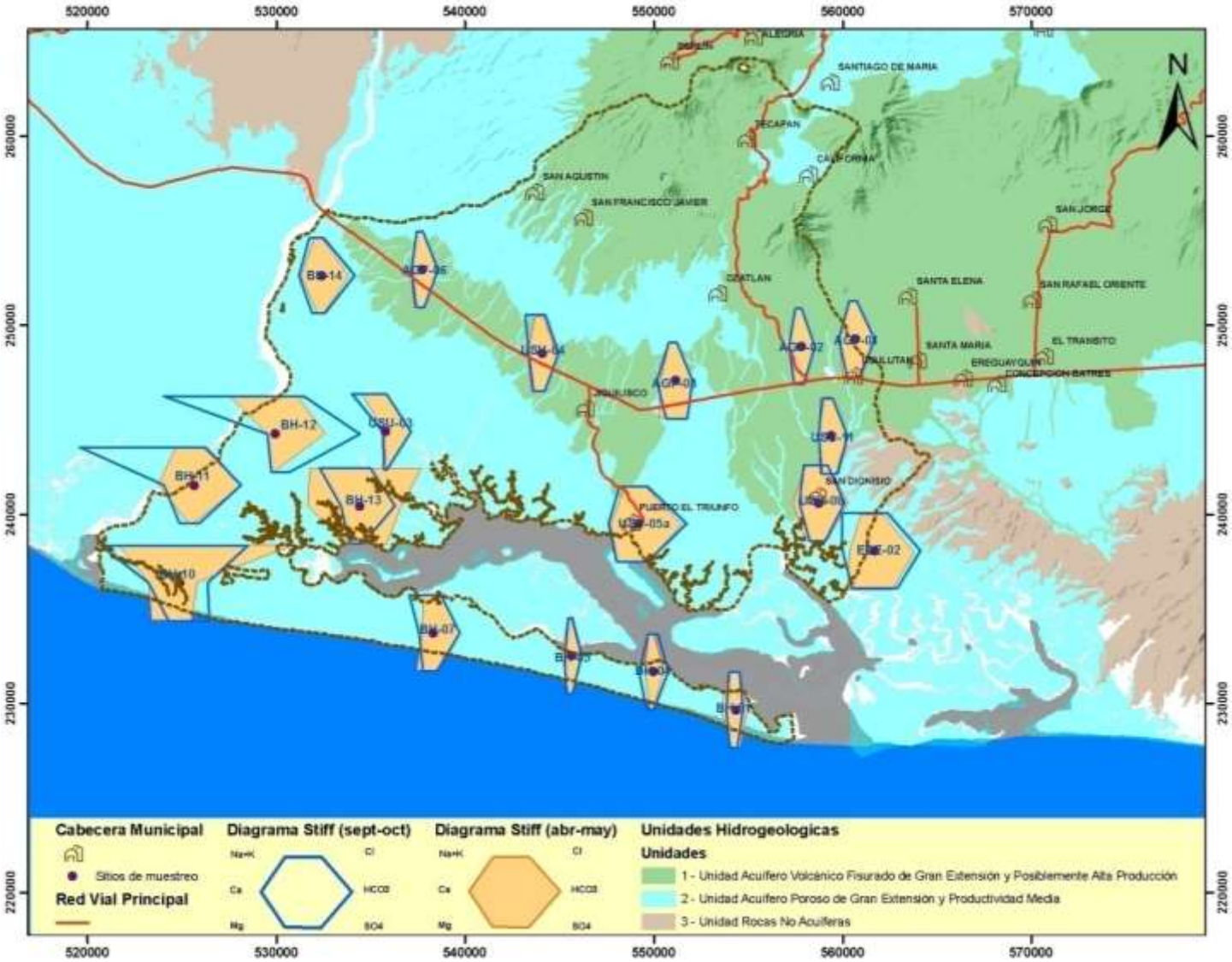

Figura 5. Diagramas de Stiff de resultados de las campañas de muestreo.

A partir de la caracterización físico-química de las aguas subterráneas realizada en los pozos de monitoreo, se determino que el tipo de agua predominante en la zona de estudio es la bicarbonatada cálcica, tanto en época seca como en época lluviosa. Existen unos casos particulares en los cuales cambian de bicarbonatada magnésica, en época seca, a bicarbonatada cálcica, en los sitios identificados como EDE-02, AGF-03 y BH-07, mientras que en los pozos BH-13 y USU-04, el cambio se da de aguas bicarbonatadas cálcicas a bicarbonatadas sódicas.

A continuación se describen el comportamiento de cada uno de los iones mayoritarios en cada una de las campañas de muestreo:

Contenido de Sodio:

Las concentraciones de Sodio en los pozos de monitoreo que durante los meses de septiembre y octubre, presentan incrementos por encima del 100% de niveles medidos durante la época seca, corresponden a los sitios identificados como BH-11, BH-12, EDE-02 y USU-04, los cuales se encuentran distribuidos en diferentes sectores de la zona de estudio, por lo que no es posible definir áreas que presentan un comportamiento similar.

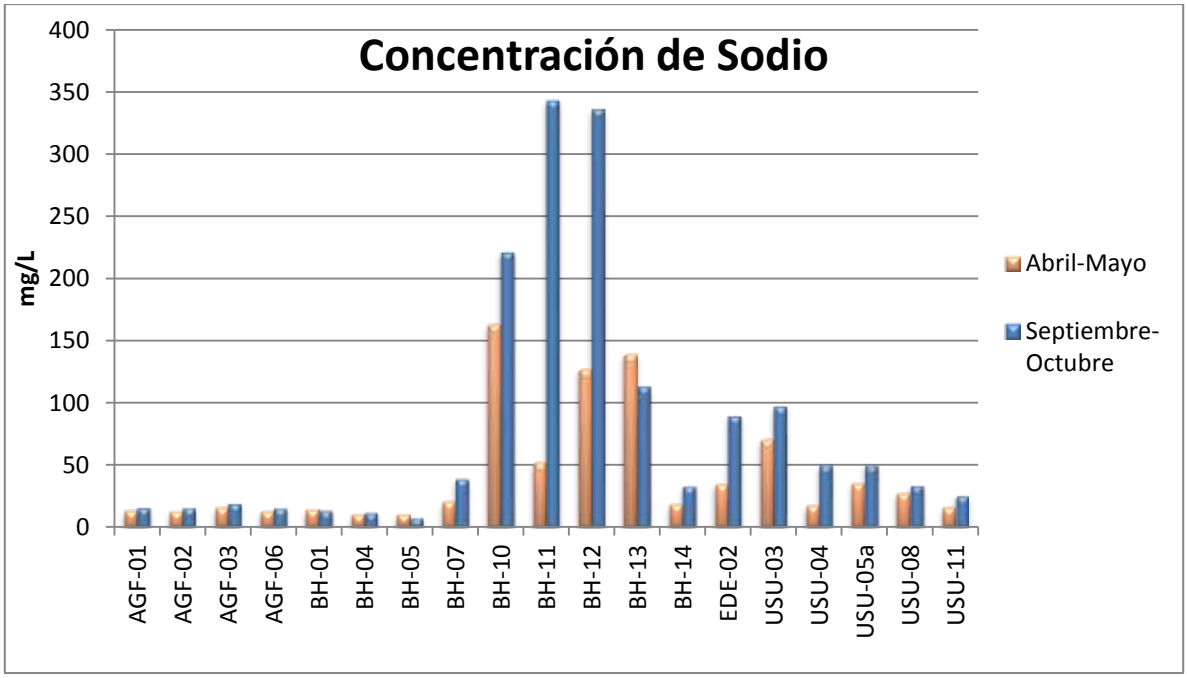

Figura 6. Resultados de las concentraciones de Sodio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Contenido de Potasio:

De acuerdo a los resultados obtenidos se encuentra, durante la época lluviosa, los pozos BH-07, BH-14, EDE-02a, USU-03, USU-05Aa y USU-11, tienen incrementos en los contenidos de Potasio superiores al 50%, con respecto a los análisis realizados durante la época seca.

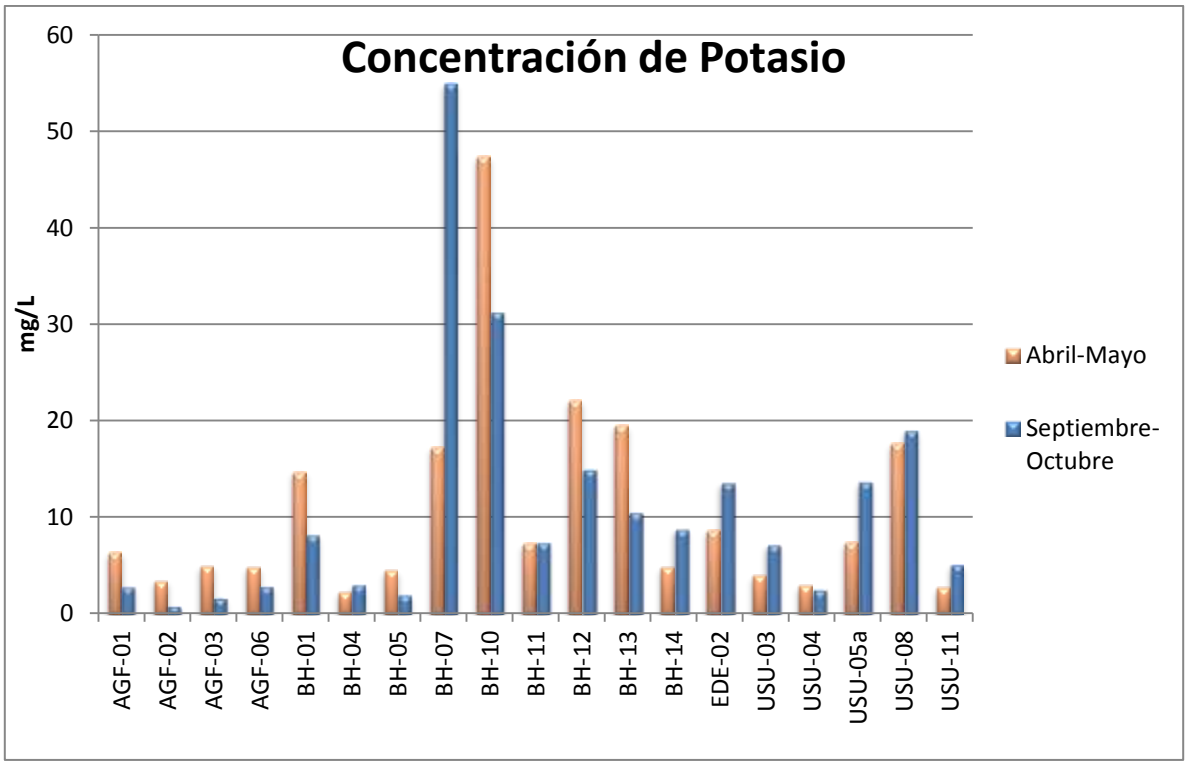

Figura 7. Resultados de las concentraciones de Potasio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Contenido de Calcio:

El ión Calcio, es el catión predominante en las aguas subterráneas en la zona de estudio, el comportamiento de este es variable. En la mayoría de los casos, se evidencia un incremento en el contenido de Calcio en los sitios de monitoreo, sin embargo existen casos muy peculiares como es el del pozo BH-13, el cual experimentó un descenso del 64% en su contenido de Calcio, durante la época lluviosa.

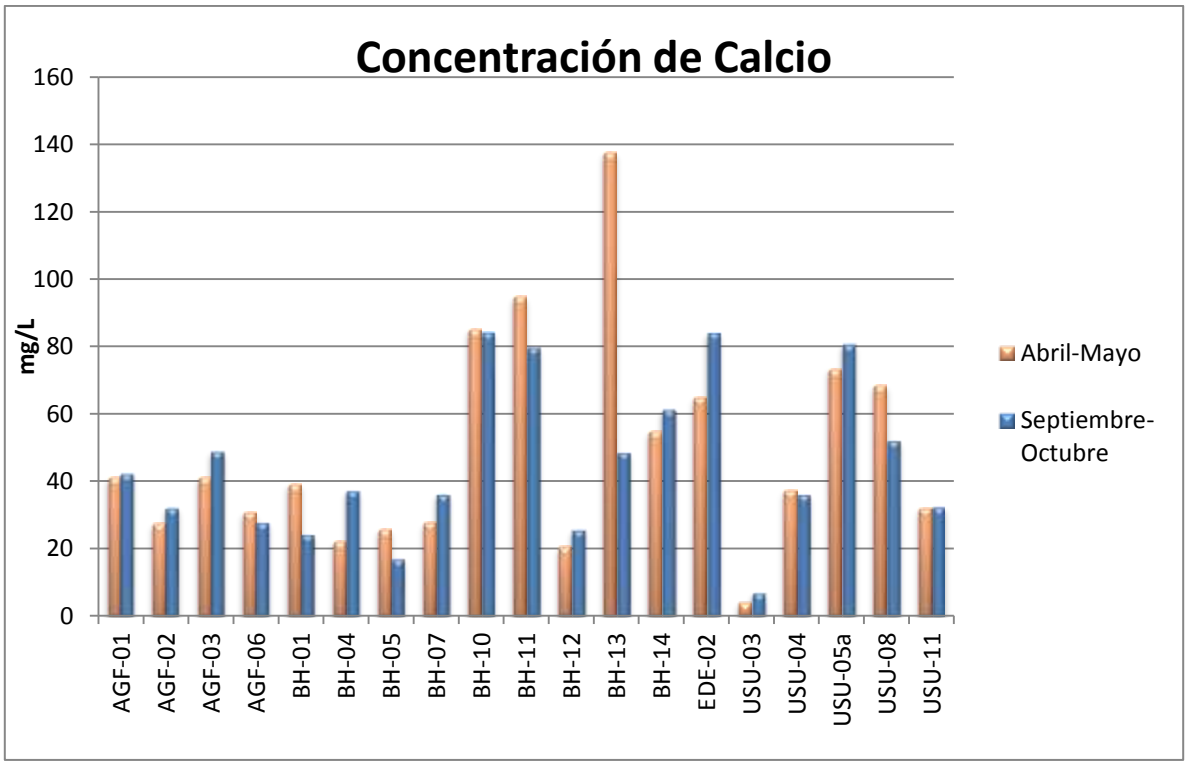

Figura 8. Resultados de las concentraciones de Calcio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Contenido de Magnesio:

El contenido de magnesio en las aguas subterráneas de los sitios de monitoreo, no presenta una tendencia definida por sectores, en algunos casos se presentan incrementos y en otros descensos, durante la transición de época seca a época lluviosa. No obstante, se observa un cambio en la caracterización físico química de tres sitios, como consecuencia de las variaciones de este ión en las aguas subterráneas.

Los sitios identificados como EDE-02, AGF-03 y BH-07, son los que durante la época seca fueron clasificados como Bicarbonatadas magnésicas mientras que durante la época lluviosa fueron caracterizadas como Bicarbonatadas Cálcicas.

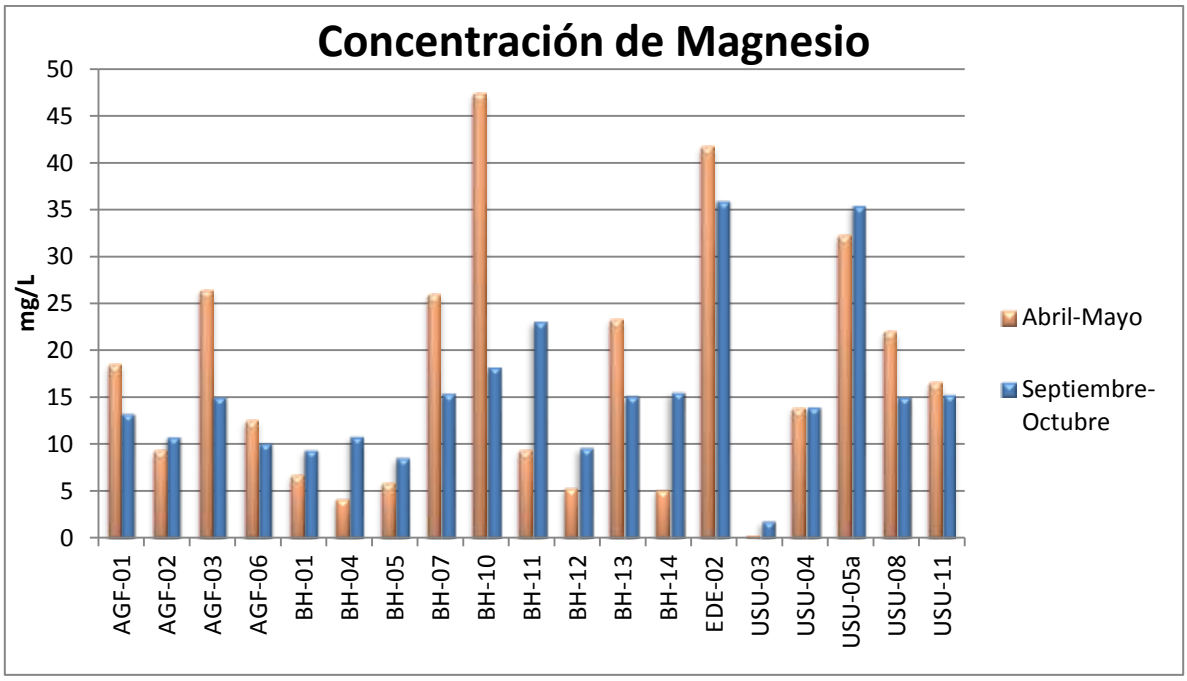

Figura 9. Resultados de las concentraciones de Magnesio obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Concentración de Cloruro:

En general los valores de concentración de Cloruros en los pozos de monitoreo se encuentran en un rango inferior a los 50 mg/L, a excepción de los pozos BH-10, BH-11, BH-12 y BH-13.

El sitio de monitoreo BH-10, tiene como anión predominante el cloruro, por lo que estas aguas son clasificadas como Cloruradas Sódicas, este pozo se encuentra en las márgenes de un brazo del Río Lempa en su desembocadura en el mar, por lo que estas concentraciones de cloruro están asociadas a la influencia del agua de mar en la zona.

El sitio de monitoreo BH-13, no se clasifica como aguas tipo cloruradas, sin embargo el contenido de este ión se encuentra por encima de los valores encontrados en otros sectores, principalmente durante la época seca. Estos valores elevados están asociados a las condiciones de este sector de la zona de estudio, el cual es conocido como Salinas de Sisiguayo.

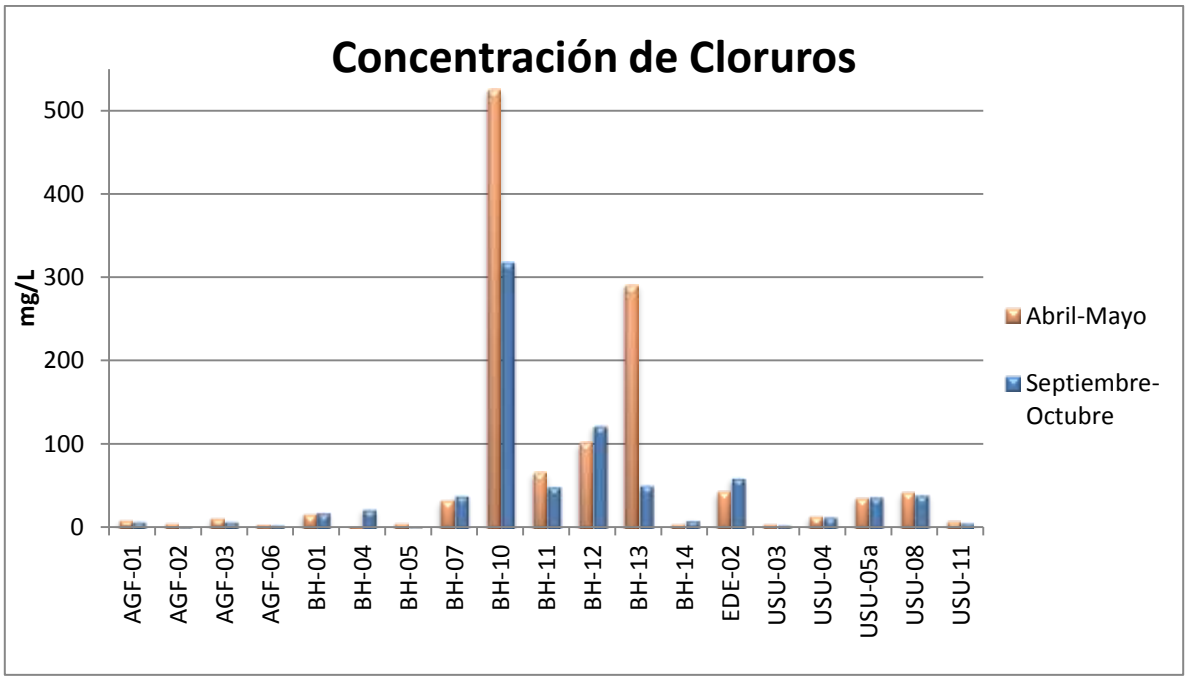

Figura 10. Resultados de las concentraciones de Cloruros obtenidos en las diferentes campañas de muestreo

Concentración de Bicarbonatos:

Los Bicarbonatos representan el anión predominante en las aguas subterráneas de la zona de estudio, y no presenta cambios significativos en sus concentraciones en las diferentes épocas. Los sitios identificados como BH-10 y BH-12, sufrieron incrementos en su contenido de Bicarbonatos por arriba del 50% en la época lluviosa.

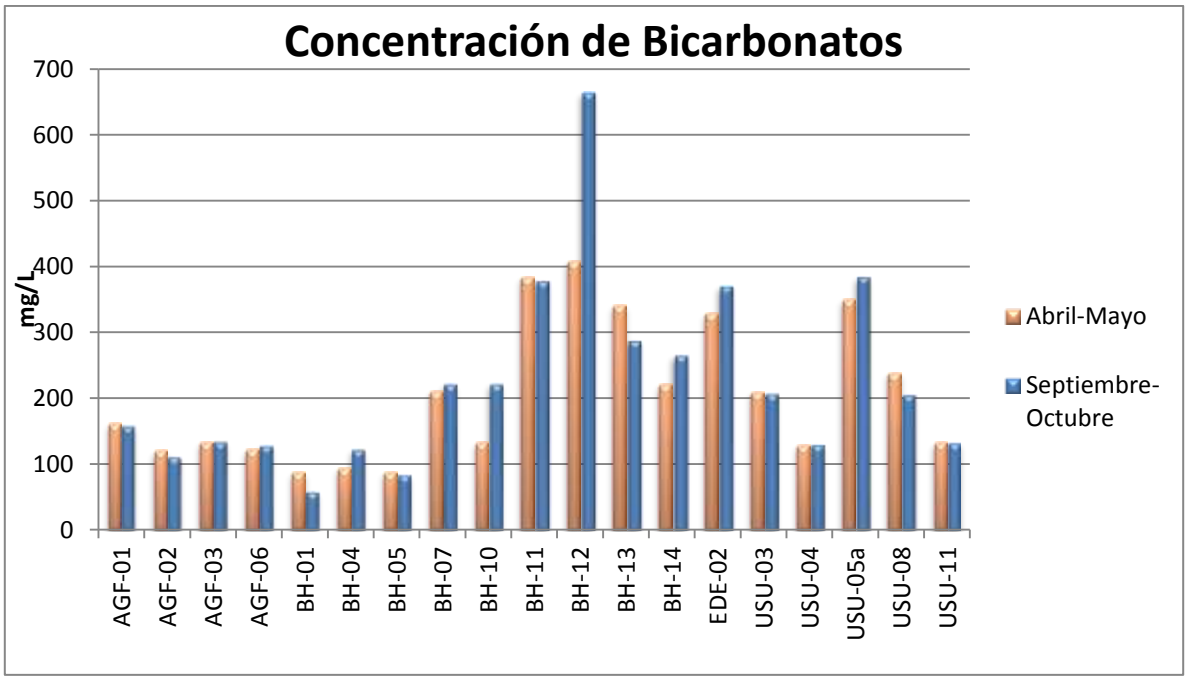

Figura 11. Resultados de las concentraciones de Bicarbonatos obtenidos en las diferentes campañas de muestreo.

Concentración de Sulfatos:

El anión sulfato, es el ión que presentan mayores cambios entre las resultados registrados en época seca y época lluviosa.

Durante la época lluviosa, en los sitios identificados como BH-04, BH-11 y BH-12, los valores sulfatos se vieron incrementados en más del 1000%, con respecto a los registrados durante la época seca.

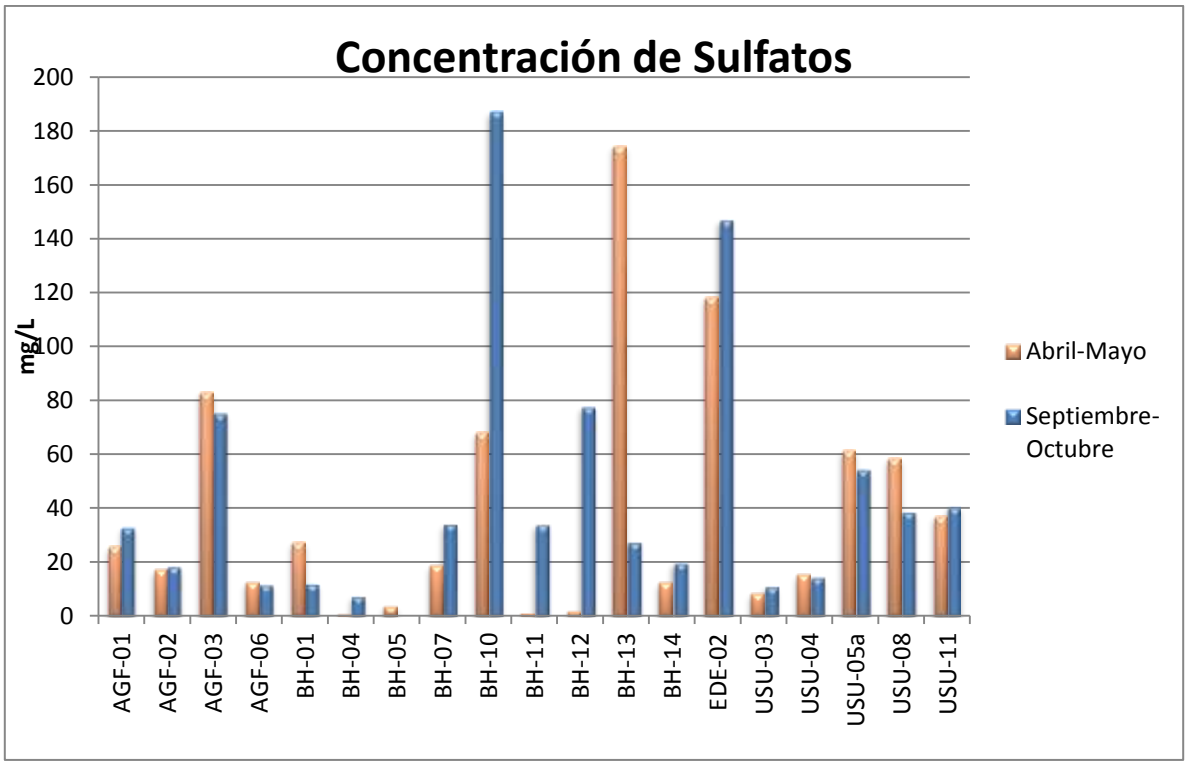

Figura 12. Resultados de las concentraciones de Sulfatos obtenidos en las diferentes campañas de muestreo

Los resultados obtenidos denotan que las variaciones encontradas en los sitios de monitoreo, son representativos de condiciones particulares de cada sector, y no de condiciones regionales que permitan delimitar zonas con problemas definidos.

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 de 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:

- Indice G: el cual es representativo del tipo de acuífero.
- Indice O: este se refiere al tipo de litología de la zona no saturada.
- Indice 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.

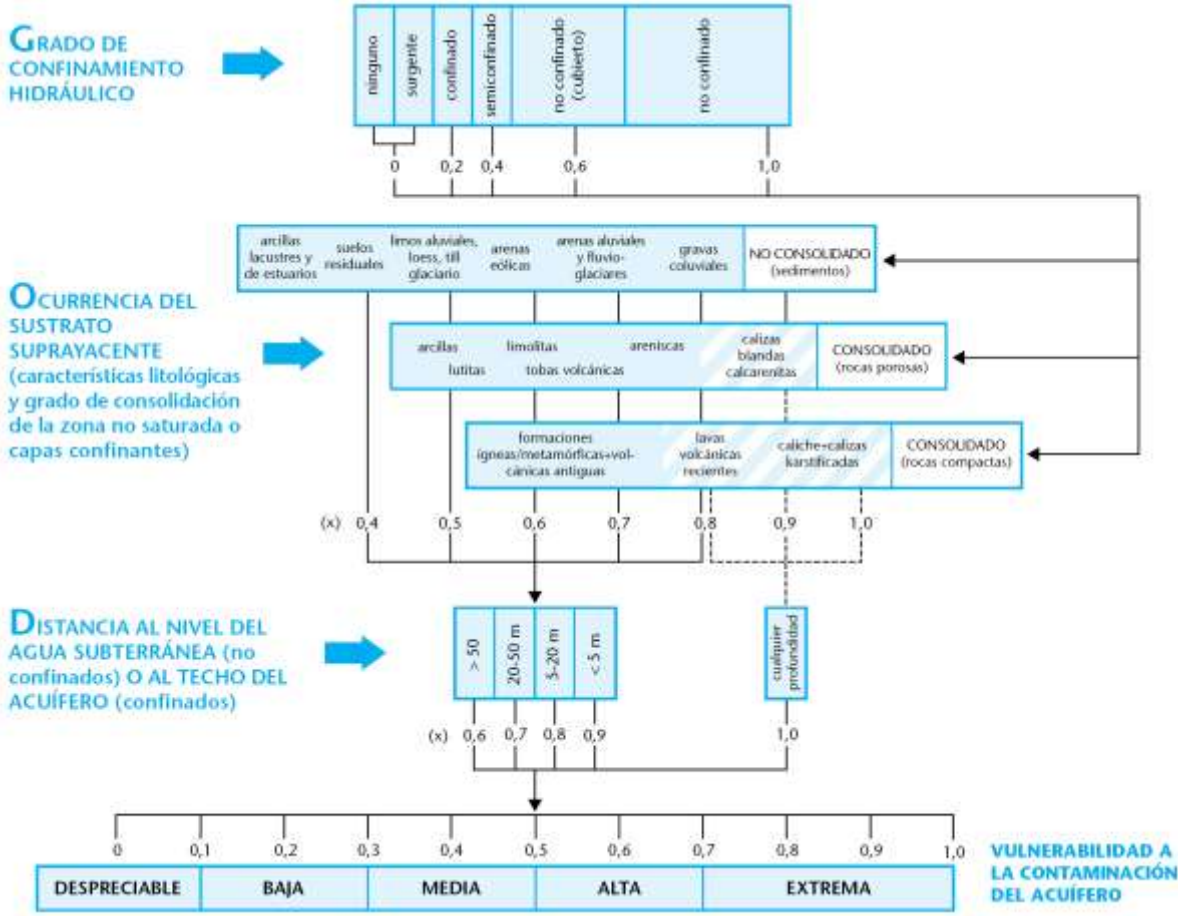

Figura 13. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos. Fuente: Foster, et al, Protección de la calidad de aguas subterráneas.2002.

En la zona de estudio, se tomaron los siguientes criterios para la determinación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación en la zona de estudio.

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.

Los sectores correspondientes a las unidades hidrogeológicas de acuífero poroso y acuífero volcánico fisurado, se asigno un valor de 0.8, ya que no se han evidenciado características de confinamiento en los sectores estudiados.

En el área que el acuífero se encuentra bajo una capa de cobertura se asigno el valor de 0.6, que es el índice que correspondiente al acuífero no confinado cubierto.
En el área de rocas no acuíferas se estableció un índice de 0, ya que no hay acuífero en esta zona.

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 en depósitos piroclásticos. A partir de estas características se realizó la siguiente asignación:
El sector del acuífero donde afloran los materiales del Miembro Qf, se caracterizó con un índice de 0,7, ya que estos representan los depósitos del Cuaternario con menor grado de compactación.
En el sector medio de las subcuencas de la zona de estudio, afloran materiales de los miembros s3'a (tobas color café) y materiales del miembro s1, en ambos casos sus características y grado de compactación permitió asignarles un mismo valor el fue de 0.6.
La zona cubierta por materiales del miembro s2, se le asignó un valor de 0,7, ya que además de ser materiales más recientes, el uso de suelo, el cual es predominantemente para el cultivo de café, favorece la infiltración en esta zona, representando una zona de recarga al acuífero.
Existen dos pequeñas porciones de la zona de estudio, en las cuales afloran en superficie materiales del miembro s5, que corresponden a conos de acumulación de escorias por lo que se le asigno un valor de 0.8.
El área en la cual se observan materiales de la Formación Bálsamo, se asigno un índice de 0.5, ya que este tipo de materiales son más antiguos y con un grado de compactación mayor.

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 varían entre 0.3 – 100 m.
La distribución de las profundidades del acuífero, está directamente relacionado con la cota topográfica a la cual se encuentra y el tipo de unidad hidrogeológica a la cual pertenece, de acuerdo al siguiente detalle:
Unidad de acuífero poroso:
La porción que pertenece a la parte baja de la cuenca hasta aproximadamente la carretera del Litoral, el nivel freático tiene profundidades inferiores a los 5m por lo que se le asigno el valor de 0.9.
El segmento de esta unidad correspondiente a la parte media de la cuenca se le asignó un valor de 0.7, ya que las profundidades en esta zona rondan los 48m.

Unidad de acuífero volcánico fisurado:
En el sector del acuífero, que se localiza en la parte media de las cuencas en estudio, y las profundidades del nivel freático superan los 30m, el valor del índice D asignado fue de 0.7.
En la parte alta de la zona de estudio se asigno un valor de 0.6.

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 14).

A partir de los resultados obtenidos se determinó que la mitad del área total de la zona de estudio se encuentra en la categoría de vulnerabilidad alta, en el sector que corresponde a la parte media y baja de las subcuencas. En esta zona se localiza la unidad hidrogeológica de acuífero poroso, y la 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
DESPRECIABLE	8.76	1.15
BAJA	193.93	25.56
MEDIA	178	23.46
ALTA	378.18	49.83

Cuadro 3: Tipo de vulnerabilidad y área correspondiente.

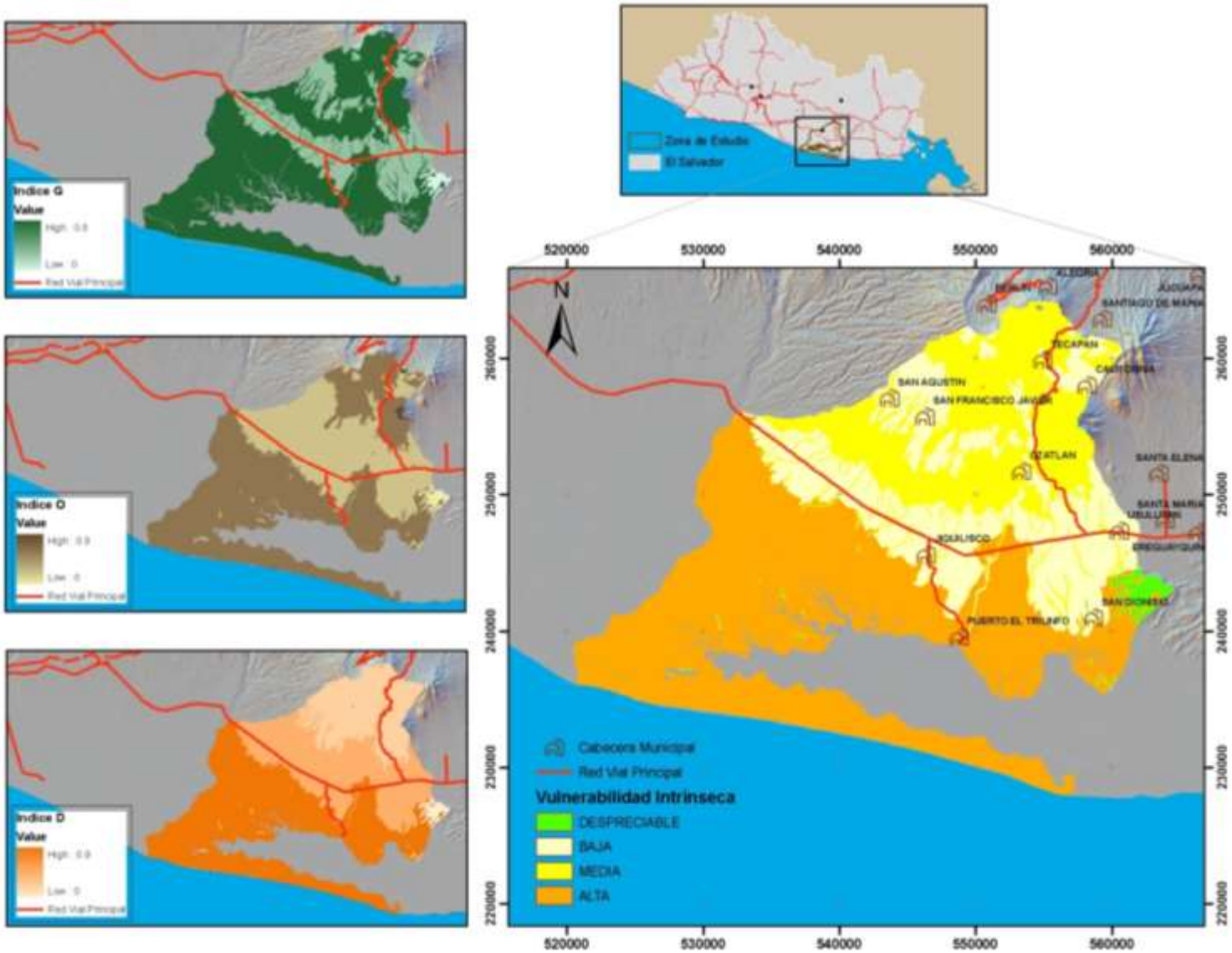

Figura 14. Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos de la zona de estudio.

10. CONCLUSIONES.

- En la zona de estudio se identifican dos acuíferos principales, uno localizado en la unidad hidrogeológica de acuífero poroso, y el otro en la unidad hidrogeológica de acuífero volcánico fisurado.

- El comportamiento de la recarga en los acuíferos, está condicionado por la unidad hidrogeológica a la que pertenecen. En la unidad de acuífero poroso la recarga se ve reflejada de forma rápida durante la época lluviosa, sin embargo en el acuífero localizado en el medio fisurado, el efecto de la recarga se ve desfasado y se evidencia meses después de finalizada la época lluviosa.

- El tipo de agua predominante en ambos sistemas acuíferos es el Bicarbonatado Cálcico, lo que indica que son aguas de recarga rápida, y que la interacción agua-roca, no propicia un enriquecimiento de estas en otros iones.

- En la zona de estudio se identificaron tres sitios de monitoreo, en los cuales el Sodio, es uno de los componentes mayoritarios, tanto en época seca como en época lluviosa. En dos de estos sitios estas altas concentraciones de Sodio se asocian a su cercanía a la costa y la influencia del mar en su composición iónica.

- El 49.83 por ciento de la zona de estudio se encuentra clasificada con alta vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos. Por lo que es una característica de suma importancia a tomar en cuenta, en los usos de suelo presentes en la zona, ya que esta condición, pone de manifiesto que el acuífero es vulnerable a muchos contaminantes en diferentes escenarios.

- Los materiales geológicos aflorantes en la superficie de la zona de estudio, son un factor determinante en las características del sistema y de su vulnerabilidad.