



MARN

Ministerio de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera

Gerencia de Hidrología

Dirección General del Observatorio ambiental

Diciembre de 2016

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera

Contenido

Resumen Ejecutivo	7
Introducción.....	8
1. Objetivos	9
1.1. Objetivo general.....	9
1.2. Objetivos específicos	9
2. Ubicación y delimitación de la zona de estudio	9
3. Metodología.....	11
3.1. Medición de niveles piezométricos de los pozos de monitoreo.....	11
3.2. Toma de muestras de agua subterránea.....	11
4. Análisis de resultados.....	11
4.1. Confiabilidad de los resultados obtenidos de concentraciones de iones mayoritarios. ..	12
4.2. Caracterización físico-química.....	13
4.2.1. Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas B, C y D.....	13
4.2.2. Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas EFG.....	20
4.2.3. Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de región hidrográfica I.....	26
4.3. Niveles piezométricos	30
4.3.1. Niveles del agua subterránea en el acuífero poroso ubicado en la parte baja de las regiones hidrográficas B, C y D.....	30
4.3.2. Niveles del agua subterránea en el acuífero poroso ubicado en la parte baja de las regiones hidrográficas E, F y G.....	31
4.3.3. Niveles piezométricos acuífero poroso ubicado en la parte baja de la región hidrográfica I.....	33
4.4. Contenido de Metales en las aguas subterráneas del acuífero poroso de la zona costera.	34
4.4.1. Arsénico:.....	35
4.4.2. Hierro Total.....	39
4.4.3. Manganeso:.....	43
5. Conclusiones	48
Bibliografía.....	50

Índice de figuras

Figura 1: Unidades hidrogeológicas y ubicación de sitios de monitoreo de la zona costera.	10
Figura 2 Gráfico representativo de la Conductividad eléctrica vrs. Electroneutralidad de los sitios de monitoreo.....	13
Figura 3 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo de las regiones hidrográficas B, C y D correspondiente a la época seca. ...	14
Figura 4 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo de las regiones hidrográficas B, C y D correspondiente a la época lluviosa.	14
Figura 5: Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona BC para la época seca.	16
Figura 6: Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona D para la época seca.	17
Figura 7 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona BC para la época lluviosa.	18
Figura 8 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona D para la época lluviosa.	19
Figura 9: Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E y F para la época seca.	20
Figura 10 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E y F para la época lluviosa.	21
Figura 11: Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en la región hidrográfica G para la época seca.	21
Figura 12 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en la región hidrográfica G para la época lluviosa.	22
Figura 13 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona EFG para la época seca.	24
Figura 14 15 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona EFG para la época lluviosa.	25
Figura 16 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de la región hidrográfica I para la época seca.	26
Figura 17 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de la región hidrográfica I para la época lluviosa.	27
Figura 18: Representación en diagrama de Stiff, de la composición de iones mayoritarios de los sitios de monitoreo para la época seca.	28
Figura 19 Representación en diagrama de Stiff, de la composición de iones mayoritarios de los sitios de monitoreo para la época lluviosa.	29
Figura 20 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas B, C y D.	31
Figura 21 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E, F y G.	33
Figura 22 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en la región hidrográfica I.	34

Figura 23 Sitios en los que se identificó la presencia de Arsénico en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2016	36
Figura 24 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en las regiones BCD para la época seca (mayo) del 2016.	37
Figura 25 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región E para la época seca (mayo) del 2016.....	37
Figura 26 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región F para la época seca (mayo) del 2016.	38
Figura 27 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región G para la época seca (mayo) del 2016.	38
Figura 28 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región I para la época seca (mayo) del 2016.....	39
Figura 29 Sitios en los que se identificó la presencia de Hierro total en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2016	40
Figura 30 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en las regiones BCD para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.....	41
Figura 31 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región E para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.	41
Figura 32 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región F para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.	42
Figura 33 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región G para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.	42
Figura 34 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.	43
Figura 35 Sitios en los que se identificó la presencia de Manganeseo en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2016	44
Figura 36 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región BCD para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.....	45
Figura 37 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región E para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.....	45
Figura 38 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región F para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.....	46
Figura 39 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región G para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.....	46
Figura 40 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región I para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.....	47

Índice de tablas

Tabla 1: Error admisible de balance iónico.....	12
Tabla 2: Caracterización físico-química de los sitios muestreados	15
Tabla 3: Caracterización físico-química de los sitios muestreados	22
Tabla 4 Caracterización físico-química de los sitios muestreados	27
Tabla 5 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo.....	30
Tabla 6 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo.....	32
Tabla 7 Sitios de muestreo y profundidades del nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo.....	34

Resumen Ejecutivo

El presente estudio se ha realizado con el objetivo de evaluar la evolución de los niveles piezométricos y las características físico-químicas del agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera del país.

Los sitios de monitoreo consisten en cincuenta puntos distribuidos en la unidad hidrogeológica denominada “acuífero poros de gran extensión y productividad media”, en las zonas correspondientes a las cuencas bajas de las regiones hidrográficas B, C, D, E, F, G e I .

La metodología de trabajo se basa en la medición y recolección de muestras de agua subterránea de cada uno de los sitios de monitoreo, mediante dos campañas de monitoreo las cuales corresponden a la época seca y época lluviosa.

A partir de los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, se realiza la caracterización físico-química de las aguas subterráneas con base en la composición de los iones mayoritarios.

Al analizar las variaciones de los niveles del agua subterránea, se pone de manifiesto que reciben la recarga proveniente de las precipitaciones en un tiempo breve, por lo que los ascensos de los niveles freáticos se evidencian en corto plazo.

Introducción

El agua subterránea es una fuente muy importante de abastecimiento de agua para diversos usos. En la zona costera del país se encuentran muchos usuarios, que no cuentan con acceso al agua potable, y suplen sus necesidades a través de pozos excavados de poca profundidad.

Las campañas de monitoreo se realizan dos veces al año, uno durante la época seca (abril-mayo) y otro durante la época lluviosa (octubre-noviembre) para el año 2016.

Los acuíferos porosos en zonas costeras, por su misma naturaleza, son vulnerables a diferentes tipos de afectaciones, tales como contaminación generadas el desarrollo de actividades potencialmente contaminantes, avance de cuña salina y reducción de la disponibilidad del recurso como consecuencia de período sin lluvia prolongados.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar las características hidrogeoquímicas, de las aguas subterráneas pertenecientes al acuífero somero y así como la evolución de los niveles en el tiempo.

1.2. Objetivos específicos

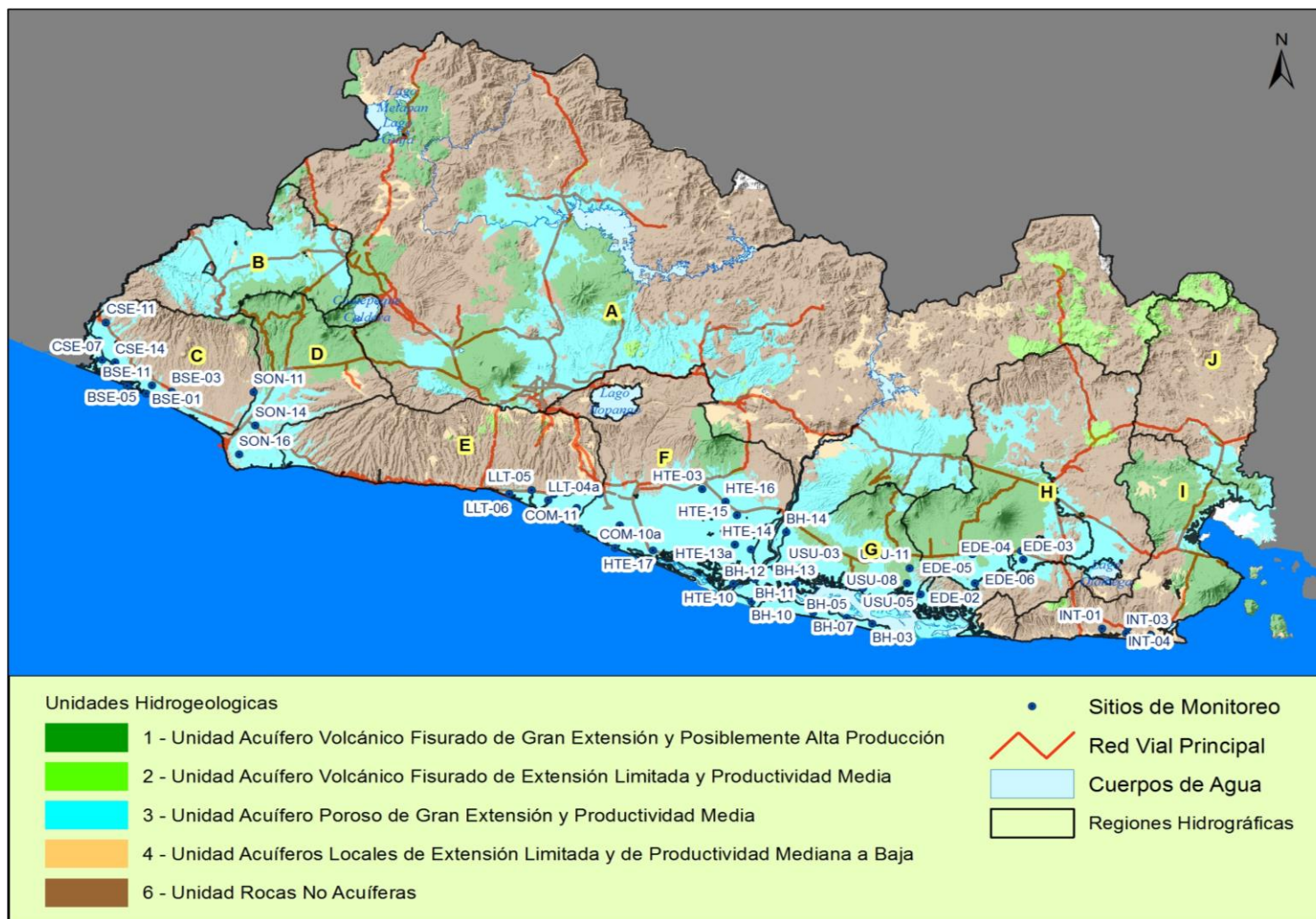
- Realizar la caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de los acuíferos porosos y someros de la zona costera.
- Evaluar la variabilidad estacional de los niveles piezométricos de los acuíferos porosos y someros de la zona costera.

2. Ubicación y delimitación de la zona de estudio

La zona de estudio comprende acuíferos someros que se encuentran en materiales aluviales dentro de la zona costera del país.

Estos acuíferos se ubican en las zonas bajas de las regiones hidrográficas B, C, D, E, F, G e I. De acuerdo al mapa hidrogeológico de El Salvador (ANDA, 2008), estos sitios de monitoreo se ubican en la unidad hidrogeológica de acuífero poroso de gran extensión y productividad media (Figura 1).

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera



Fuente mapa base: (ANDA, 2008)

Figura 1: Unidades hidrogeológicas y ubicación de sitios de monitoreo de la zona costera.

3. Metodología

Los pozos que conforman la red de monitoreo del acuífero poroso de la zona costera, corresponden a pozos artesanales de uso doméstico (sin consumo humano).

Los sitios muestreados corresponden a 50 puntos de agua, los cuales se ubican en diferentes sectores del área comprendida por los acuíferos porosos de la zona costera.

Durante el año se realizan dos campañas de monitoreo, las cuales se llevan a cabo en la época seca y en la época lluviosa, con el fin de evaluar las condiciones del acuífero en diferentes periodos del año.

3.1. Medición de niveles piezométricos de los pozos de monitoreo

En cada uno de los sitios de monitoreo, se realizó la medición de niveles piezométricos (freáticos en este caso), tanto en época seca como en época lluviosa, con el fin de registrar los niveles para ambas condiciones, al igual que los años anteriores.

3.2. Toma de muestras de agua subterránea.

Luego de realizar la medición del nivel freático se procede a recolectar las muestras de agua, llenando 3 frascos, dos de un litro, para el análisis de iones mayoritarios y uno de medio litro, este último es preservado con ácido nítrico, el cual será utilizado para el análisis de dureza y metales.

El total de muestras colectadas son preservadas en hieleras, con el objetivo de mantenerlas a baja temperatura durante su traslado hasta el laboratorio de Calidad de Agua para su análisis.

4. Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos del análisis de laboratorio se muestran en el Anexo I, para su análisis e interpretación se han agrupado en zonas que presentan continuidad en la disposición de los materiales aluviales en la superficie del terreno.

Con este criterio se han analizado tres zonas:

- Acuífero poroso costero de regiones hidrográficas BCD.
- Acuífero poroso costero de regiones hidrográficas EFG.
- Acuífero poroso costero de región hidrográfica I.

4.1. Confiabilidad de los resultados obtenidos de concentraciones de iones mayoritarios.

Los resultados obtenidos del análisis de iones mayores de las muestras tomadas en los sitios seleccionados, se evaluaron a partir del balance iónico para determinar con base a la ecuación de electroneutralidad la validez de los resultados obtenidos.

La confiabilidad de los resultados obtenidos se evaluó a partir de la relación existente entre la conductividad eléctrica y el error admisible mostrado en el cuadro siguiente:

Tabla I: Error admisible de balance iónico.

ERROR ADMISIBLE DE BALANCE IONICO EN FUNCION DE LA CONDUCTIVIDAD	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Error admisible %
50	30
200	10
500	8
2000	4
>2000	4

Fuente: Custodio-Llamas 2001

Si se establece un error admisible del 20% para todas las muestras, se obtiene que para la época seca que los resultados obtenidos existe un 3.12% que no cumplen con el error permisible del 20% y un 96.88% de los resultados de las muestras que si lo cumple. Respecto a la época lluviosa el 7.6% no cumplen con el error permisible del 20% y un 92.40% de los resultados de las muestras que si lo cumple; por lo que en general los resultados se pueden considerar aceptables.

En la Figura 2 se observa de manera gráfica la relación entre el error permisible y los valores de electroneutralidad.

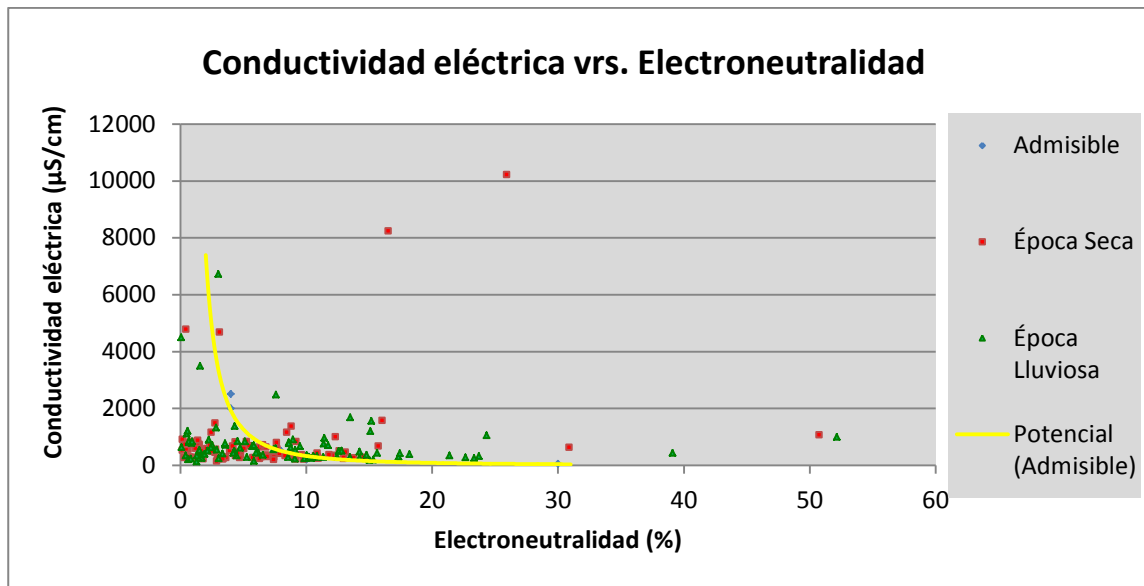


Figura 2 Gráfico representativo de la Conductividad eléctrica vs. Electroneutralidad de los sitios de monitoreo.

En la Figura 2, se muestra con una línea amarilla la curva que delimita la zona de los valores admisibles (bajo la curva), de los no admisibles (sobre la curva).

4.2. Caracterización físico-química.

A partir de los resultados obtenidos de las muestras tomadas de los pozos y manantiales, se realizó la caracterización físico-química de las mismas. Para realizar esta caracterización físico-química del agua subterránea procedente de los sitios que conforman la red de monitoreo, se analiza la composición físico-química de la misma a través de las concentraciones de los iones mayoritarios así como con los valores de pH y los sólidos disueltos totales y posteriormente se utilizan las herramientas gráficas de los diagramas de Stiff (en los mapas) y Piper para caracterizar químicamente el agua subterránea.

4.2.1. Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas B, C y D.

En esta zona se tienen once pozos de monitoreo, a partir de cuyos resultados se realizó la caracterización y representación gráfica de los resultados. Los cuales se muestran a continuación:

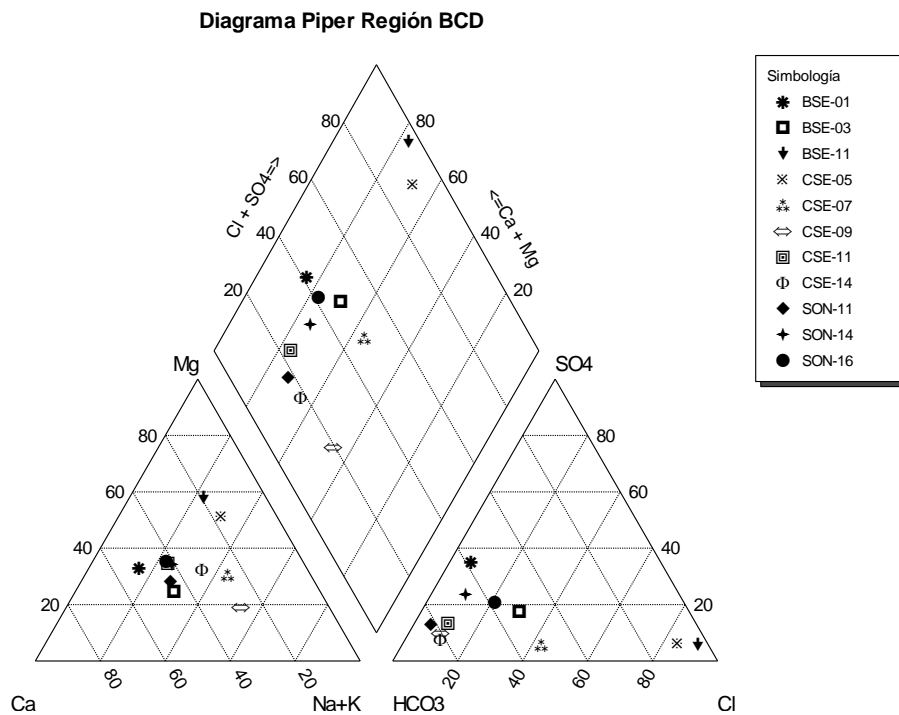


Figura 3 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo de las regiones hidrográficas B, C y D correspondiente a la época seca.

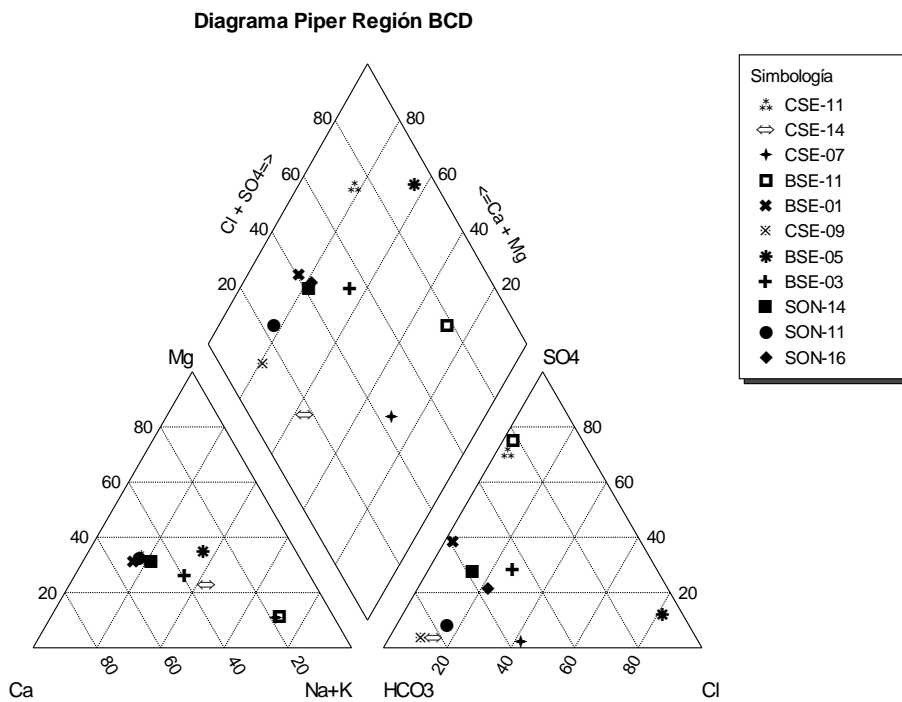


Figura 4 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo de las regiones hidrográficas B, C y D correspondiente a la época lluviosa.

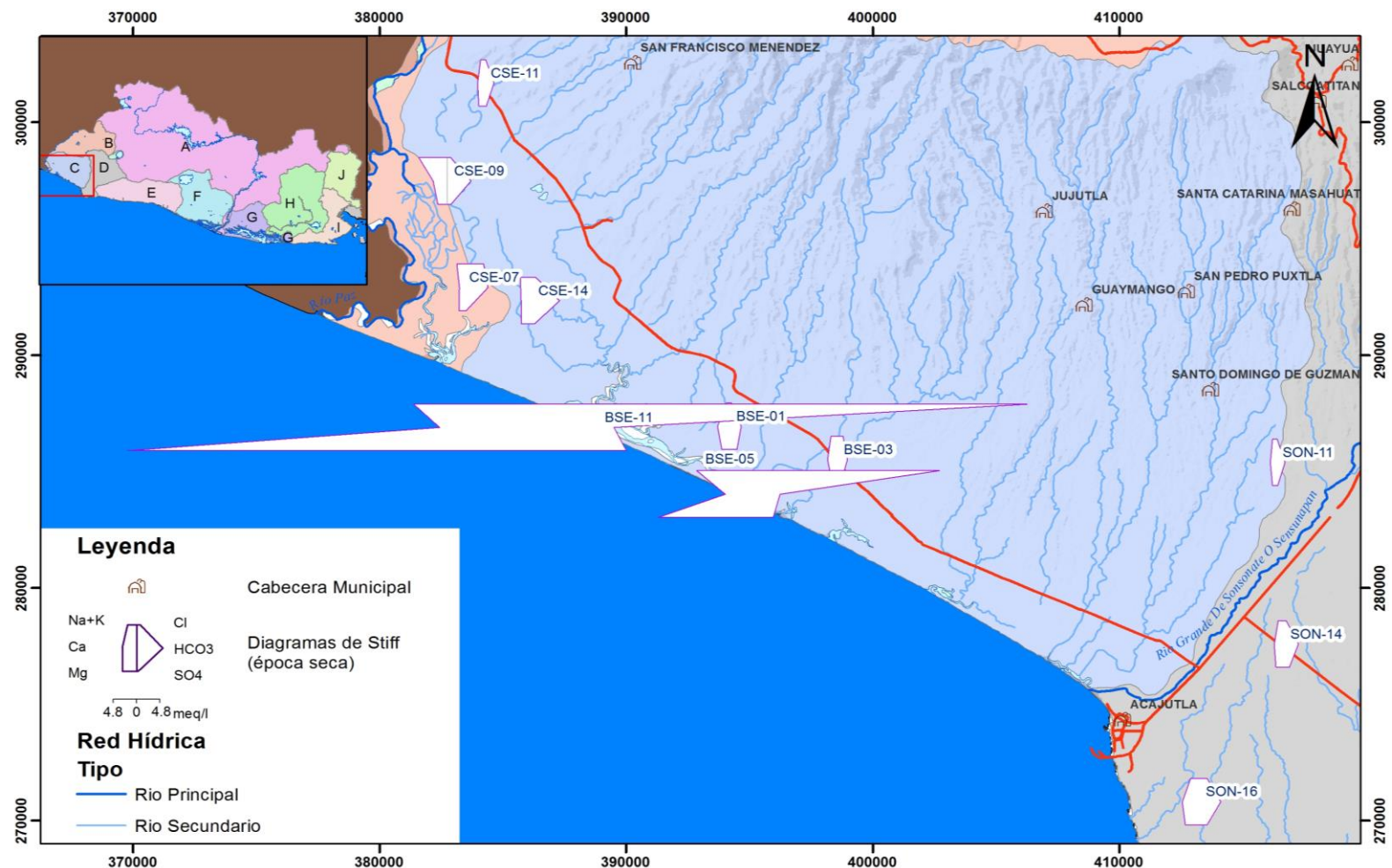
Al interpretar los resultados de los diagramas de Piper se llega a la clasificación del tipo de agua, para cada una de las muestras, presentada en la Tabla 2.

Tabla 2: Caracterización físico-química de los sitios muestreados

Muestra	Tipo de Agua Época Seca	Tipo de Agua Época Lluviosa
BSE-01	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
BSE-03	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
BSE-05	Clorurada Magnésica	Clorurada Sódica
BSE-11	Clorurada Magnésica	Bicarbonatada Sódica
CSE-07	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
CSE-09	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Cálcica
CSE-11	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
CSE-14	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
SON-04	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
SON-09	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
SON-11	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
SON-14	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
SON-16	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica

La mayoría de los sitios muestreados en esta región tienen una composición iónica correspondiente al tipo Bicarbonatada Cálcica, sin embargo el sitio identificado como BSE-05 es de tipo Clorurada Magnésica, en época seca y de tipo clorurada sódica en época lluviosa, la posible causa de esta característica es que este pozo se ubica en el sector de la barra de Santiago y recibe la influencia directa del agua de mar, la cual se asocia a la presencia del ion cloruro.

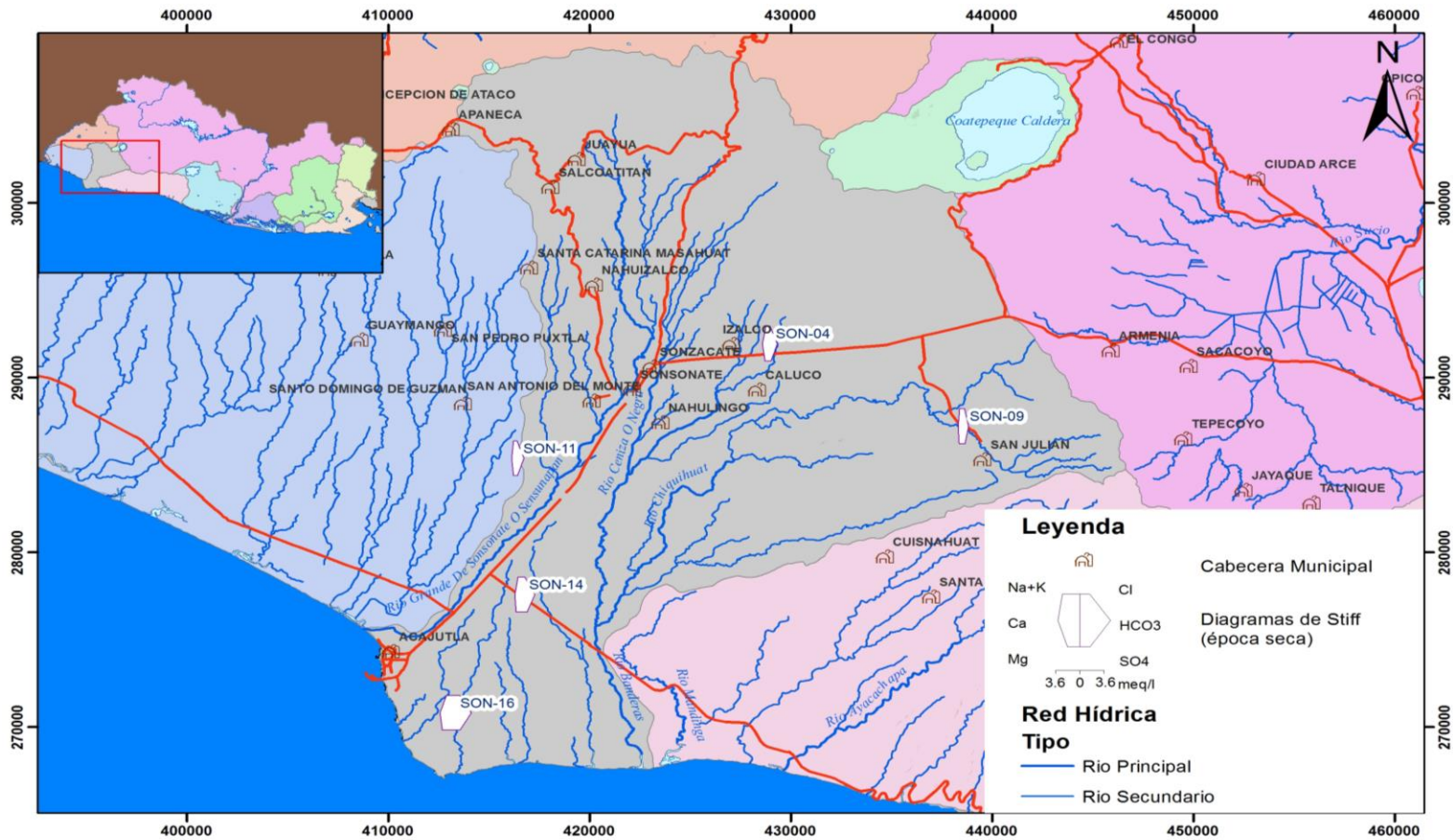
Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera



En las regiones hidrográficas B y C, se tienen once pozos de monitoreo, distribuidos en la zona costera, en la unidad hidrogeológica denominada acuífero poroso. En estos pozos se realizan dos campañas anuales de medición de nivel freático y muestreo de agua, durante la época seca y la época lluviosa. Los parámetros físico-químicos que se miden corresponden a pH, Conductividad, Sólidos Totales disueltos, Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio, Manganeseo, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Nitratos, Sílice, Fosfatos, Nitrógeno Amoniacal y algunos metales.

Figura 5: Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona BC para la época seca.

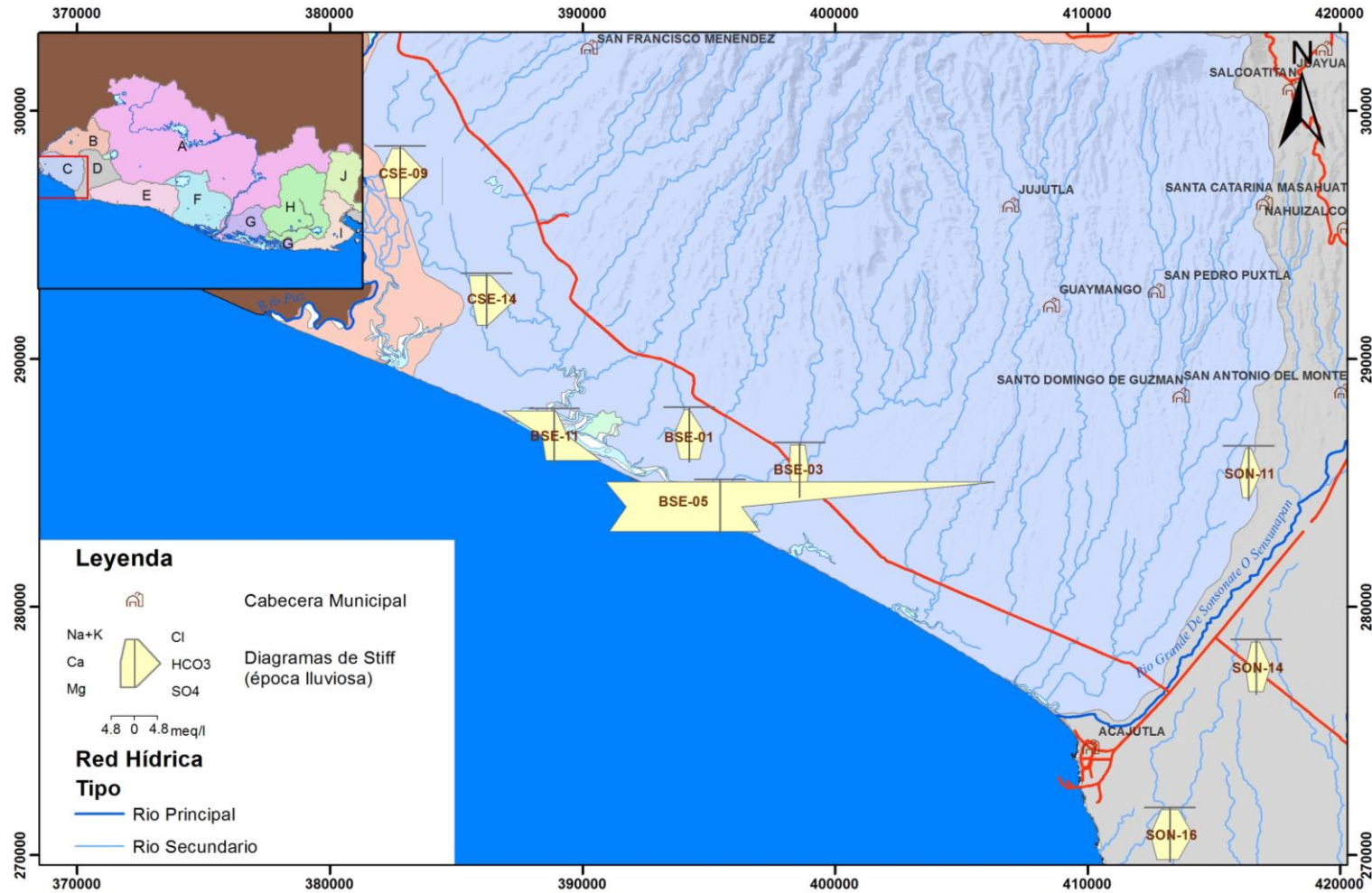
Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera



En la región hidrográficas D, se tienen cinco pozos de monitoreo, distribuidos diferentes sectores de la cuenca del Río Sensunapán, ubicados en las unidades hidrogeológicas denominadas acuífero poroso y acuífero volcánico fisurado. En estos pozos se realizan dos campañas anuales de medición de nivel freático y muestreo de agua, durante la época seca y la época lluviosa. Los parámetros físico-químicos que se miden corresponden a pH, Conductividad, Sólidos Totales disueltos, Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio, Hierro Total, Manganeso, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Nitratos, Sílice, Fosfatos y Nitrógeno Amoniacal.

Figura 6: Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona D para la época seca.

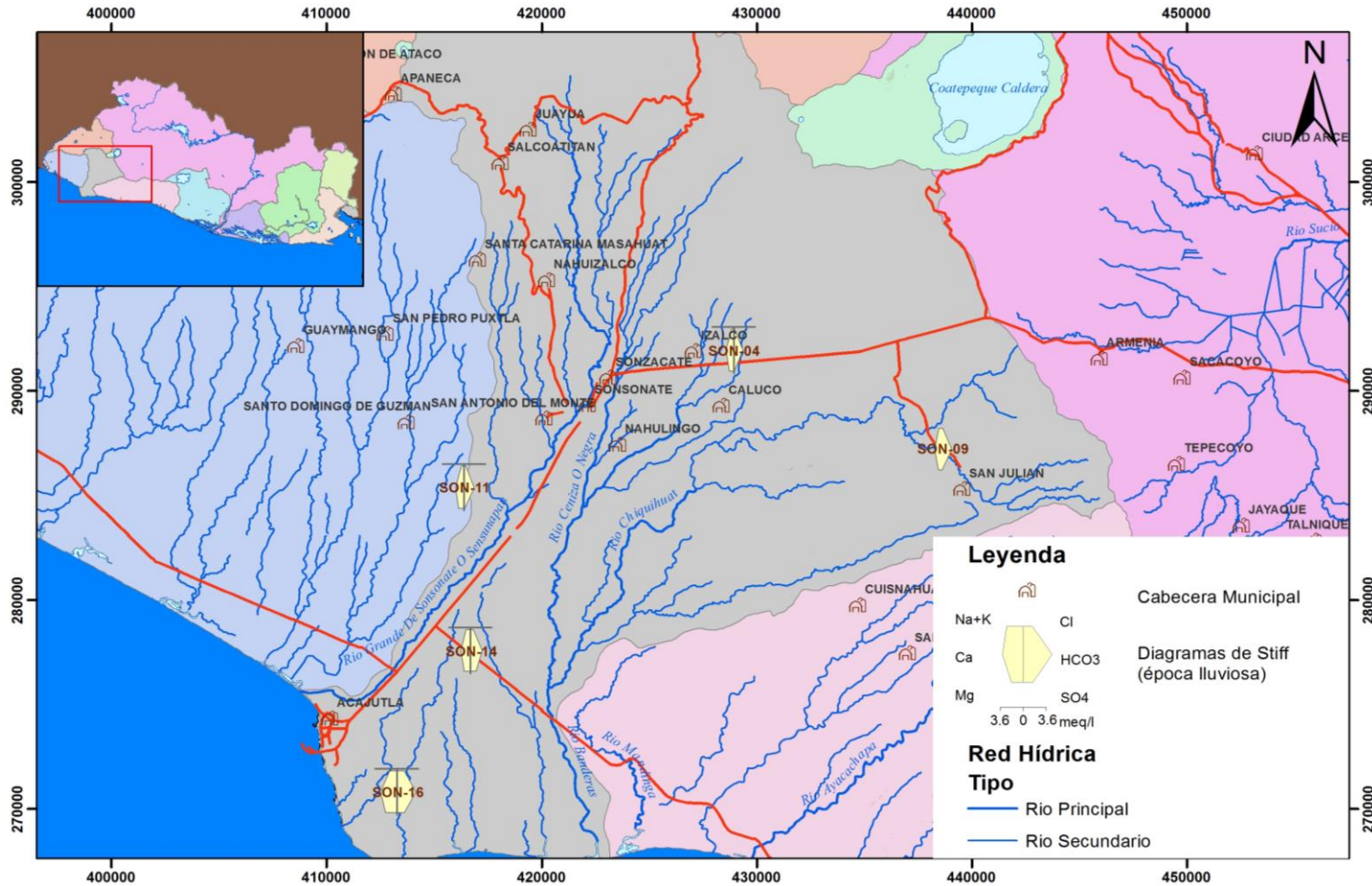
Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera



En las regiones hidrográficas B y C, se tienen once pozos de monitoreo, distribuidos en la zona costera, en la unidad hidrogeológica denominada acuífero poroso. En estos pozos se realizan dos campañas anuales de medición de nivel freático y muestreo de agua, durante la época seca y la época lluviosa. Los parámetros físico-químicos que se miden corresponden a pH, Conductividad, Sólidos Totales disueltos, Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio, Manganeseo, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Nitratos, Sílice, Fosfatos, Nitrógeno Amoniacal y algunos metales.

Figura 7 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona BC para la época lluviosa

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera



En la región hidrográficas D, se tienen cinco pozos de monitoreo, distribuidos diferentes sectores de la cuenca del Río Sensunapán, ubicados en las unidades hidrogeológicas denominadas acuífero poroso y acuífero volcánico fisurado. En estos pozos se realizan dos campañas anuales de medición de nivel freático y muestreo de agua, durante la época seca y la época lluviosa. Los parámetros físico-químicos que se miden corresponden a pH, Conductividad, Sólidos Totales disueltos, Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio, Hierro Total, Manganeseo, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Nitratos, Silíce, Fosfatos y Nitrógeno Amoniacal.

Figura 8 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona D para la época lluviosa

4.2.2. Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas EFG.

En el acuífero poroso, comprendido en las partes bajas de las regiones hidrográficas E, F y G, a partir de los resultados del análisis de las muestras de agua de los pozos muestreados, se ha realizado la caracterización físico-química de los mismos, y que se representan en los siguientes diagramas:

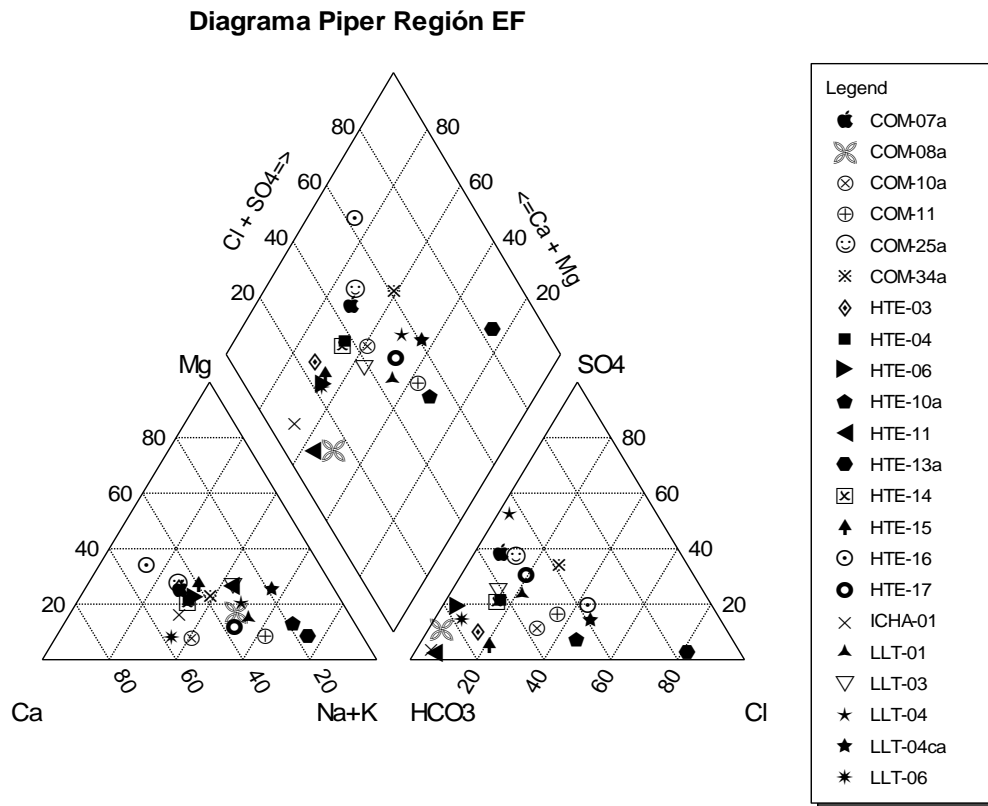


Figura 9: Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E y F para la época seca.

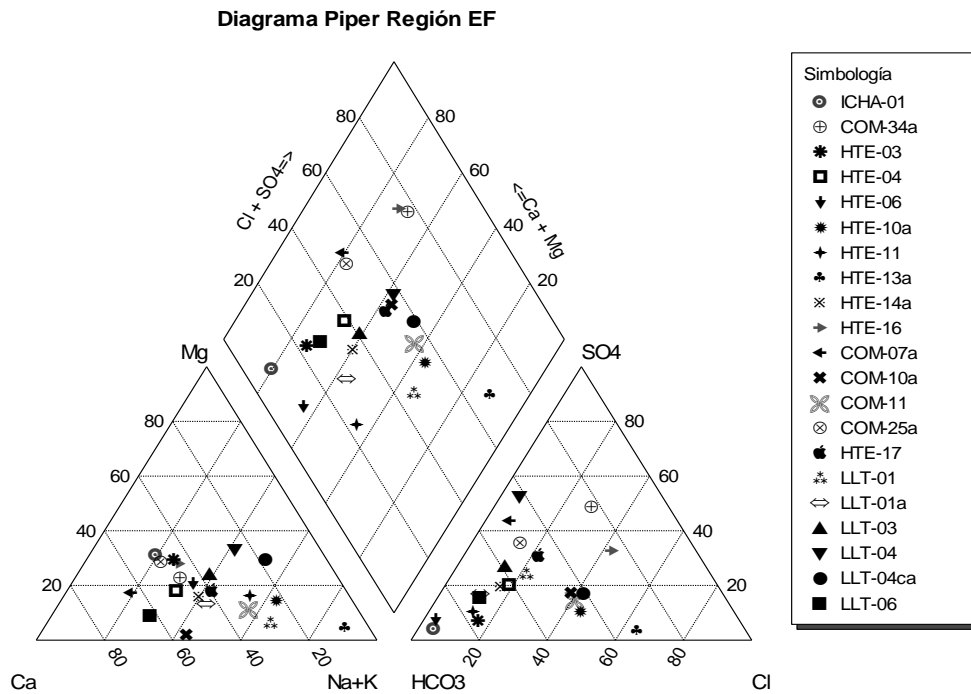


Figura 10 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E y F para la época lluviosa.

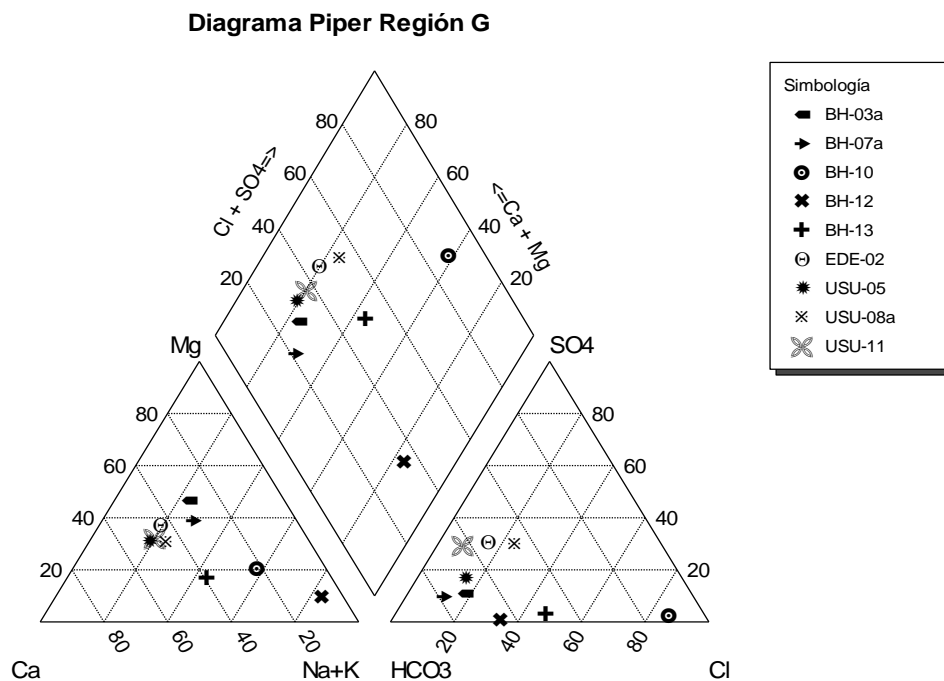


Figura 11: Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en la región hidrográfica G para la época seca.

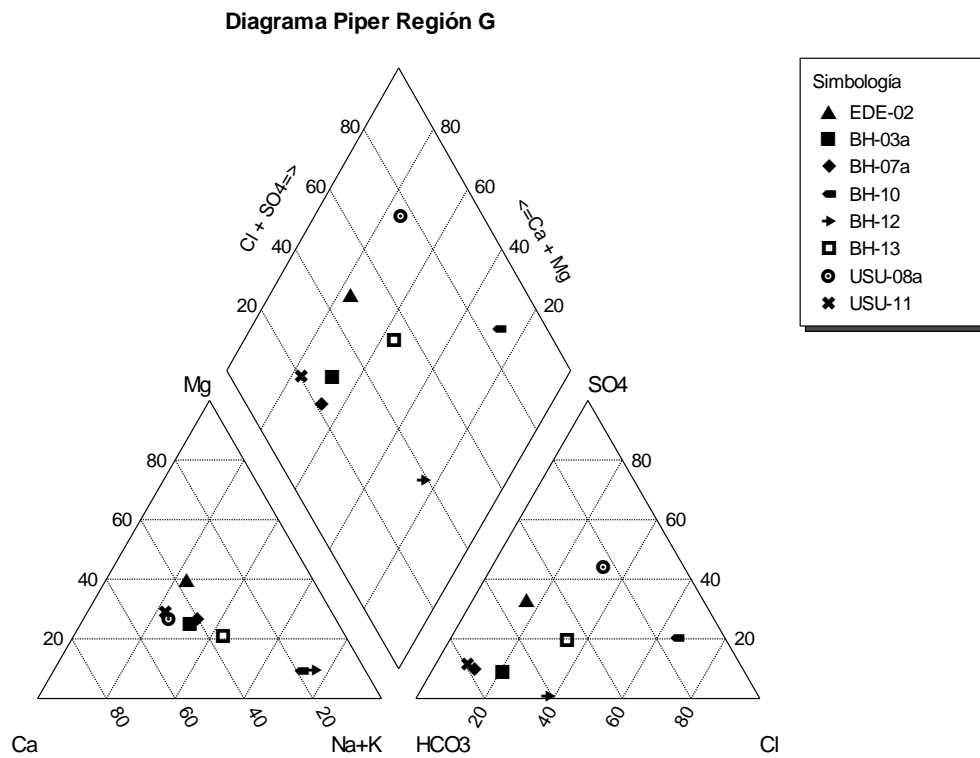


Figura 12 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en la región hidrográfica G para la época lluviosa

Al interpretar los resultados de los diagramas de Piper se llega a la clasificación del tipo de agua, para cada una de las muestras, presentada en la Tabla 3.

Tabla 3: Caracterización físico-química de los sitios muestreados

Muestra	Tipo de Agua Época Seca	Tipo de Agua Época Lluviosa
BH-04	Bicarbonatada Magnésica	Bicarbonatada Cálcica
BH-07a	Bicarbonatada Magnésica	Bicarbonatada Cálcica
BH-10	Clorurada Sódica	Clorurada Sódica
BH-12	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
BH-13	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
COM-07a	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
COM-08a	Bicarbonatada Sódica	No muestreado
COM-10a	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
COM-11	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
COM-25a	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica

Muestra	Tipo de Agua Época Seca	Tipo de Agua Época Lluviosa
COM-34a	Bicarbonatada Cálcica	Sulfatada Cálcica
EDE-02	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Magnésica
HTE-03	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
HTE-04	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
HTE-06	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
HTE-10	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
HTE-11	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
HTE-13a	Clorurada Sódica	Clorurada Sódica
HTE-14	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
HTE-15	Bicarbonatada Cálcica	
HTE-16	Clorurada Cálcica	Clorurada Cálcica
HTE-17	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Cálcica
ICHA-01	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
LLT-01	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
LLT-03	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Cálcica
LLT-04	Sulfatada Sódica	Sulfatada Magnésica
LLT-04ca	Clorurada Sódica	Clorurada Sódica
LLT-06	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
USU-05	Bicarbonatada Cálcica	No muestreado
USU-08	Bicarbonatada Cálcica	Sulfatada Cálcica
USU-11	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica

La mayoría de los sitios muestreados en esta región tienen una composición iónica correspondiente al tipo Bicarbonatada Cálcica y Bicarbonatada sódica, lo que en una primera apreciación nos podría indicar aguas juveniles, es decir que su tiempo de transito es muy corto.

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera



Figura 13 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona EFG para la época seca.

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera

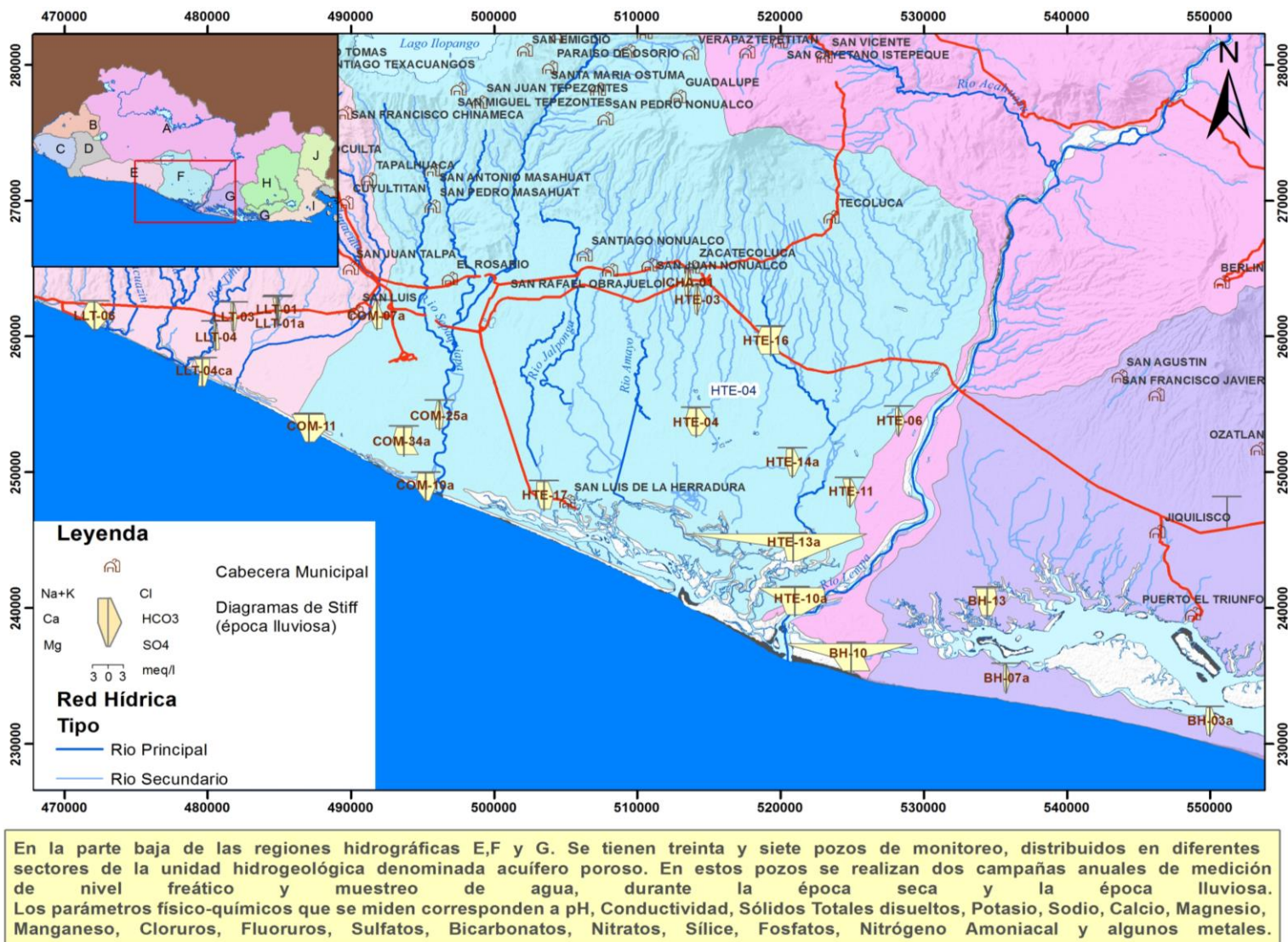


Figura I4 I5 Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona EFG para la época lluviosa.

4.2.3. Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de región hidrográfica I.

En el sector sur de la región hidrográfica I, se encuentran depósitos sedimentarios, que conforman un pequeño acuífero poroso. A partir de los resultados obtenidos, del análisis de las muestras de agua de los pozos muestreados, se realizó la caracterización físico-química del agua subterránea extraída de los mismos, con la ayuda de las herramientas graficas de los diagramas de Stiff (en los mapas) y Piper (en las figuras) para poder clasificar el tipo de agua subterránea que se tiene en el acuífero en estudio, los resultados obtenidos se representan a continuación:

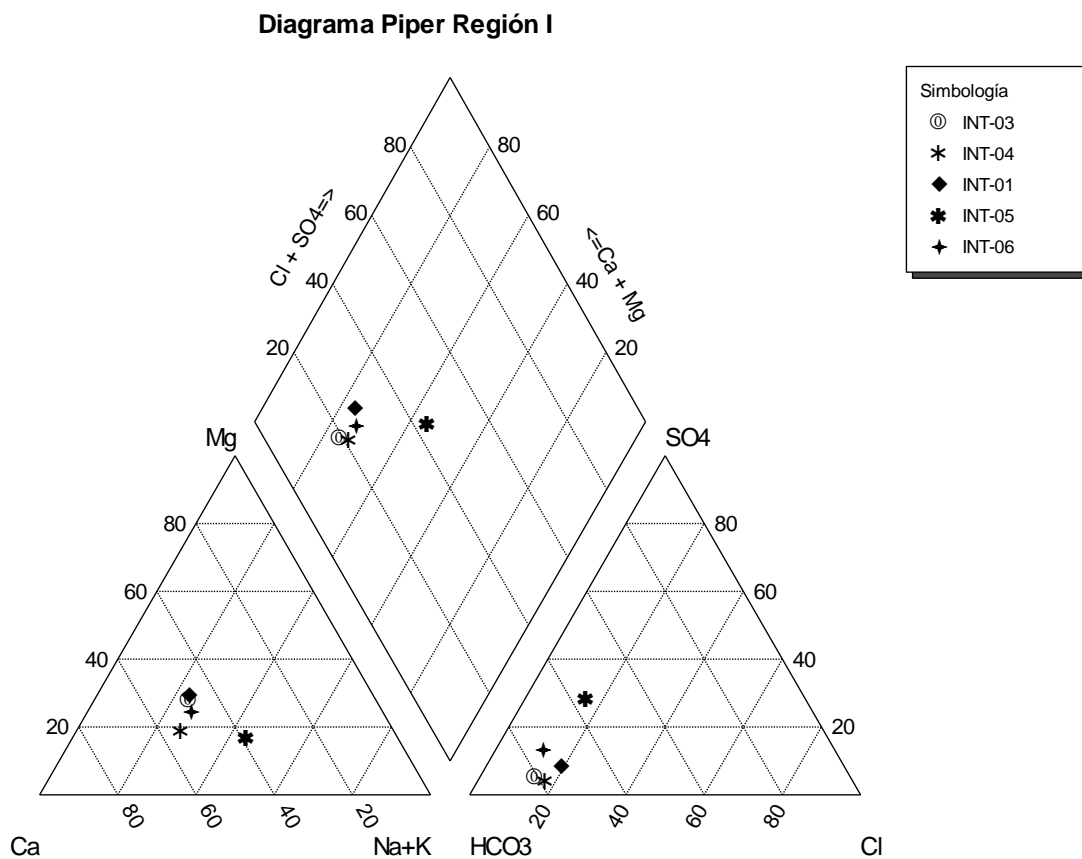


Figura 16 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de la región hidrográfica I para la época seca.

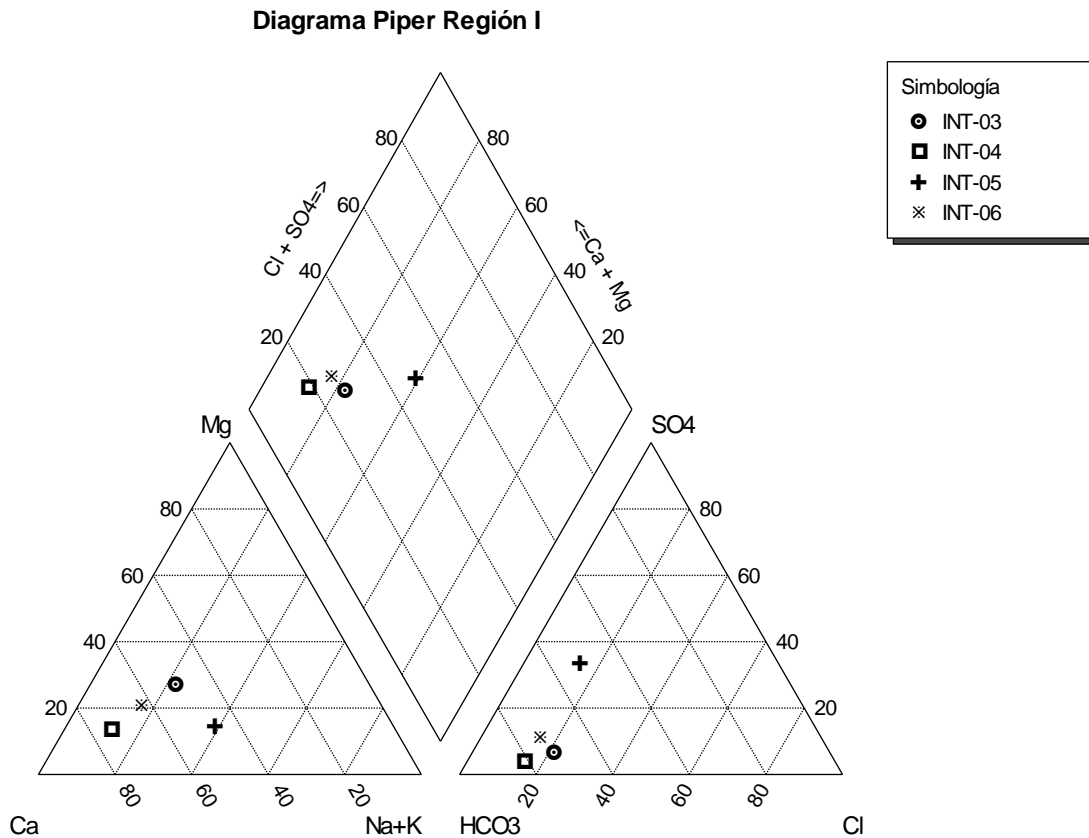


Figura 17 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de la región hidrográfica I para la época lluviosa

Al interpretar los resultados de los diagramas de Piper se llega a la clasificación del tipo de agua, para cada una de las muestras, presentada en la Tabla 4.

Tabla 4 Caracterización físico-química de los sitios muestreados

Muestra	Tipo de Agua Época Seca	Tipo de Agua Época Lluviosa
INT-01	Bicarbonatada Cálcica	No muestreado
INT-03	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
INT-04	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
INT-05	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
INT-06	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica

El tipo de agua predominante en los pozos muestreados en la zona hidrográfica I son Bicarbonatadas Cálcicas.

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera

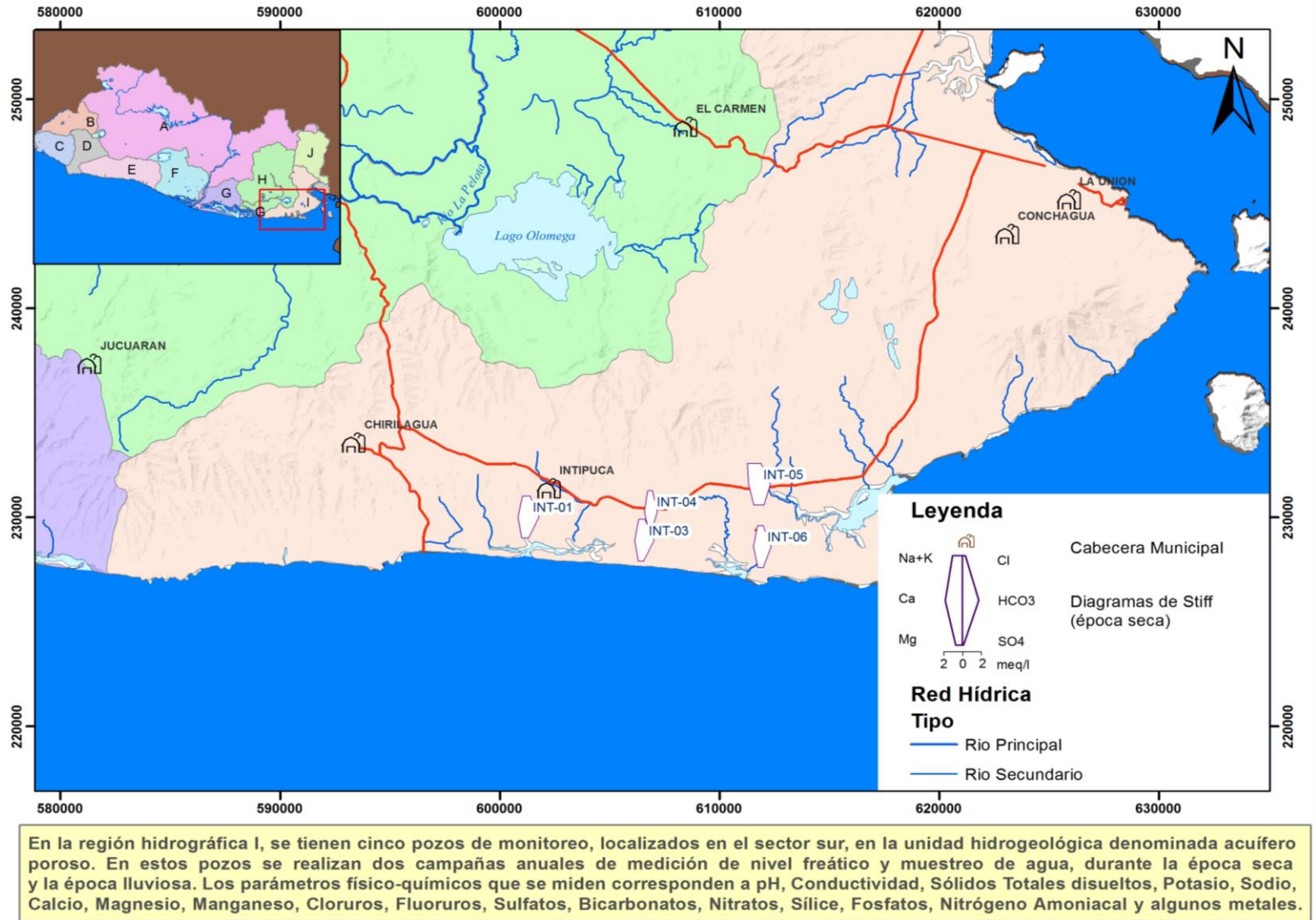
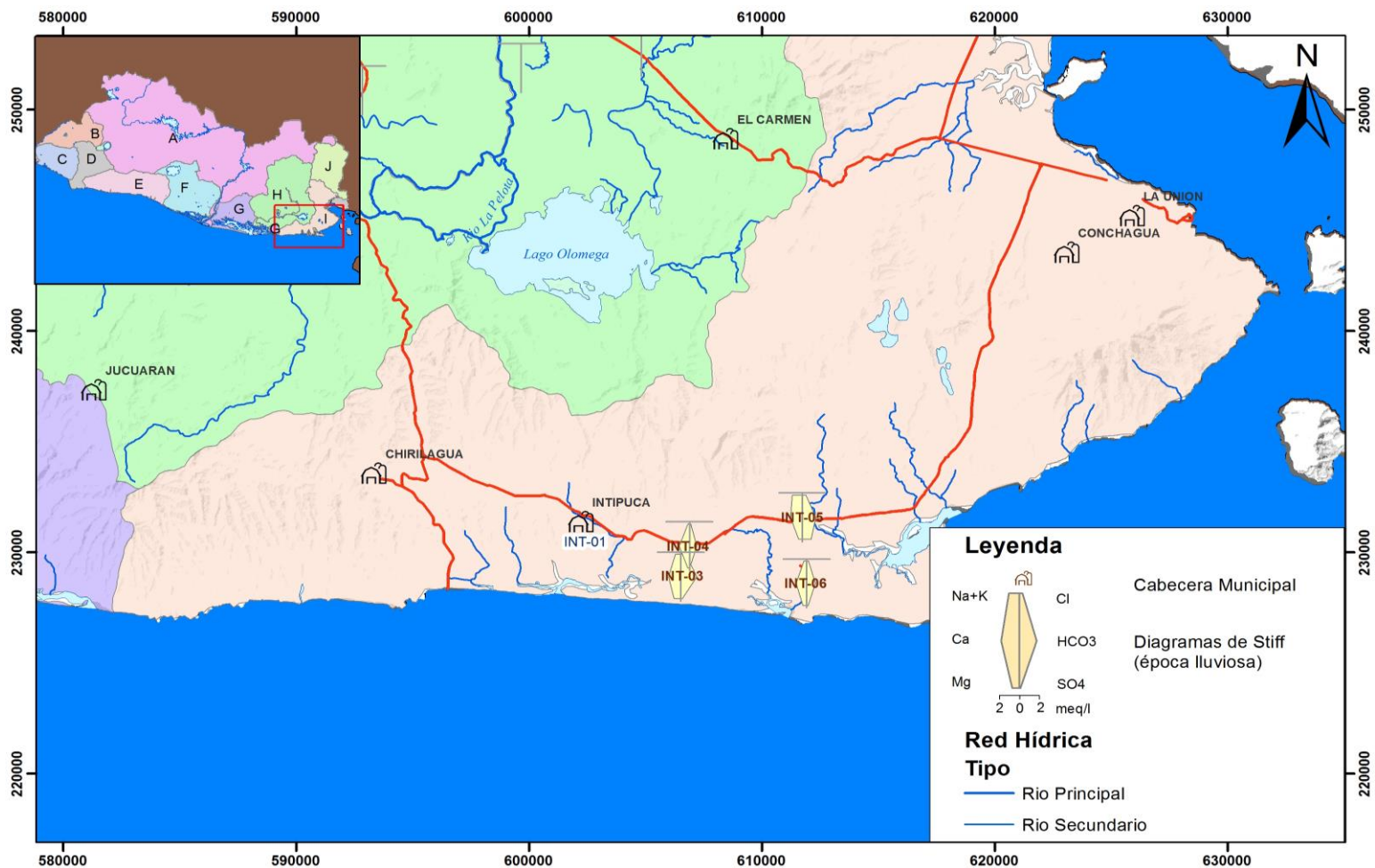


Figura 18: Representación en diagrama de Stiff, de la composición de iones mayoritarios de los sitios de monitoreo para la época seca.

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera



En la región hidrográfica I, se tienen cinco pozos de monitoreo, localizados en el sector sur, en la unidad hidrogeológica denominada acuífero poroso. En estos pozos se realizan dos campañas anuales de medición de nivel freático y muestreo de agua, durante la época seca y la época lluviosa. Los parámetros físico-químicos que se miden corresponden a pH, Conductividad, Sólidos Totales disueltos, Potasio, Sodio, Calcio, Magnesio, Manganeso, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Nitratos, Sílice, Fosfatos, Nitrógeno Amoniacal y algunos metales.

Figura 19 Representación en diagrama de Stiff, de la composición de iones mayoritarios de los sitios de monitoreo para la época lluviosa

4.3. Niveles piezométricos

En cada campaña de monitoreo se realiza la medición de los niveles piezométricos en los sitios de monitoreo. Los datos obtenidos de estas mediciones, se utilizan como representativos de las condiciones de los acuíferos monitoreados en cada una de las épocas en las que se realizan.

4.3.1. Niveles del agua subterránea en el acuífero poroso ubicado en la parte baja de las regiones hidrográficas B, C y D.

En este caso los niveles freáticos, medidos en los sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de las regiones hidrográficas B, C y D, se encuentran en el rango de 1.40 a 10.37 metros de profundidad. Estos niveles, así como sus variaciones son representativos de las características del acuífero poroso somero.

En la mayoría de los casos se observa como los niveles freáticos ascienden durante la época lluviosa, con ascensos que oscilan entre los 0.16 – 1.19 m. Esta característica de ascensos se presenta en la mayoría de los casos como consecuencia de la recarga, recibida en los acuíferos, proveniente de las precipitaciones. Aunque, para los pozos: BSE-11, CSE-11, SON-11 y SON-16, se registraron incrementos en la profundidad del agua subterránea de 0.06, 0.02, 3.43 y 0.68 metros para la época lluviosa; lo anterior fue debido a una disminución en la precipitación sumando con un incremento en el uso que le dieron los propietarios.

Tabla 5 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo

Station ID	Coordenada X	Coordenada Y	Profundidad del agua subterránea (m) época seca	Profundidad del agua subterránea (m) época lluviosa
BSE-01	394217	286944	3.02	1.40
BSE-03	398585	285510	8.13	7.56
BSE-05	392962	285101	1.56	1.40
BSE-11	388873	286894	2.01	2.07
CSE-07	383398	292903	4.07	3.16
CSE-09	382770	297475	4.78	3.65
CSE-11	384248	301683	3.85	3.87
CSE-14	386186	292338	4.46	3.36
SON-04	428928	291949	10.37	9.60
SON-09	438563	287216	8.89	7.93
SON-11	416377	285385	2.57	6.00
SON-16	413260	270808	3.44	4.12

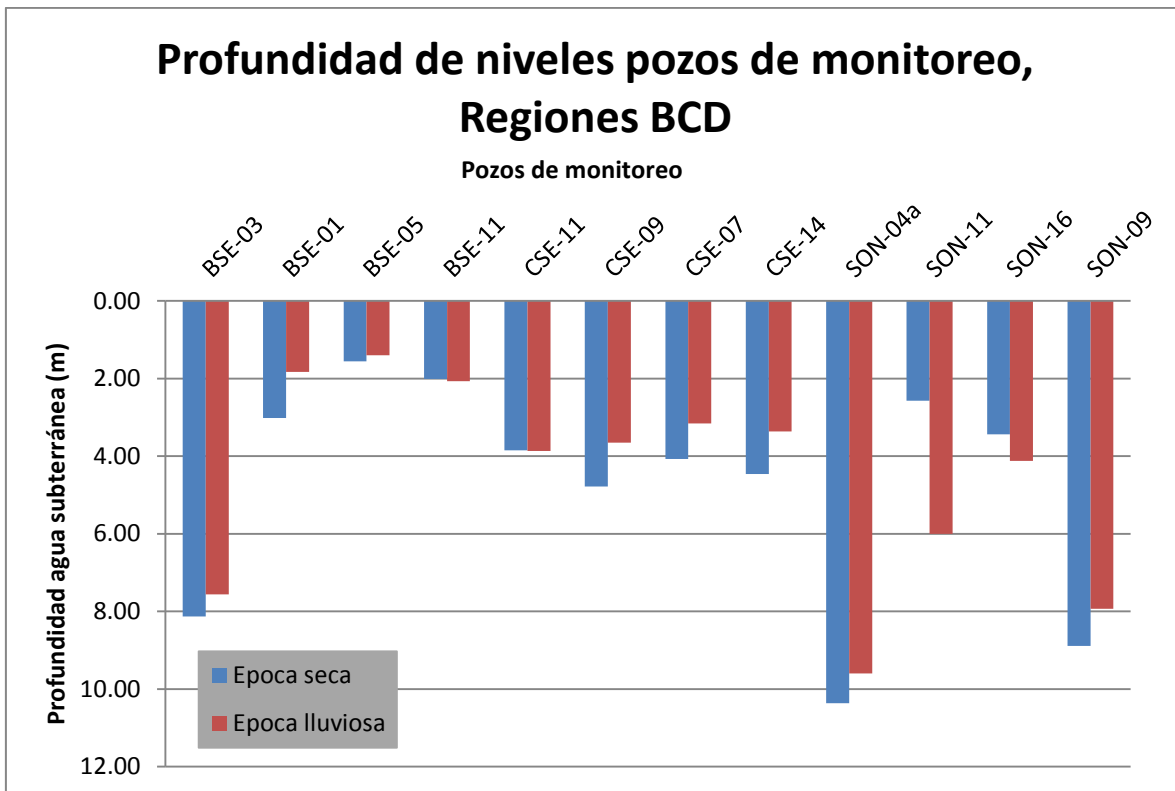


Figura 20 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas B, C y D.

4.3.2. Niveles del agua subterránea en el acuífero poroso ubicado en la parte baja de las regiones hidrográficas E, F y G

El acuífero poroso de gran extensión localizado en las zonas costeras de las regiones hidrográficas E, F y G, es aprovechado por medio de pozos perforados y pozos excavados. Los pozos de monitoreo de niveles, corresponden únicamente a pozos excavados, ya que solo en éstos es posible realizar la medición de niveles, debido a que los perforados se encuentran sellados y provisionados con equipo de bombeo por lo que no es posible introducir la sonda eléctrica para medir los niveles del agua subterránea.

Los niveles freáticos oscilan entre 1.42 y 12.96 metros de profundidad, siendo los niveles más someros los que se encuentran cercanos a la línea de costa, y los más profundos, los localizados a la altura de la carretera del Litoral, siendo esta ubicación coincidente con el límite de los depósitos sedimentarios del Cuaternario, que son los materiales que constituyen el acuífero poroso de gran extensión.

Al igual que en la región BCD en la mayoría de los casos se observa como los niveles freáticos ascienden durante la época lluviosa, con ascensos que oscilan

entre los 0.09 – 3.07 metros, producto de la recarga de las precipitaciones, aunque también se registraron incrementos en la profundidad del agua subterránea en la época lluviosa, con rangos que van desde los 0.14 metros (LLT-01) hasta los 4.12 metros (COM-07a) lo cual fue debido a una disminución en la precipitación sumando con un incremento en el uso que le dieron los propietarios.

Tabla 6 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo

Station ID	Coordenada X	Coordenada Y	Nivel piezométrico (m) época seca	Nivel piezométrico (m) época lluviosa
BH-04a	551200	231183	3.71	2.48
BH-07a	538324	233714	3.34	6.37
BH-10	524915	236358	3.10	2.91
BH-12	529953	244262	5.09	4.45
COM-07a	491798	261581	5.14	9.26
COM-08a	486852	258234	4.50	No medido
COM-10a	495203	248901	2.55	1.97
COM-11	487030	253232	2.04	1.65
COM-25a	496150	254200	3.28	2.44
COM-34a	493673	252291	5.31	3.49
HTE-03	514175	262677	7.69	8.0
HTE-04	514076	253682	2.31	1.42
HTE-06	528239	253748	4.46	3.39
HTE-10	520980	240474	2.70	2.05
HTE-11	524825	248498	3.33	2.07
HTE-13a	520857	244438	3.66	2.08
HTE-14	521231	249650	3.21	2.50
HTE-15	521749	256608	8.84	8.30
HTE-16	519280	259679	7.77	4.70
HTE-17	503459	248270	2.94	2.28
LLT-01	484842	261828	10.39	10.53
LLT-03	481777	261429	7.91	7.79
LLT-04	480555	260035	7.02	6.93
LLT-04ca	479614	257331	4.71	4.03
LLT-06	472083	261511	2.96	1.83
USU-05a	549222	239468	2.55	No medido
USU-08	558735	240587	3.40	2.45
USU-11	559404	244172	12.96	10.73

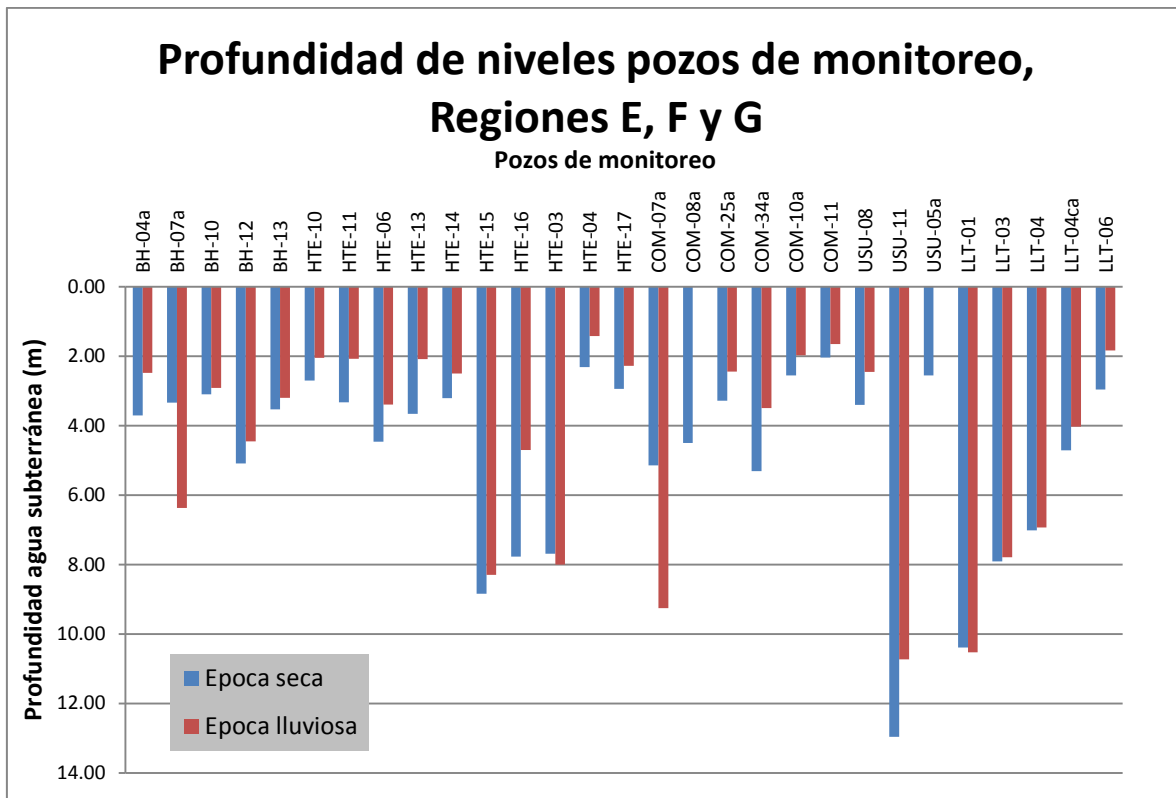


Figura 21 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E, F y G

4.3.3. Niveles piezométricos acuífero poroso ubicado en la parte baja de la región hidrográfica I

En la región hidrográfica I, se encuentra una pequeña porción de materiales sedimentarios del Cuaternario, en el sector comprendido entre la cabecera municipal de Intipucá y el cantón Loma Larga, que constituyen el acuífero poroso de la zona que se monitorea.

Las profundidades de los niveles freáticos medidos, en los pozos de monitoreo se encuentran en el rango de 1.10 a 30.30 metros.

Para todos los puntos de monitoreo se observa como los niveles freáticos ascienden durante la época lluviosa, con ascensos que oscilan entre los 0.25 – 1.07 m. Esta característica de ascensos se presenta como consecuencia de la recarga, recibida en los acuíferos, proveniente de las precipitaciones. A diferencia del resto de regiones, la región I, es la única que no registro, en los puntos de monitoreo que se tienen, incrementos en la profundidad del agua subterránea para la época lluviosa. En la Tabla 7 se muestra la ubicación de los pozos de la red de

monitoreo de la región I, así como la profundidad del nivel del agua subterránea representada en gráficos de barra (Figura 22).

Tabla 7 Sitios de muestreo y profundidades del nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo

Station ID	Coordenada X	Coordenada Y	Nivel piezométrico (m) época seca	Nivel piezométrico (m) época lluviosa
INT-01	601231	230014	7.81	No medido
INT-03	606502	228898	1.80	1.10
INT-04	606879	230276	30.30	29.23
INT-05	611718	231581	5.70	5.45
INT-06	611909	228595	13.53	12.60

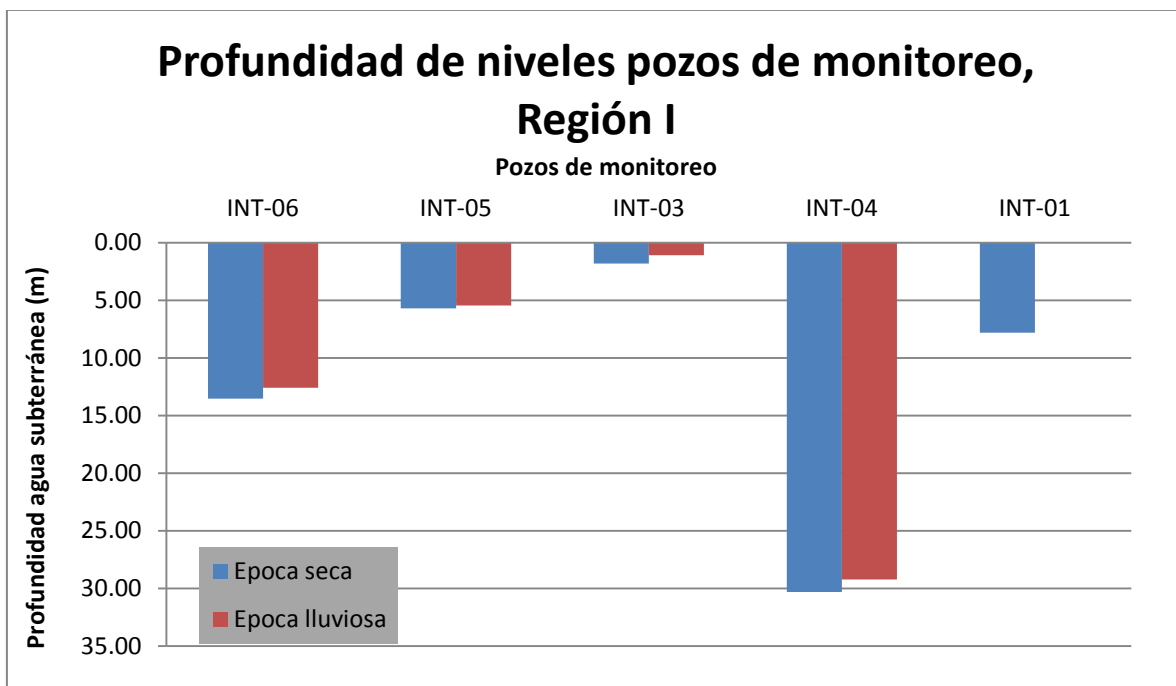


Figura 22 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las región hidrográfica I

4.4. Contenido de Metales en las aguas subterráneas del acuífero poroso de la zona costera.

Un aspecto importante del monitoreo del agua subterránea es la presencia o no de metales, es por ellos que su detección forma parte del monitoreo que se realiza.

Los metales y metaloides, analizados, por el Laboratorio de Calidad de Agua del MARN, en las muestras de agua subterránea tomadas en las campañas de muestreo, una en época seca (Mayo) y la otra en época lluviosa (Noviembre) durante el año 2016, fueron: Arsénico (sólo en época seca), Hierro total y Manganeseo.

Con el efecto de contar con un valor de referencia u orientativo, dichos resultados del laboratorio se han comparado, en los casos de los parámetros que aplican, con los valores permisibles para dichos parámetros de la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01.08, del Ministerio de Salud; la cual establece los requerimientos mínimos que deben cumplir las aguas que se utilicen para consumo humano, ya que en El Salvador se carece de Normas de calidad para Aguas Subterráneas que puedan ser aplicadas para su evaluación. Al respecto es importante aclarar que los pozos que conforman la Red de Monitoreo No son utilizados para consumo humano, si no para tareas domesticas, según lo manifiestan los propietarios de los mismos. A continuación se detallan, para cada una de las regiones, los resultados de dichos análisis para cada uno de los elementos analizados.

4.4.1. Arsénico:

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la ubicación y distribución espacial de los lugres que fueron muestreado y en los cuales se analizó el contenido del Arsénico en el agua subterránea

La NSO 13.07.01:08 establece el límite permisible de 0.01mg/l, para el contenido de Arsénico en agua para consumo humano

El sitio con mayor concentración de Arsénico (0.223 mg/l) se localiza en el cantón San José de la Montaña, del municipio de Zacatecoluca y está identificado como el HTE-13a. Sin embargo este pozo no es utilizado para consumo humano, ya que debido a otras características físico-químicas, su aptitud de uso es limitada.

De la Figura 24 a la Figura 28 se muestran las concentraciones del Arsénico para cada una de las regiones hidrográficas.

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera

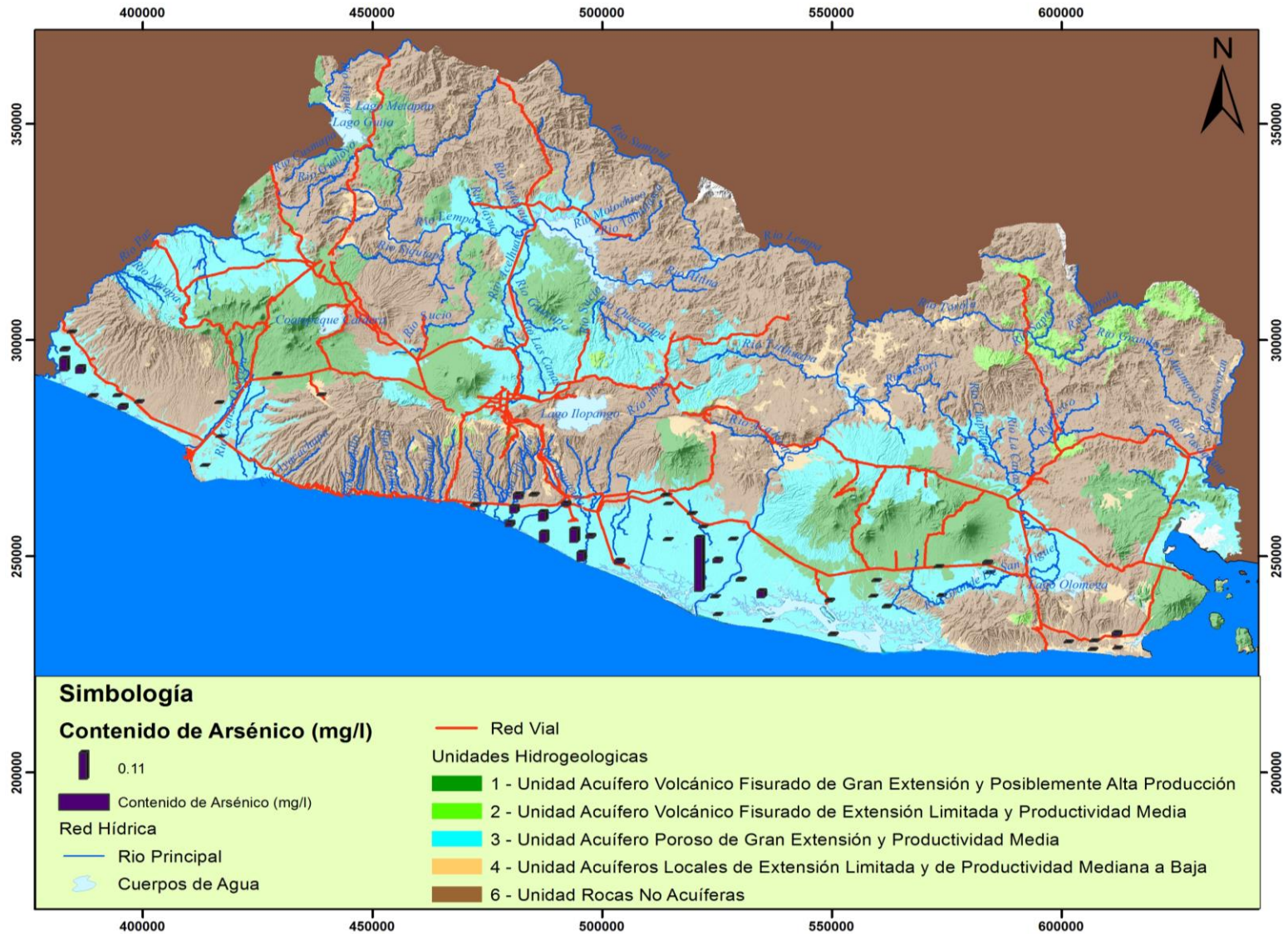


Figura 23 Sitios en los que se identificó la presencia de Arsénico en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2016

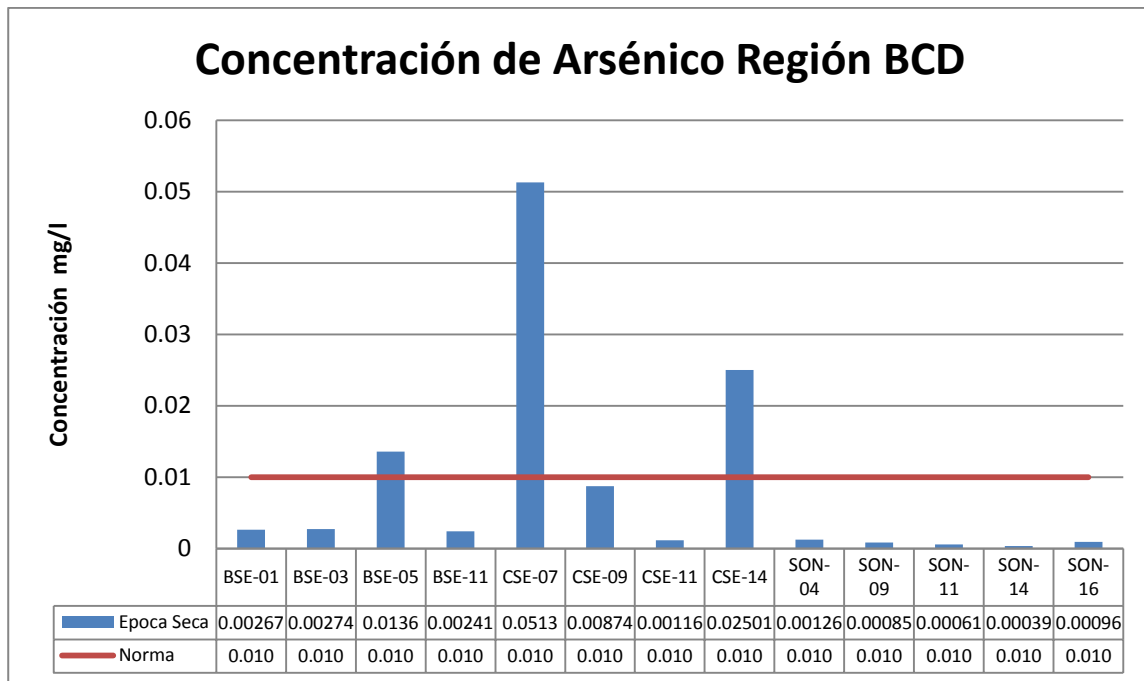


Figura 24 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en las regiones BCD para la época seca (mayo) del 2016.

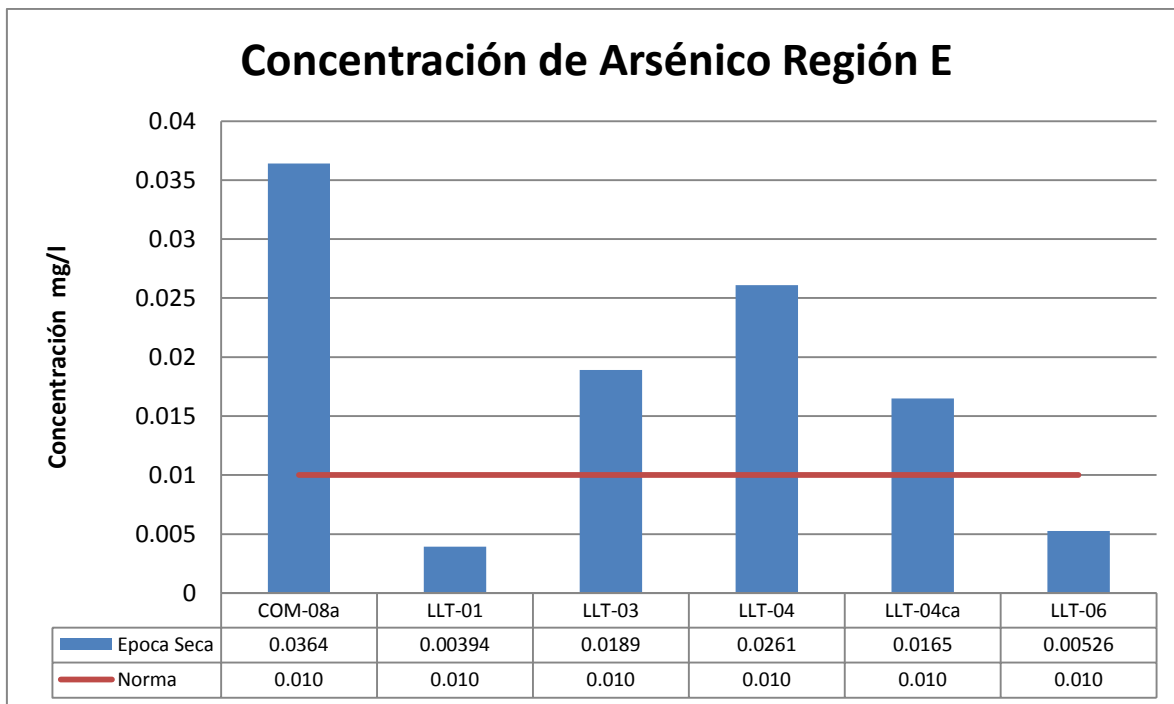


Figura 25 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región E para la época seca (mayo) del 2016.

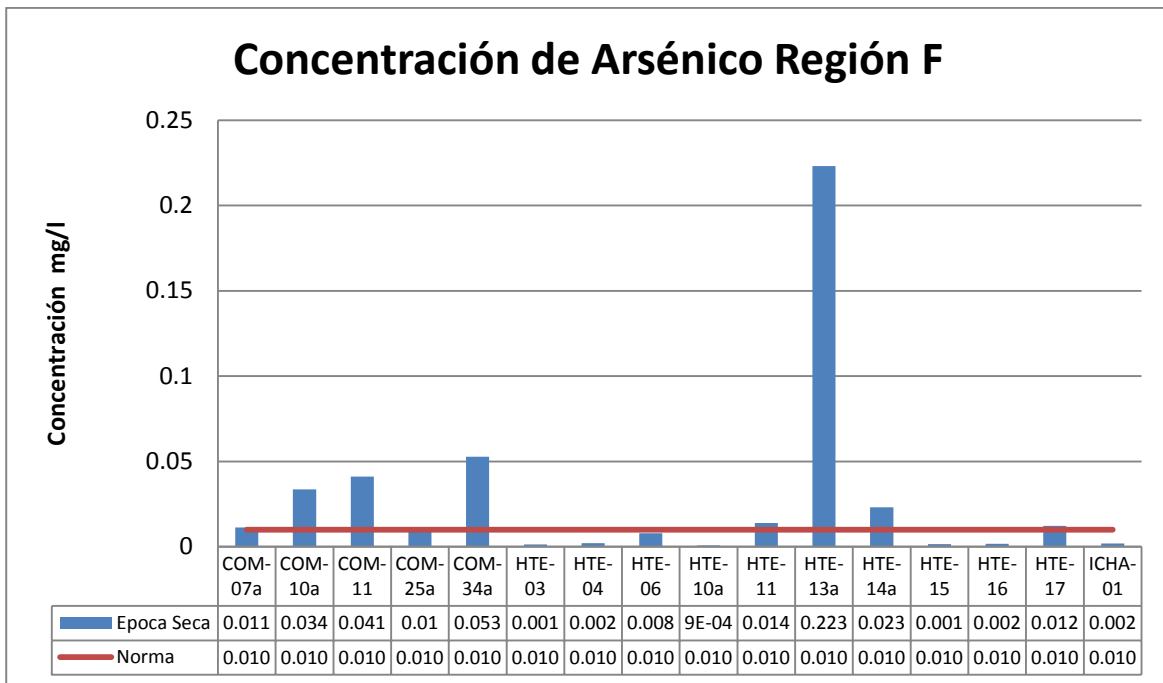


Figura 26 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región F para la época seca (mayo) del 2016.

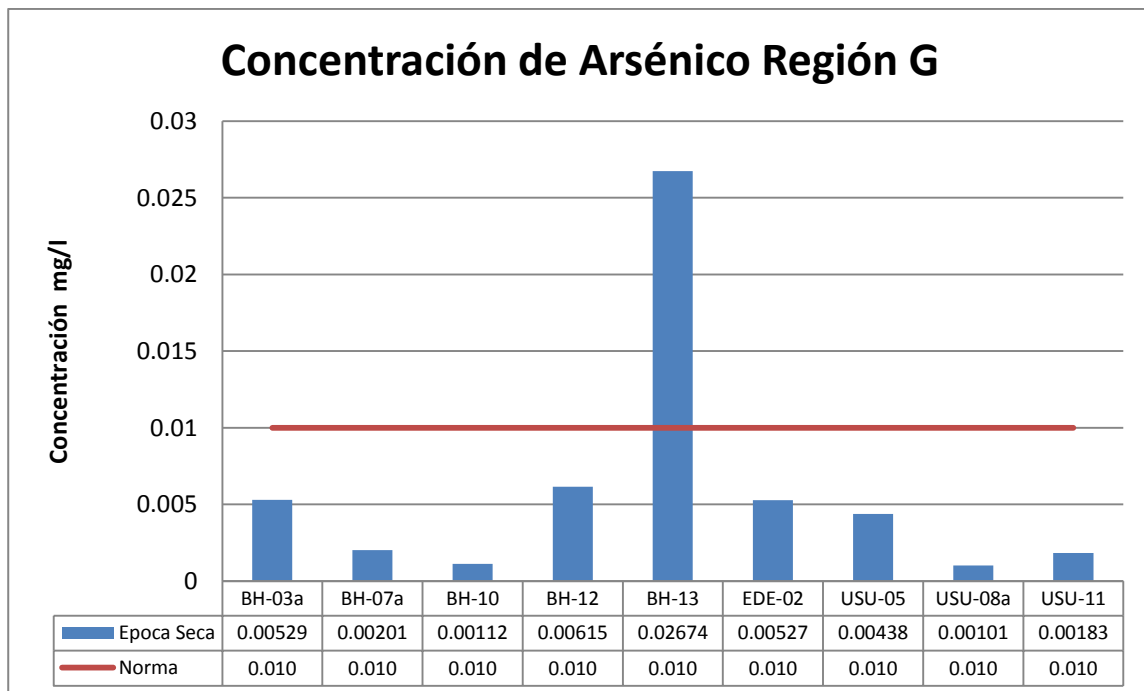


Figura 27 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región G para la época seca (mayo) del 2016.

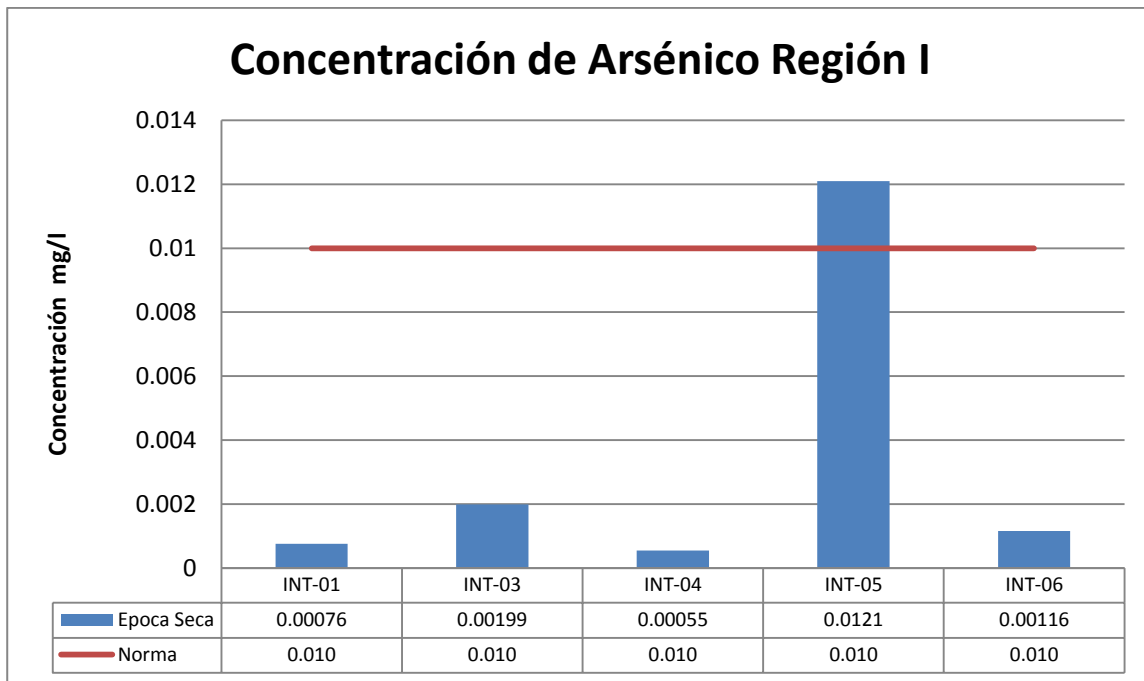


Figura 28 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región I para la época seca (mayo) del 2016.

4.4.2. Hierro Total

En la Figura 29 se muestra la ubicación y distribución espacial de los lugares que fueron muestreados y en los cuales se analizó el contenido de Hierro en el agua subterránea.

La NSO 13.07.01:08 establece el límite permisible de 0.30mg/l, para el contenido de Hierro en agua para consumo humano

El sitio con mayor concentración de hierro (2.796 mg/l) se localiza en el cantón Barra de Santiago, del municipio de Jujutla y está identificado como el HTE-10a. Sin embargo este pozo no es utilizado para consumo humano, si no que para actividades domésticas.

De la Figura 30 a la Figura 34 se muestran las concentraciones de Hierro para cada una de las regiones hidrográficas. En todas estas imágenes se observa que en la mayoría de los casos, en la época seca se presentan las mayores concentraciones y para la lluviosa estas disminuyen, esto puede asociarse a procesos de dilución producidos por aporte del agua proveniente de las precipitaciones.

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera

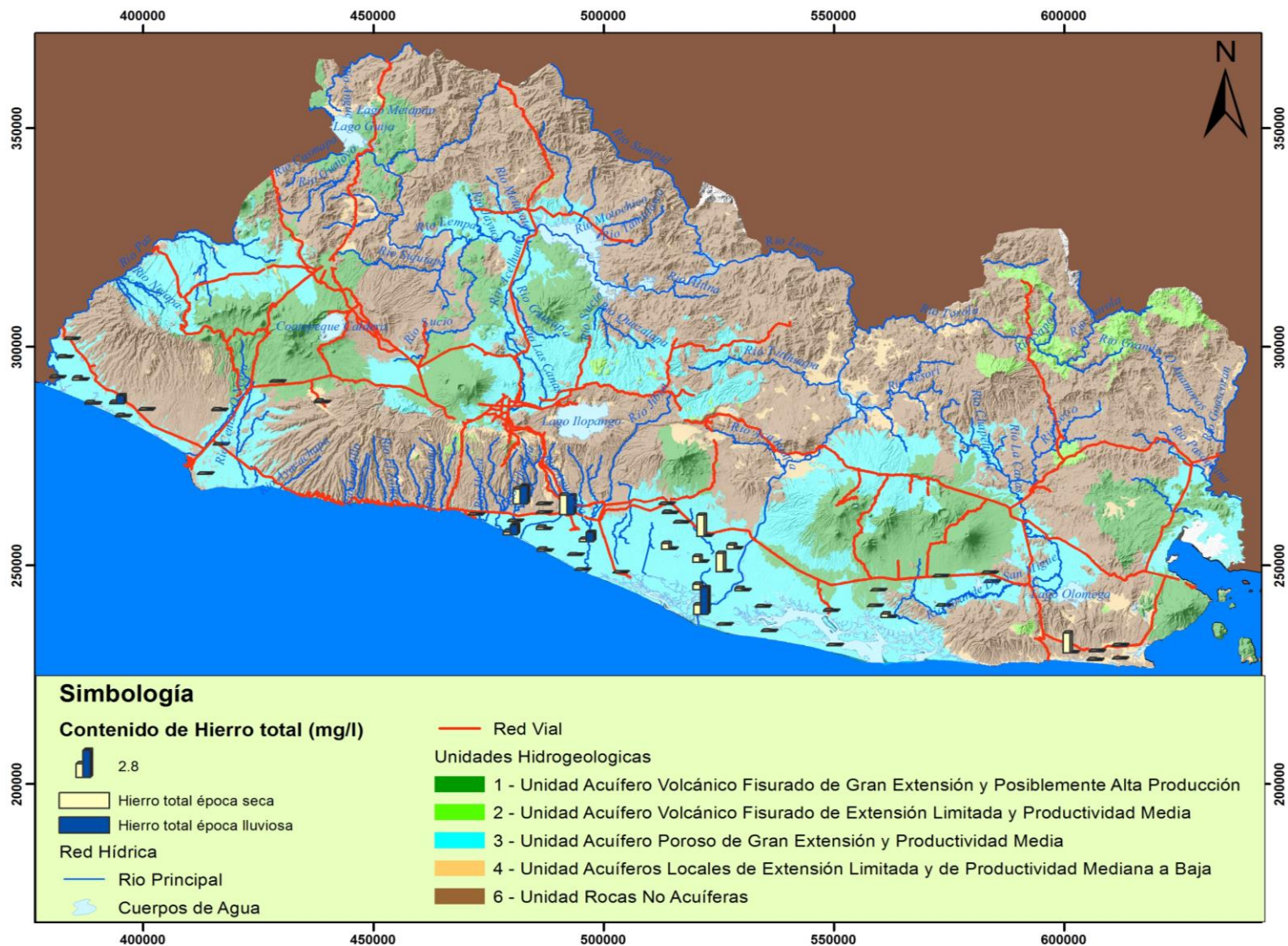


Figura 29 Sitios en los que se identificó la presencia de Hierro total en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2016

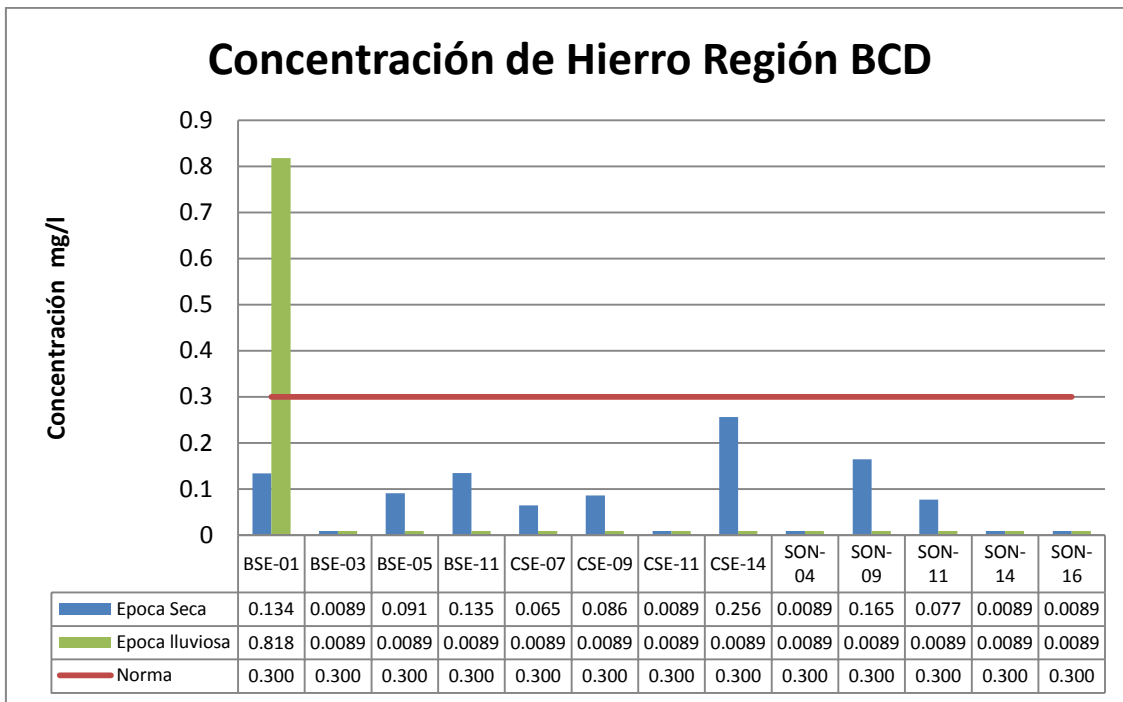


Figura 30 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en las regiones BCD para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

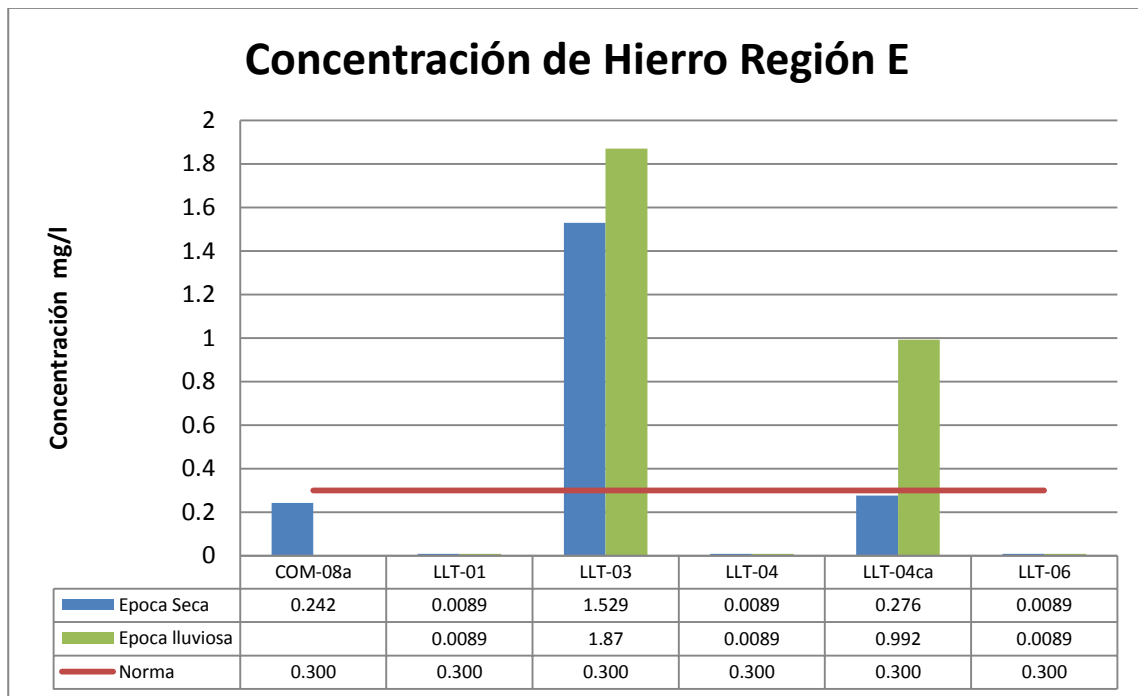


Figura 31 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región E para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

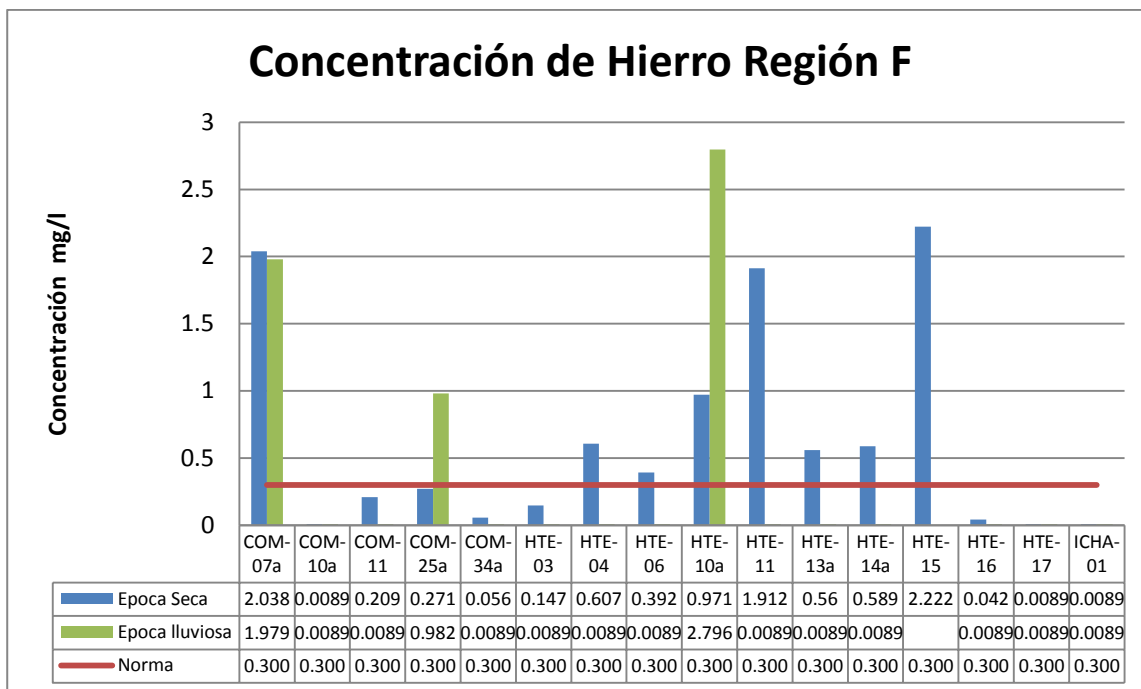


Figura 32 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región F para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

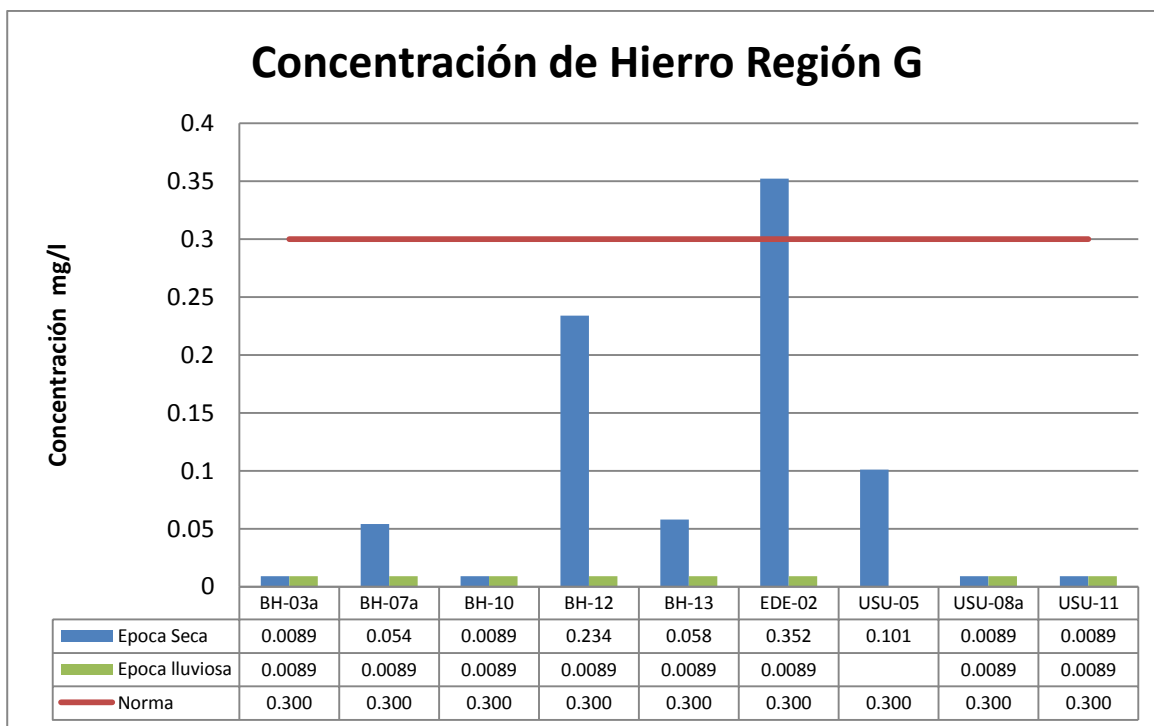


Figura 33 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región G para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

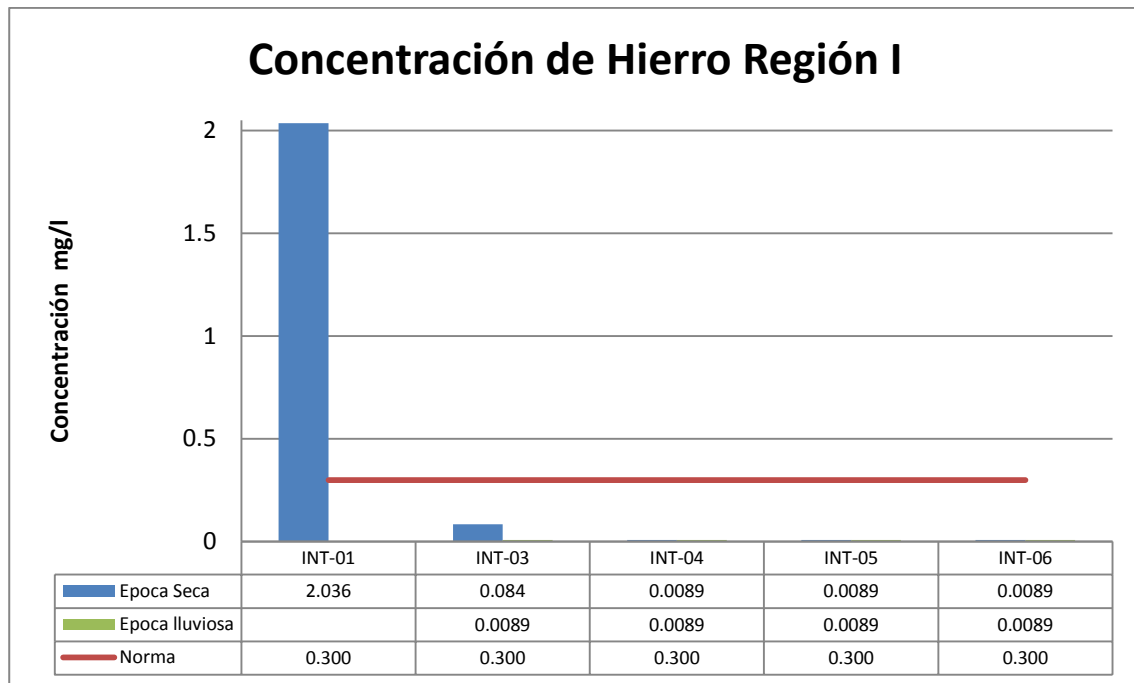


Figura 34 Concentración de Hierro total para los sitios muestreados en la región para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

4.4.3. Manganeso:

En la Figura 35 se muestra la ubicación y distribución espacial de los lugares que fueron muestreado y en los cuales se analizó el contenido de Manganeso en el agua subterránea. La NSO 13.07.01:08 establece el límite permisible de 0.10mg/l, para el contenido de Manganeso en agua para consumo humano.

El sitio con mayor concentración de Manganeso (2.5 mg/l) se localiza en el cantón San Alfredo, del municipio de La Libertad y está identificado como el LLT-03. Sin embargo este pozo no es utilizado para consumo humano, si no que para actividades domésticas.

De la Figura 36 a la Figura 40 se muestran las concentraciones de Manganeso para cada una de las regiones hidrográficas. En la mayoría de los casos, en estas imágenes se observa que para la época seca se presentan las mayores concentraciones comparadas con la época lluviosa, esto puede asociarse, al igual que el Hierro, a procesos de dilución producidos por aporte del agua proveniente de las precipitaciones.

Caracterización físico Química de las Aguas Subterráneas en los acuíferos porosos en la zona costera

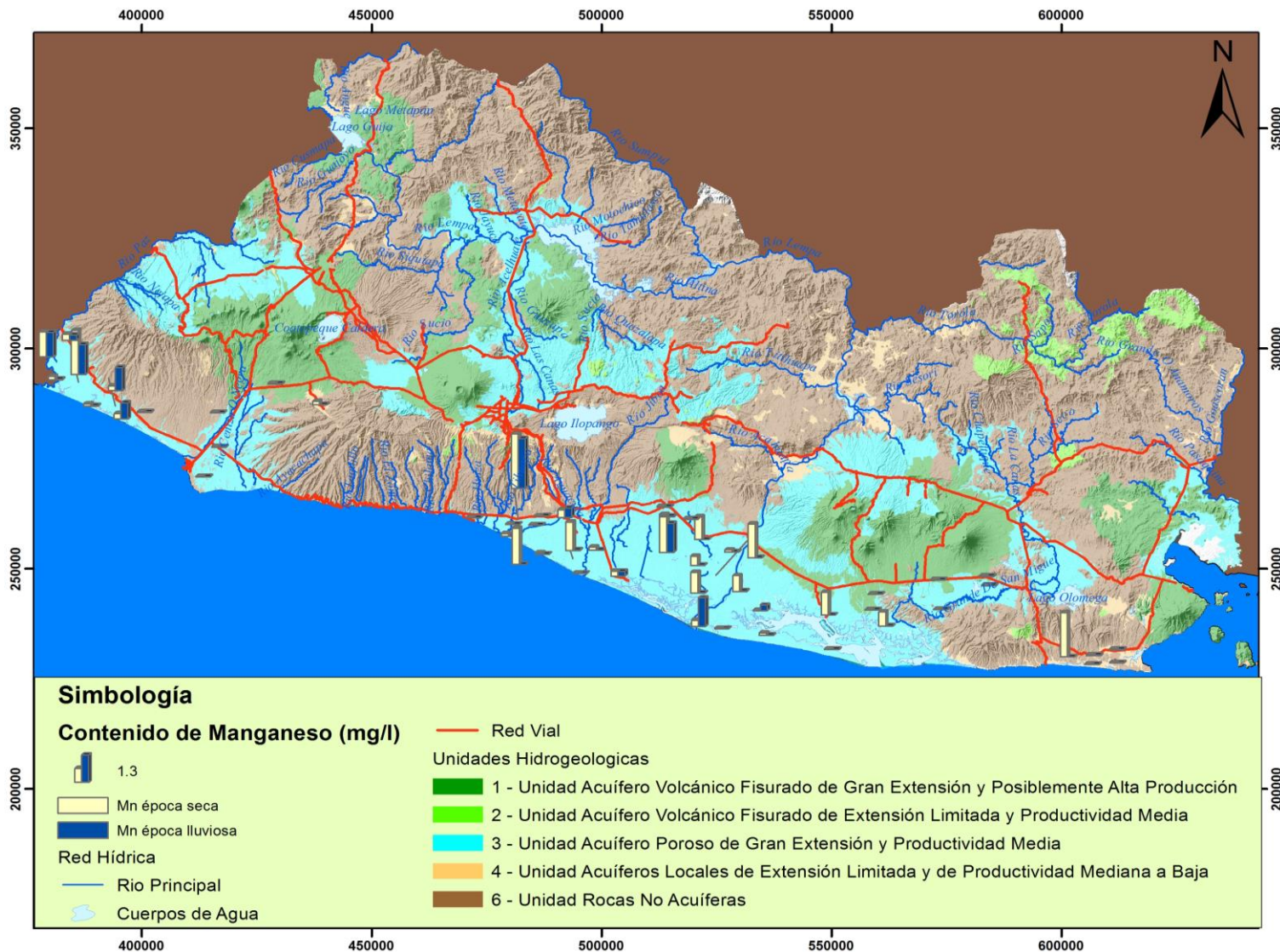


Figura 35 Sitios en los que se identificó la presencia de Manganeso en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2016

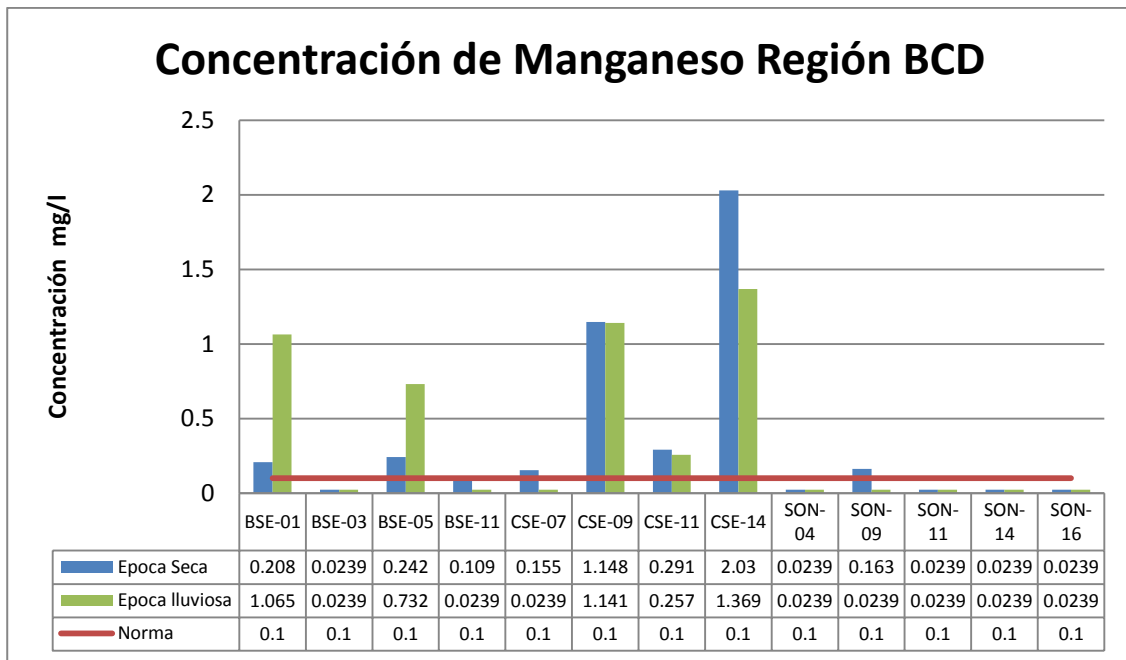


Figura 36 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región BCD para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

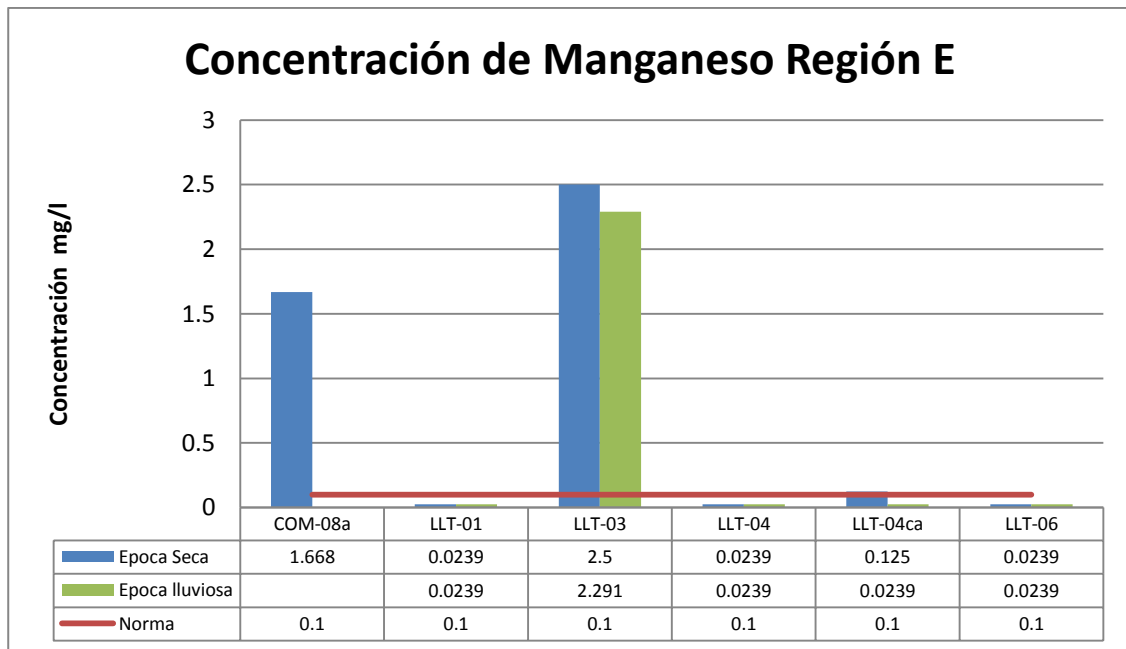


Figura 37 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región E para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

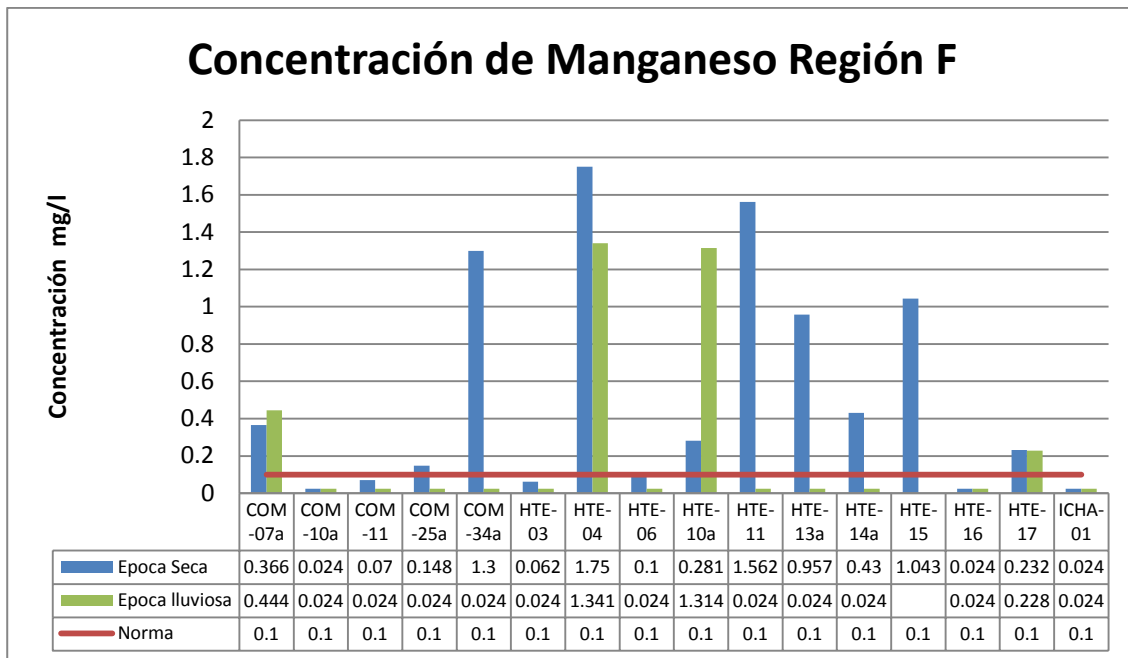


Figura 38 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región F para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

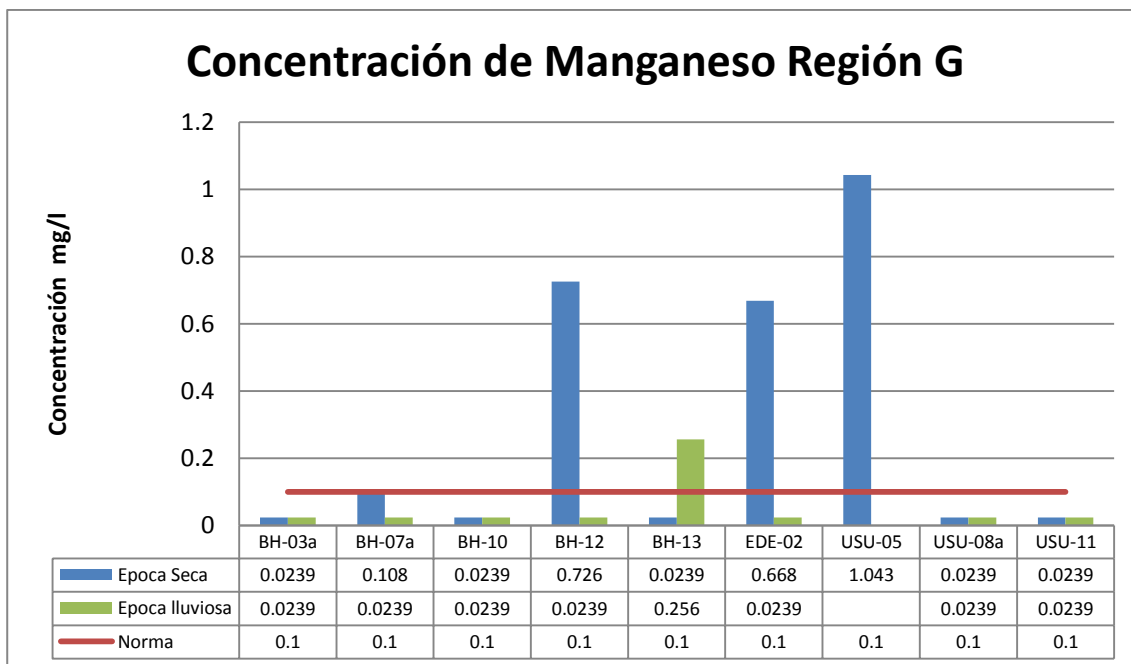


Figura 39 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región G para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

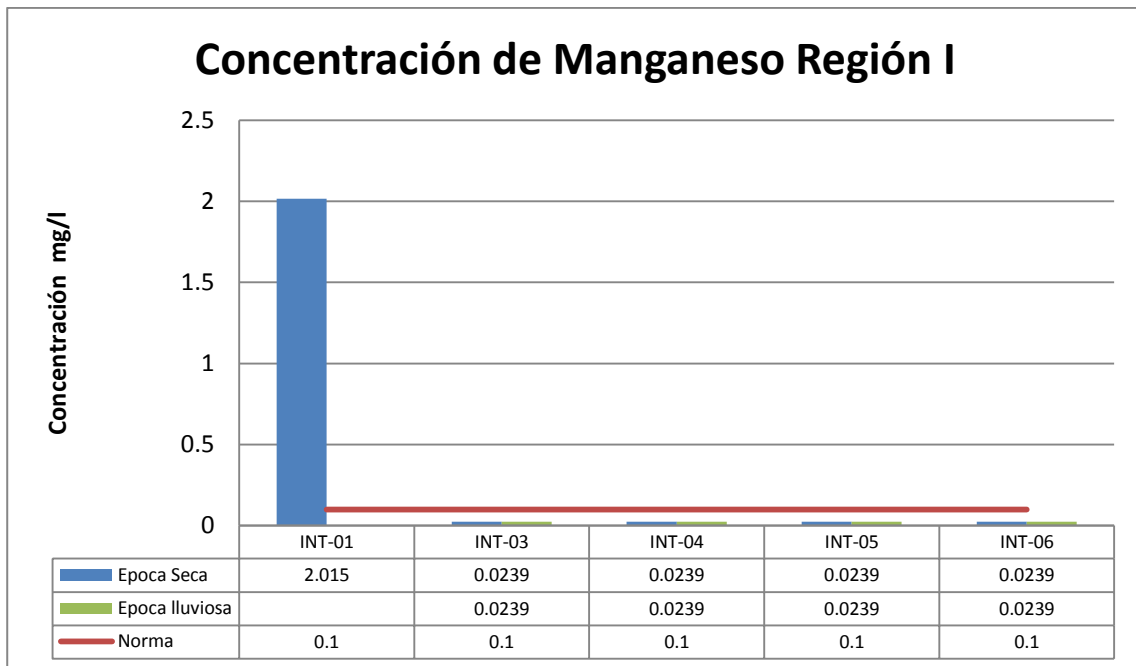


Figura 40 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región I para época seca (Mayo) y lluviosa (noviembre) del 2016.

5. Conclusiones

El tipo de agua predominante en los acuíferos someros, de la región hidrográfica BCD es bicarbonatada Cálcica, tanto para la época seca como para la lluviosa; sin embargo el sitio identificado como BSE-05 es de tipo Clorurada Magnésica, en época seca y de tipo clorurada sódica en época lluviosa, la posible causa de esta característica es que este pozo se ubica en el sector de la barra de Santiago y recibe la influencia directa del agua de mar, la cual se asocia al cloruro.

El agua subterránea muestreada en las regiones hidrográficas E, F, G e I, se clasifica como Bicarbonatada –Cálcica, para la época seca y la lluviosa, lo cual está asociado a aguas de recarga rápida, es decir que no han permanecido un largo período de tiempo interacción con la roca.

En la mayoría de los casos, los acuíferos someros, reciben la recarga proveniente de las precipitaciones en un tiempo breve, por lo que los ascensos de los niveles freáticos se evidencian en corto plazo. Lo cual pone de manifiesto la susceptibilidad de estos acuíferos a sufrir cambios drásticos como consecuencia de las variaciones y anomalías que presenten las precipitaciones.

Los niveles del agua subterránea, medidos en los sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de las regiones hidrográficas B, C y D, se encuentran en el rango de 1.40 a 10.37 metros de profundidad. En la mayoría de los casos se observa como los niveles freáticos ascienden durante la época lluviosa, con ascensos que oscilan entre los 0.16 – 1.19 m. Esta característica de ascensos se presenta en la mayoría de los casos como consecuencia de la recarga, recibida en los acuíferos, proveniente de las precipitaciones.

Los niveles del agua subterránea, medidos en los sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de las regiones hidrográficas E, F y G, se encuentran en el rango de 1.42 y 12.96 metros de profundidad. Al igual que en la región BCD en la mayoría de los casos se observa como los niveles freáticos ascienden durante la época lluviosa, con ascensos que oscilan entre los 0.09 – 3.07 metros, producto de la recarga de las precipitaciones, aunque también se registraron incrementos en la profundidad del agua subterránea en la época lluviosa, con rangos que van desde los 0.14 metros (LLT-01) hasta los 4.12 metros (COM-07a) lo cual fue debido a una disminución en la precipitación sumando con un incremento en el consumo de agua por parte de los propietarios.

Las profundidades de los niveles del agua subterránea medidas en la región hidrográfica I, se encuentran en el rango de 1.10 a 30.30 metros. Para todos los puntos de monitoreo se observa como los niveles freáticos ascienden durante la época lluviosa, con ascensos que oscilan entre los 0.25 – 1.07 m. Esta característica de ascensos se presenta como consecuencia de la recarga, recibida en los acuíferos, proveniente de las precipitaciones.

La conservación y mejoramiento de las áreas de recarga es fundamental para asegurar que se dé una infiltración efectiva en el sistema, optimizando la disponibilidad de los recursos hídricos en cada una de las regiones.

El Arsénico, Hierro total y Manganeseo, se encuentran presentes en los acuíferos porosos de la zona costera y en muchos de los casos en valores que exceden el límite máximo establecido por la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Las mayores concentraciones de Arsénico se encuentran en el sector del acuífero poroso comprendido en las llanuras costeras al este y oeste del Río Jiboa, el delta del Río Lempa y llanura costera de Usulután.

La presencia de Manganeseo en el agua subterránea se ha identificado en concentraciones mayores en los sectores de la llanura costera del Río Paz y Sonsonate, además de la llanura costera al Este y Oeste del Río Jiboa, y el delta del Río Lempa.

6. Recomendaciones

Dar continuidad al monitoreo del acuífero, tanto en medición de niveles freáticos como en el muestreo para la caracterización físico-química de los sitios, para contar con mayor información para el seguimiento al comportamiento y evolución de los acuíferos.

En el caso de los sitios más cercanos a la costa, que su composición química se ve influenciada por el agua de mar, es importante dar seguimiento a este comportamiento, para poder identificar si existen cambios significativos en la composición química del agua subterránea a lo largo del tiempo.

Bibliografía

ANDA. (2008). Mapa Hidrogeológico de El Salvador.

Custodio, E., & Llamas, R. (2001). *Hidrología Subterránea (Tomo I)*. Barcelona: Omega.

MINSAL. (2008). Norma Salvadoreña para agua potable. San Salvador, El Salvador: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).