



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

Enero de 2018

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	8
Introducción	9
1. Objetivos	10
1.1. Objetivo general	10
1.2. Objetivos específicos.....	10
2. Ubicación y delimitación de la zona de estudio	10
3. Metodología	12
3.1. Medición de niveles piezométricos de los pozos de monitoreo	12
3.2. Toma de muestras de agua subterránea	12
4. Análisis de resultados.	12
4.1. Confiabilidad de los resultados obtenidos de concentraciones de iones mayoritarios.	13
4.2. Caracterización físico-química.....	14
4.2.1. <i>Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas B, C y D.....</i>	14
4.2.2. <i>Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas EFG.</i>	18
4.2.3. <i>Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de región hidrográfica I.</i>	22
4.3. Niveles piezométricos.....	25
4.3.1. <i>Niveles del agua subterránea en el acuífero poroso ubicado en la parte baja de las regiones hidrográficas B, C y D.</i>	25
4.3.2. <i>Niveles del agua subterránea en el acuífero poroso ubicado en la parte baja de las regiones hidrográficas E, F y G.....</i>	26
4.3.3. <i>Niveles piezométricos acuífero poroso ubicado en la parte baja de la región hidrográfica I.....</i>	28
4.4 Contenido de Metales en las aguas subterráneas del acuífero poroso de la zona costera.....	29
4.4.1. <i>Arsénico</i>	30
4.4.2 <i>Hierro Total</i>	34
4.3.3. <i>Manganeso</i>	38
5. Conclusiones	43

Índice de figuras

Resumen Ejecutivo	8
Introducción	9
1. Objetivos	10
2. Ubicación y delimitación de la zona de estudio	10
Figura 1: Unidades hidrogeológicas y ubicación de sitios de monitoreo de la zona costera	
11	
3. Metodología	12
3.1. Medición de niveles piezométricos de los pozos de monitoreo	12
3.2. Toma de muestras de agua subterránea	12
4. Análisis de resultados.	12
4.1. Confiabilidad de los resultados obtenidos de concentraciones de iones mayoritarios. .	13
Tabla 1: Error admisible de balance iónico.	13
Figura 2 Gráfico representativo de la Conductividad eléctrica vsr. Electroneutralidad de los sitios de monitoreo.	14
4.2. Caracterización físico-química.	14
4.2.1. <i>Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas B, C y D.</i>	14
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 lluviosa.	15
La clasificación del tipo de agua para cada una de las muestras es presentada en la tabla 2. 15	
Tabla 2: Caracterización físico-química de los sitios muestreados.....	15
Figura 4: Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona BCD para la época lluviosa.....	17
4.2.2. <i>Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de regiones hidrográficas EFG.</i>	18
Figura 5: 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.	18
Figura 6 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	19
Tabla 3 Caracterización físico-química de los sitios muestreados.....	20

Figura 7: Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona EFG para la época lluviosa.....	21
4.2.3. <i>Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del acuífero poroso costero de región hidrográfica I.</i>	22
Figura 8 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	22
Tabla 4 Caracterización físico-química de los sitios muestreados.....	23
Figura 9 Representación en diagrama de Stiff, de la composición de iones mayoritarios de los sitios de monitoreo para la región I época lluviosa	24
Tabla 5 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea 2017	25
Figura 10 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas B, C y D.	26
Tabla 6 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo.....	27
Figura 11 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E, F y G.....	28
4.3.3. <i>Niveles piezométricos acuífero poroso ubicado en la parte baja de la región hidrográfica I</i>	28
Tabla 7 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea 2017	28
Figura 12 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las región hidrográfica I	29
4.4 Contenido de Metales en las aguas subterráneas del acuífero poroso de la zona costera ...	29
4.4.1. <i>Arsénico</i>	30
Figura13 Sitios en los que se identificó la presencia de Arsénico en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2017	31
Figura 14 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en las regiones BCD para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	32
Figura 15 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región E para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	32
Figura 16 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región F para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	33
Figura 17 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	33
Figura 18 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región I para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	34

4.4.2 Hierro Total.....	34
Figura 19 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 2017	35
36	
Figura 20 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región BCD para la época lluviosa (septiembre) del 2017	36
Figura 21 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región E para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	36
Figura 22 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región F para la época lluviosa (septiembre) del 2017	37
Figura 23 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	37
Figura 24 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017.....	38
4.3.3. Manganeseo.....	38
Figura. 25 Sitios en los que se identificó la presencia de Manganeseo en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2017.....	39
Figura 26 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región BCD para la época lluviosa (septiembre) del 2017	40
Figura 27 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región E para la época lluviosa (septiembre) del 2017	40
Figura 28 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región F para la época lluviosa (septiembre) del 2017	41
Figura 29 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017	41
Figura 30 Concentración de Manganeseo para los sitios muestreados en la región I para la época lluviosa (septiembre) del 2017	42
5. Conclusiones	43
6. Recomendaciones	45

Índice de Tablas

Tabla 1: Error admisible de balance iónico.	13
Tabla 2: Caracterización físico-química de los sitios muestreados	15
Tabla 4 Caracterización físico-química de los sitios muestreados	23
Tabla 5 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea 2017	25
Tabla 6 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea medidos en ambas campañas de monitoreo	27
Tabla 7 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea 2017.....	29

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 cuarenta y siete puntos distribuidos en la unidad hidrogeológica denominada “acuífero poroso 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 de niveles de agua en la época seca y lluviosa y recolección de muestras de agua subterránea en la época lluviosa de cada uno de los sitios de monitoreo. 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 2017.

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

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

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

1.2. Objetivos específicos

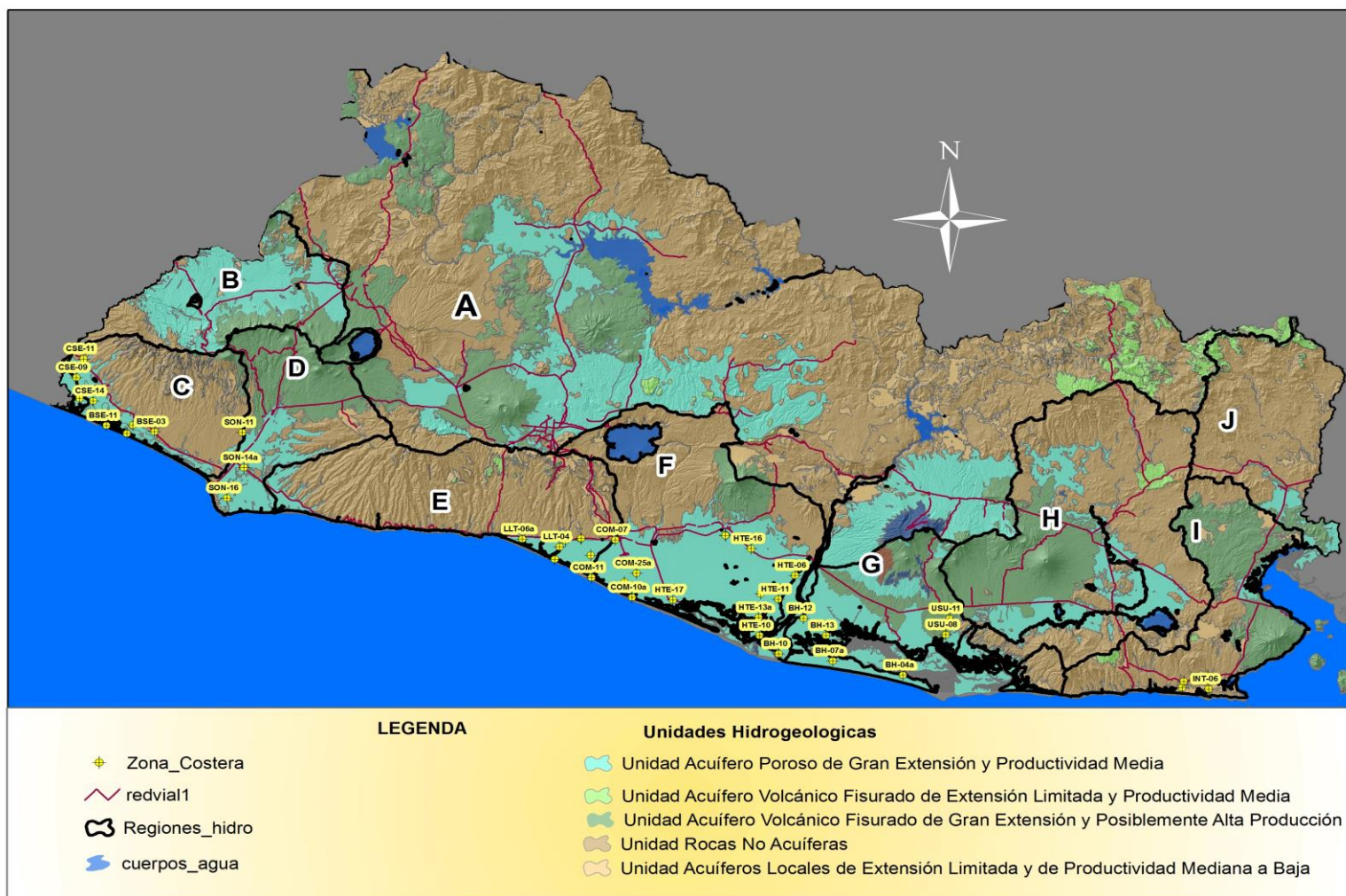
- Realizar la caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de los acuíferos porosos y someros de la zona costera.
- Evaluar la variabilidad estacional de los niveles piezométricos de los acuíferos porosos y someros de la zona costera.

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 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

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



Fuente mapa base: (ANDA, 2008)

Figura I: 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 47 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 lluviosa los resultados obtenidos al menos existe 2.13% que no cumplen con el error permisible del 20% y un 97.87% de los resultados de las muestras que si cumplen, 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.

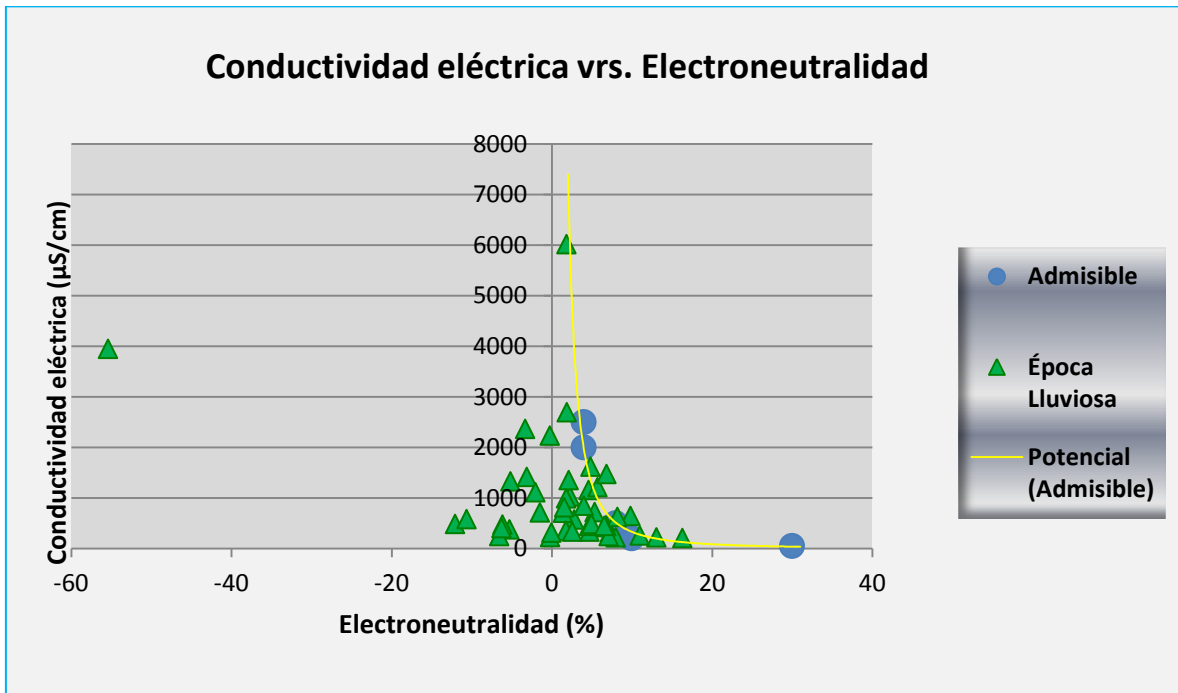


Figura 2 Gráfico representativo de la Conductividad eléctrica vs. Electroneutralidad de los sitios de monitoreo.

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:

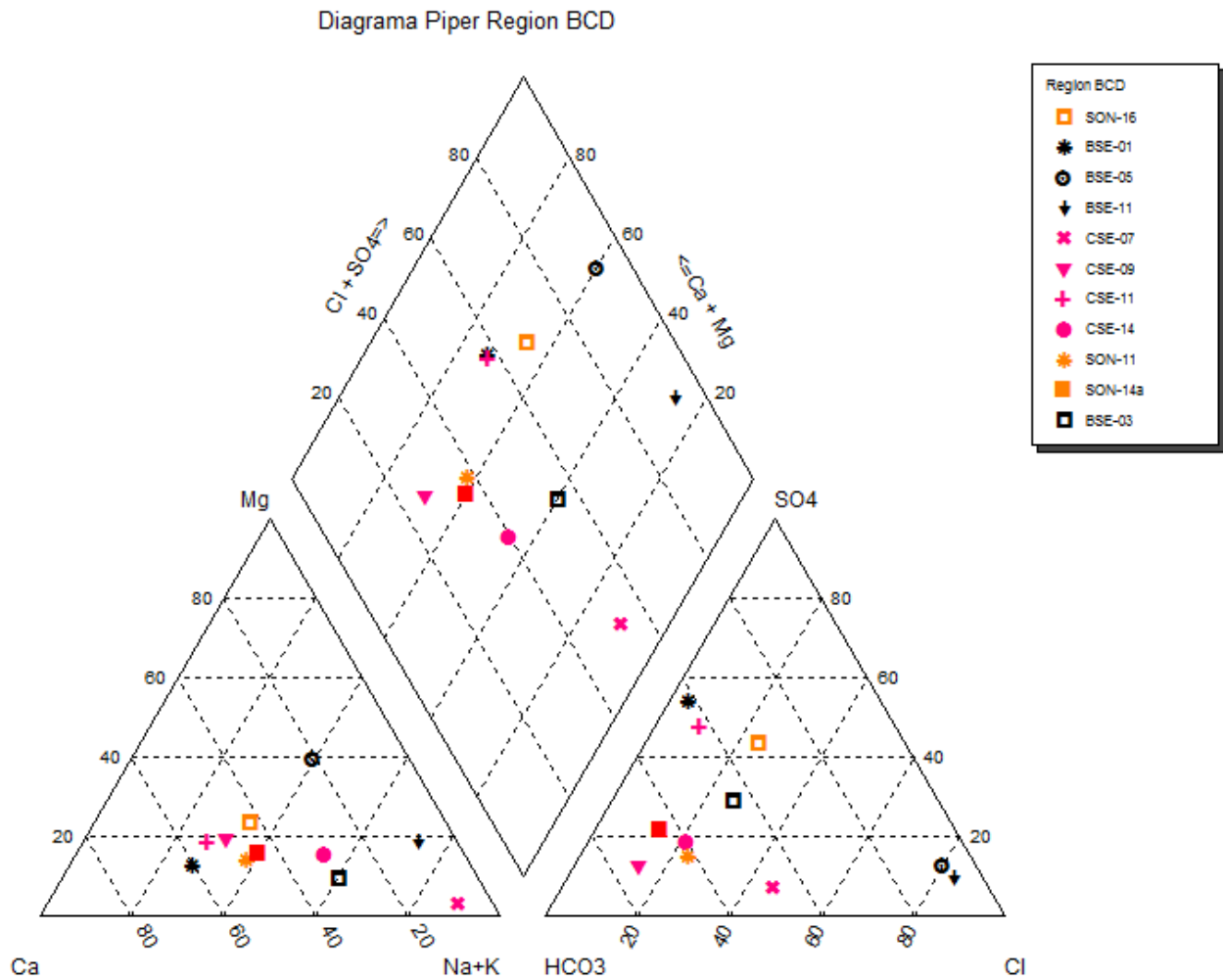


Figura 3 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo de las regiones hidrográficas B, C y D correspondiente a la época lluviosa.

La clasificación del tipo de agua para cada una de las muestras es 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	Ca-Na- SO4-HCO3	Sulfatada Cálcica
BSE-03	Na-Ca-HCO3-SO4-Cl	Bicarbonatada Sódica
BSE-05	Mg-Na-Ca-Cl	Cloruradas Magnésicas
BSE-11	Na-Cl	Cloruradas Sódicas
CSE-07	Na-HCO3-Cl	Bicarbonatadas sódicas
CSE-09	Ca-Na-Mg-HCO3	Bicarbonatadas Cálcicas
CSE-11	Ca-Na-SO4-HCO3	Sulfatada-Cálcica
CSE-14	Na-Ca-HCO3	Bicarbonatada Sódica

Muestra	Tipo de Agua	Tipo de Agua
	Época Seca	Época Lluviosa
SON-11	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Bicarbonatada Cálcida
SON-14a	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	Bicarbonatada Cálcida
SON-16	Ca-Na-Mg-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	Sulfatada Cálcida

La mayoría de los sitios muestreados en esta región tienen una composición iónica Bicarbonatada cálcica, los cuales corresponde a aguas con un menor grado de evolución y un menor tiempo de permanencia en el acuífero cercanas a las áreas de recarga, sin embargo el sitio identificado como BSE-05 y BSE-11 es de tipo Clorurada sódica a magnésica ubicados en la planicie costera de la playa Barra de Santiago, lo cual se encuentran influenciados por la intrusión de agua salina asociado con el ion cloruro; además las muestras BSE-01, CSE-11, SON-16 son de tipo Sulfatada cálcica lo cual podrían estar relacionada con aguas mas evolucionadas y mineralizadas con mayor tiempo de residencia en el acuífero pudiendo tener influencias de actividades antropogénicas.

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

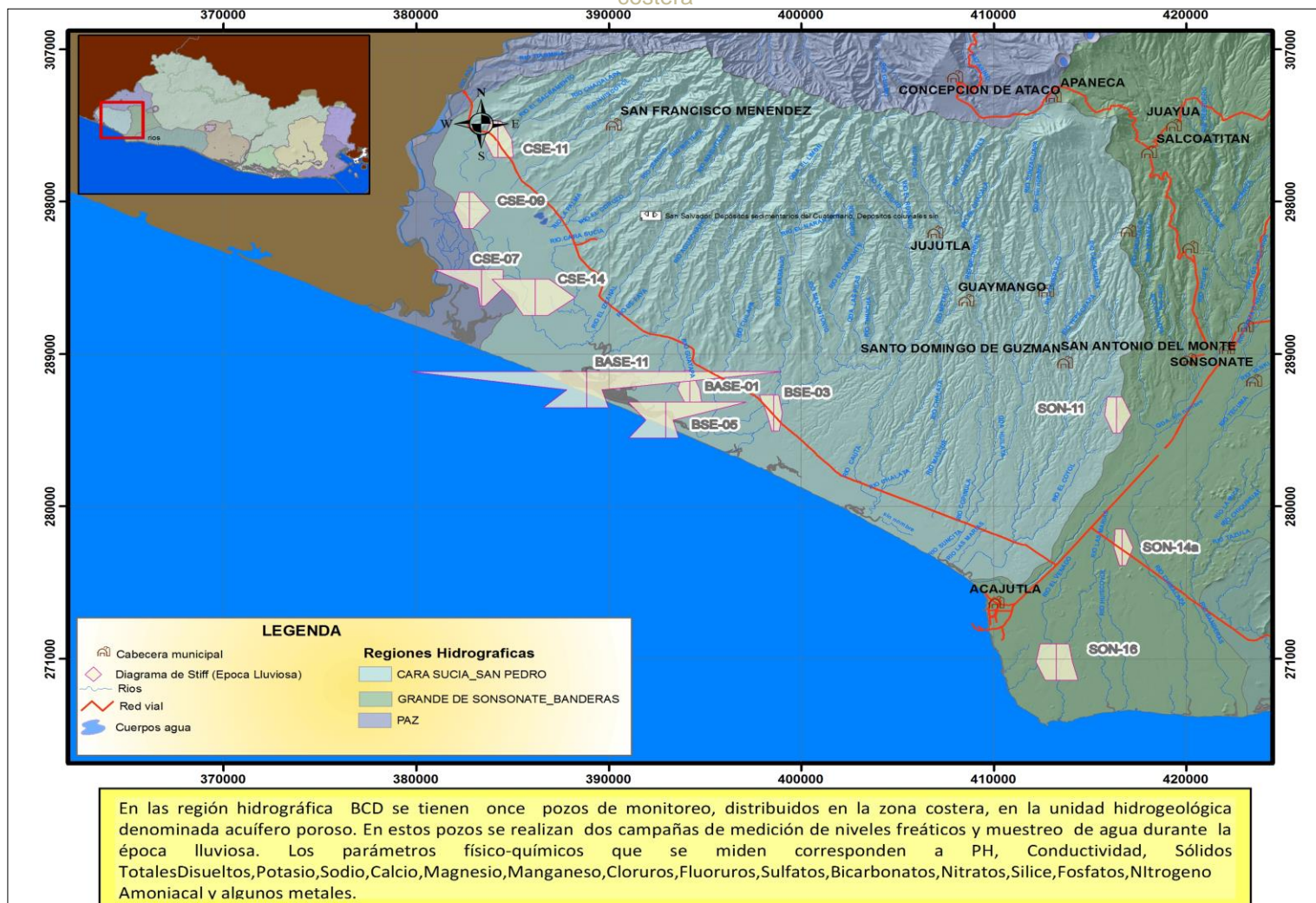


Figura 4: Distribución espacial de los pozos de monitoreo con sus respectivos diagramas de Stiff en la zona BCD para la época lluviosa

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:

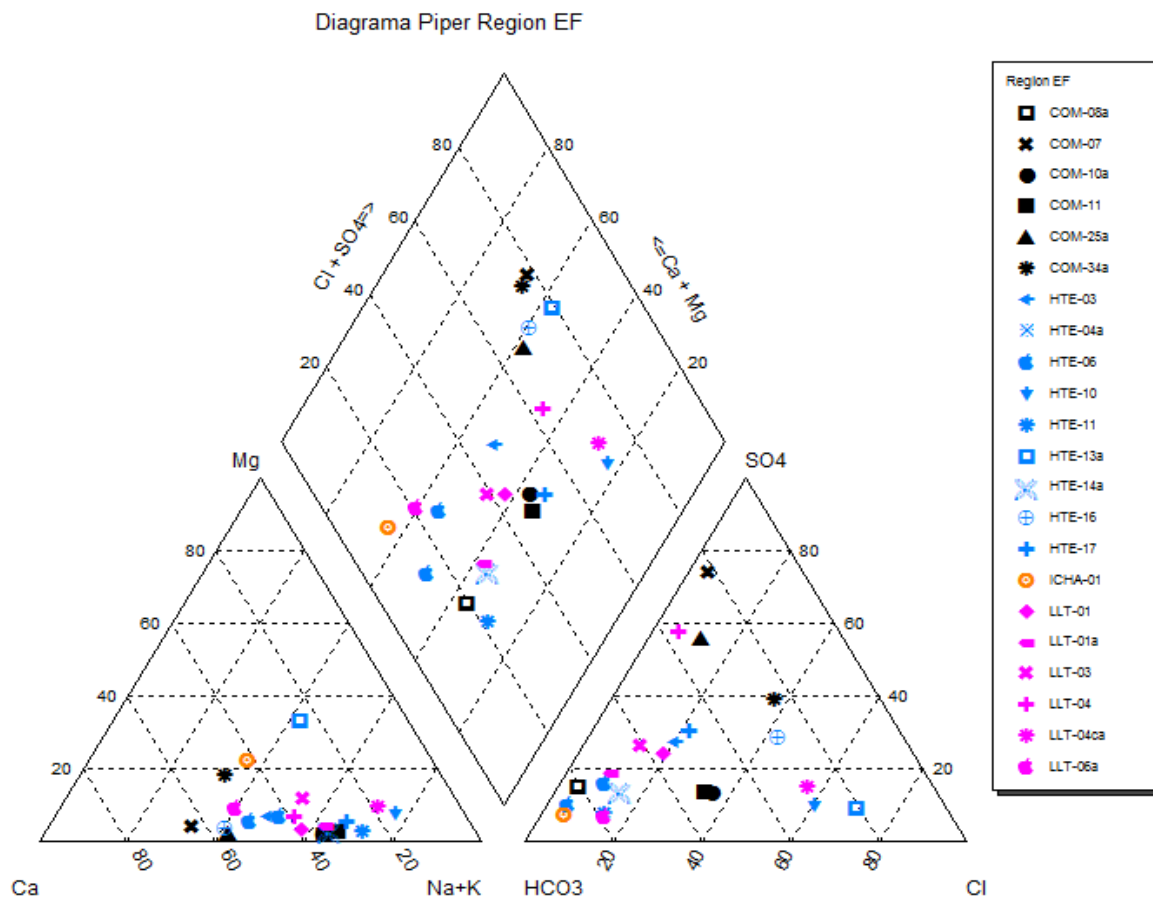


Figura 5: Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E y F para la época lluviosa.

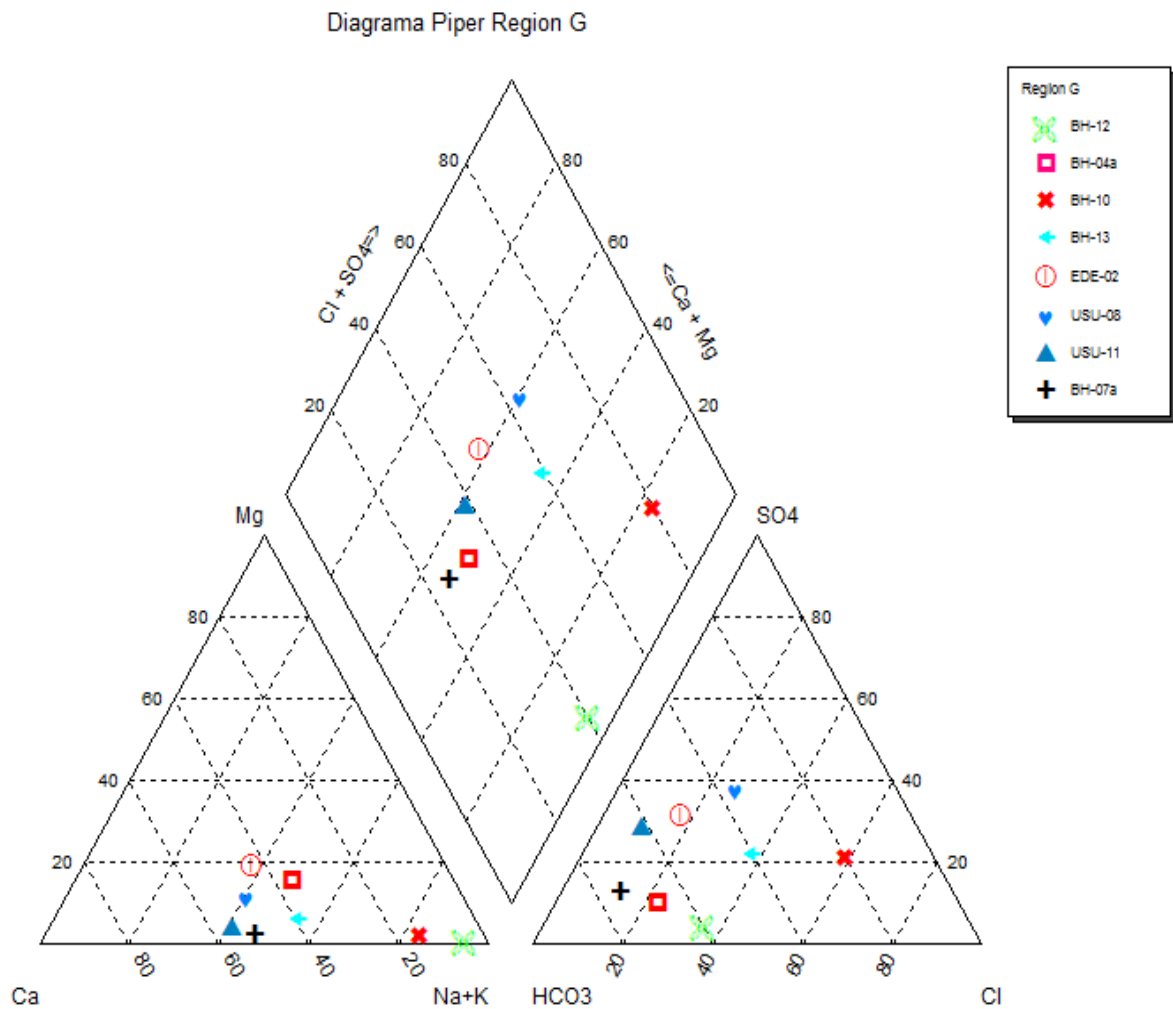


Figura 6 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en la región hidrográfica G para la época lluviosa

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	Tipo de Agua Época Lluviosa
BH-04a	Na-Ca-HCO ₃ -Cl	Bicarbonatada Sódica
BH-07a	Ca-Na-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
BH-10	Na-Cl-SO ₄	Clorurada Sódica
BH-12	Na-HCO ₃ -Cl	Bicarbonatada Sódica
BH-13	Na-Ca-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Bicarbonatada Sódica
COM-07a	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	Sulfatada Cálcica.
COM-08a	Na-Ca-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
COM-10a	Na-Ca-HCO ₃ -Cl	Bicarbonatada Sódica
COM-11	Na-Ca-HCO ₃ -Cl	Bicarbonatada Sódica
COM-25a	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃	Sulfatada Cálcica.
COM-34a	Ca-Na-SO ₄ -Cl-HCO ₃	Sulfatada Cálcica.
EDE-02	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	Bicarbonatada Cálcica
HTE-03	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	Bicarbonatada Cálcica
HTE-04a	Ca-Na-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
HTE-06	Na-Ca-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
HTE-10	Na-Cl-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
HTE-11	Na-Ca-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
HTE-13a	Cl-HCO ₃	Bicarbonatada Clorurada
HTE-14a	Na-Ca-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
HTE-16	Ca-Na-Cl-NO ₃ -SO ₄ -HCO ₃	Sulfatada Cálcica
HTE-17	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Bicarbonatada Sódica
LLT-01	Na-Ca-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
LLT-01a	Na-Ca-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
LLT-03	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	Bicarbonatada Sódica
LLT-04	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	Sulfatada Sódica
LLT-04ca	Na-Cl-HCO ₃	Bicarbonatada Sódica
LLT-06a	Ca-Na-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
USU-08	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	Sulfatada Cálcica
USU-11	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	Bicarbonatada Cálcica

La mayoría de los sitios muestreados en esta región tienen una composición iónica correspondiente al tipo Bicarbonatada Cálcica a sódica, lo que es representativo de agua jóvenes con menor grado de evolución y menor tiempo de permanencia en el acuífero próximas al área de recarga.

Para la muestra BH-10 con tipo de agua clorurada sódica son aguas con influencia de agua marina con mayor grado de mineralización, el tipo de agua sulfatadas cálcicas son COM-07, COM-25 a, COM-34 a, USU-08, HTE-16, bicarbonatada clorurada HTE-13a y sulfatada sódica LLT-04.

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



Figura 7: 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 tiene cuatro pozos de monitoreo, ubicados en la zona donde 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:

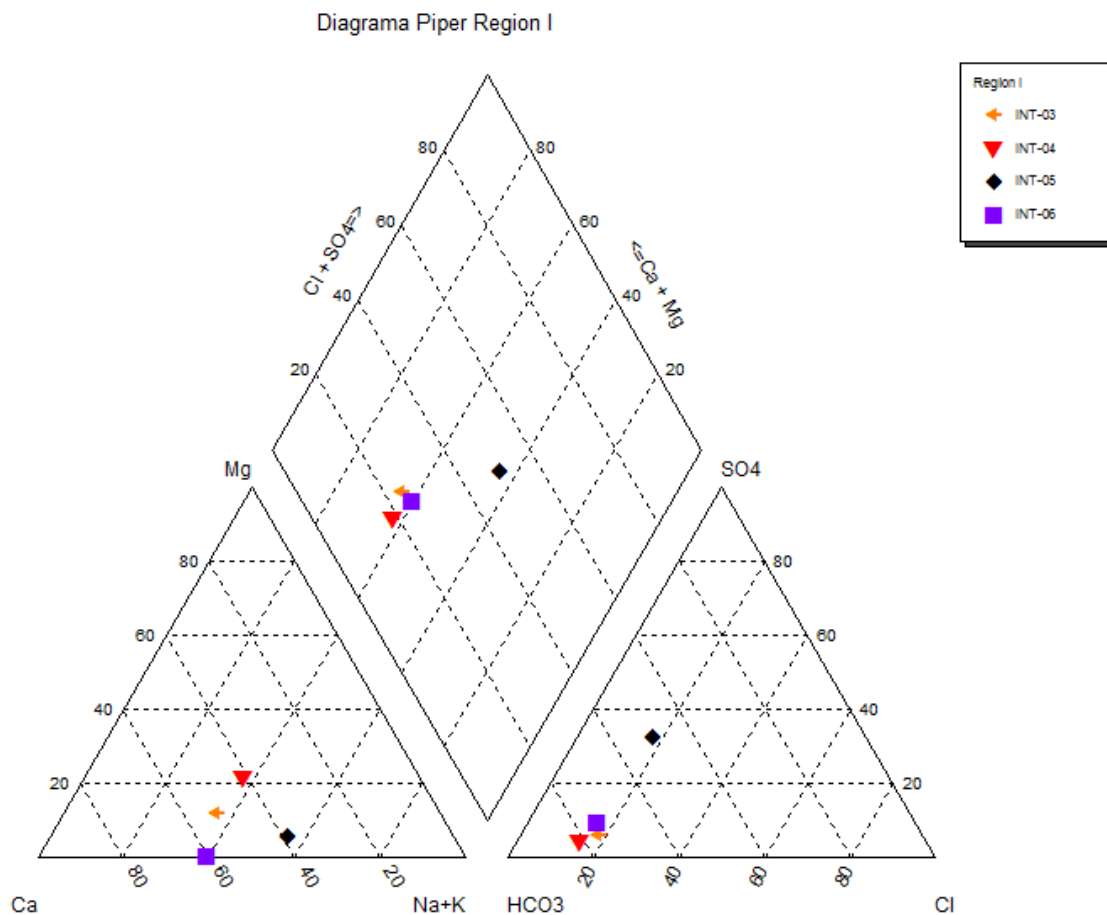


Figura 8 Representación en diagrama de Piper de la composición iónica de las muestras tomadas en sitios de monitoreo ubicados en el acuífero poroso de la región hidrográfica I para la época lluviosa

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 3.

Tabla 3 Caracterización físico-química de los sitios muestreados

Muestra	Tipo de Agua Época Seca	Tipo de Agua Época Lluviosa
INT-03	Ca-Na-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
INT-04	Ca-Na-Mg-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica
INT-05	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	Bicarbonatada Sódica
INT-06	Ca-Na-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica

El tipo de agua predominante en los pozos muestreados en la zona hidrográfica I son Bicarbonatadas Cálcicas, las cuales son aguas con menor grado de evolución, tiempo de permanencia y de mineralización.

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

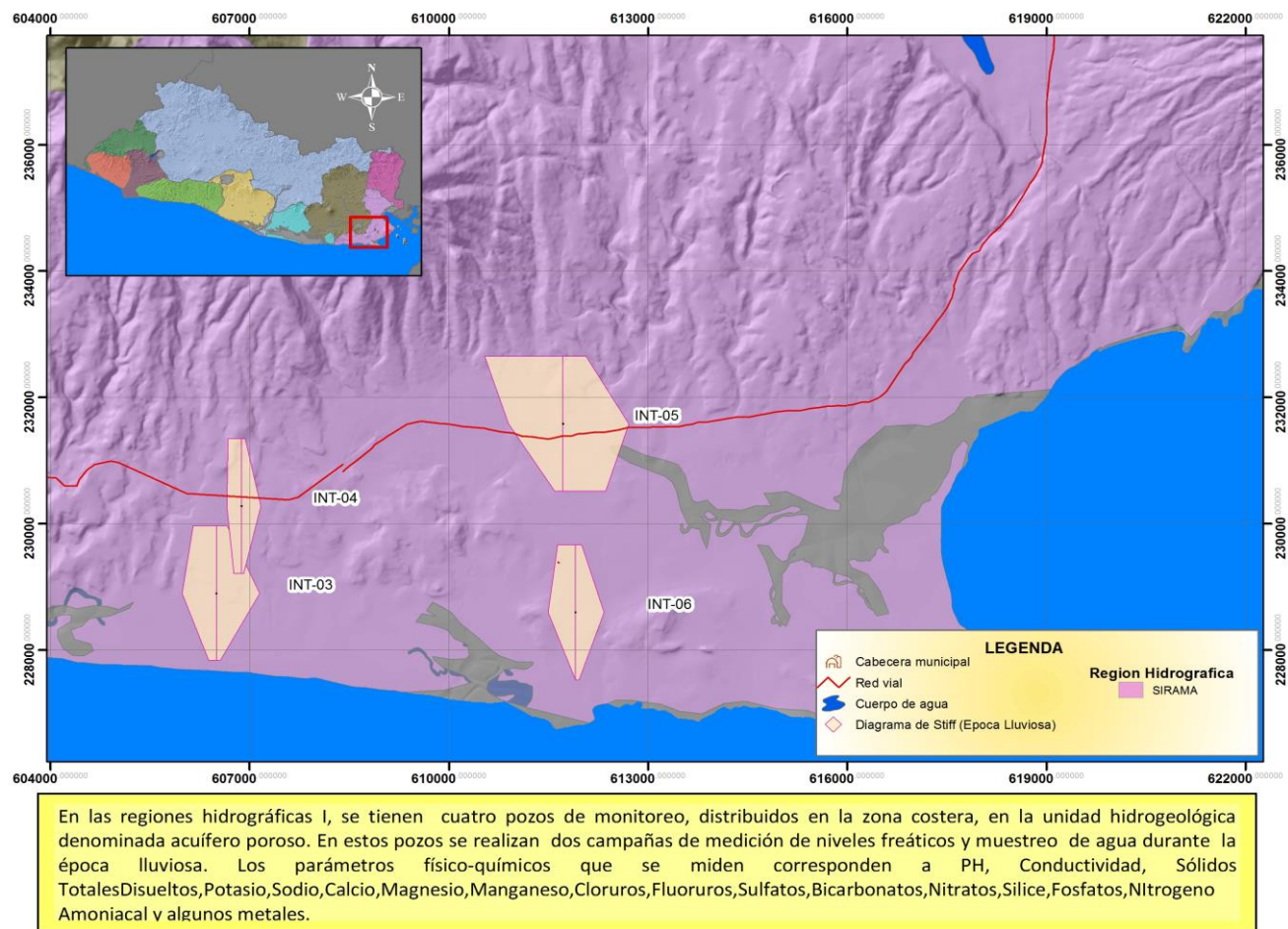


Figura 9 Representación en diagrama de Stiff, de la composición de iones mayoritarios de los sitios de monitoreo para la región I época lluviosa

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.

Los niveles freáticos medidos en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas B, C y D se encuentran en el rango de 0.46 a 10.61 metros de profundidad. Estos niveles y sus variaciones son representativos de las características de un acuífero poroso somero.

En la mayoría de los casos se observa como los niveles freáticos ascienden durante la época lluviosa, con rangos que oscilan entre 0.44 – 2.72 m, estos incrementos se presentan; como consecuencia de las recarga recibida en los acuíferos provenientes de las precipitaciones.

Tabla 4 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea 2017

Station ID	Coordenada X	Coordenada Y	Profundidad del agua subterránea (m) época seca	Profundidad del agua subterránea (m) época lluviosa
BSE-01	394217	286944	3.06	1.12
BSE-03	398585	285510	8.06	6.92
BSE-05	392962	285101	1.34	0.68
BSE-11	388873	286894	1.98	1.54
CSE-07	383398	292903	4.38	1.92
CSE-09	382770	297475	5.15	2.47
CSE-11	384248	301683	4.09	2.97
CSE-14	386186	292338	4.95	1.82
SON-11	416377	285385	1.78	1.44
SON-14a	416685	277576	1.07	0.46
SON-16	413260	270808	5.1	2.38

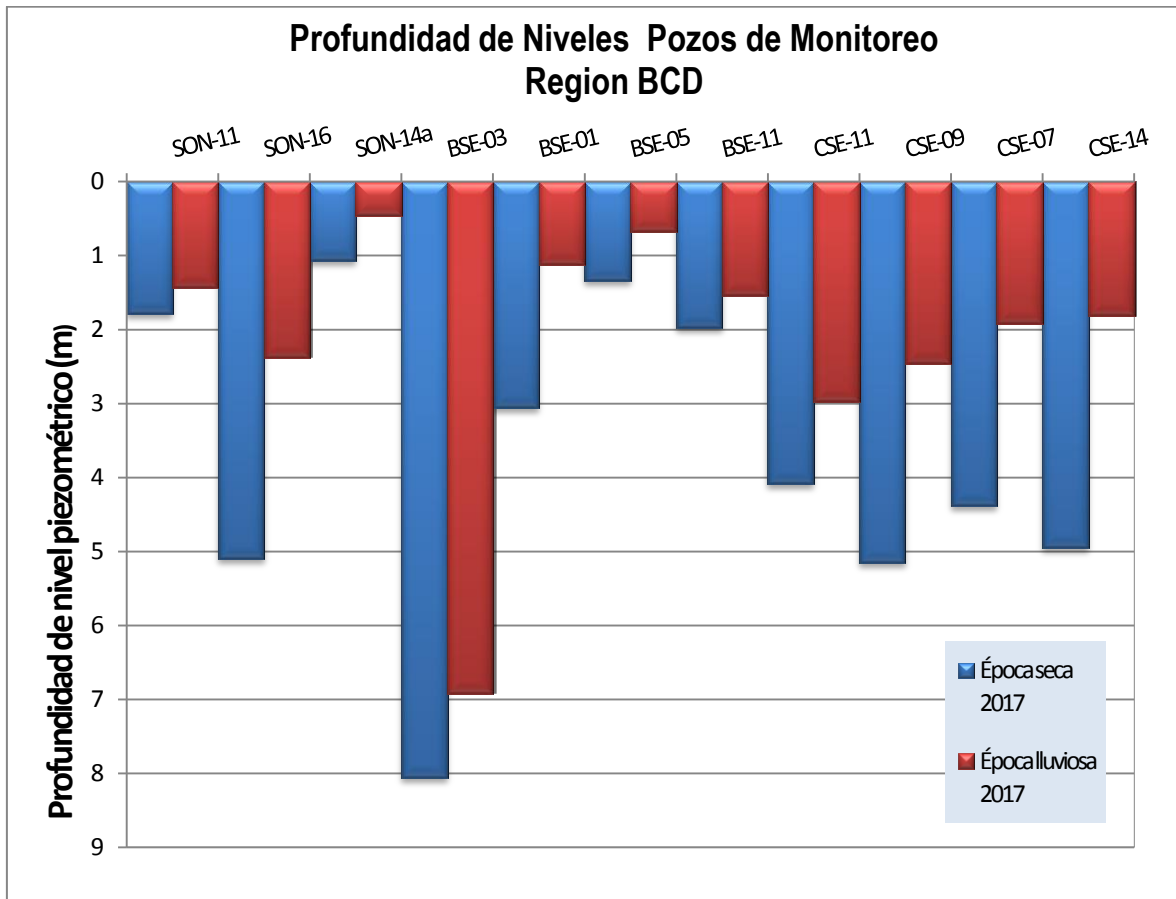


Figura 10 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas B, C y D.

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 la zona costera de las regiones hidrográficas E, F y G, es aprovechado por medio de pozos perforados y pozos excavados, en la tabla 6 se muestran los pozos que corresponden a la red de monitoreo los cuales son excavados.

Los niveles freáticos varían de 1.2 y 12.35 metros de profundidad, siendo los niveles más someros los que se encuentran cercanos a la línea de la costa y los más profundos son 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

Para esta región los ascensos durante la época lluviosa oscilan entre 0.28-3.23 metros producto de las recargas de las precipitaciones, aunque también se registraron incrementos en la profundidad del agua en el sitio identificado como USU-11 (0.15 m), debido a que esta condición únicamente se registró en este punto, es posible que sea debido a un incremento en las extracciones realizadas al pozo

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

Station ID	Coordenada X	Coordenada Y	Nivel piezométricos (m) época seca	Nivel piezométricos (m) época lluviosa
BH-04	549973	231673	3.83	1.74
BH-07a	535842	234873	8.08	4.85
BH-10	524915	236358	2.98	2.46
BH-12	529953	244262	5.05	3.77
BH-13	534418	240435	3.62	2.92
COM-07a	491798	261581	9.71	9.43
COM-08a	486852	258234	5.06	2.89
COM-25a	496150	254200	3.19	1.7
COM-34a	493673	252291	3.7	1.92
COM-10a	495203	248901	2.49	1.82
COM-11	487030	253232	1.84	1.54
HTE-03	514175	262677	-	1.3
HTE-04	549973	231673	2.36	1.3
HTE-04a	514147	262567	-	8.2
HTE-06	528239	253748	4.45	3.08
HTE-10	520980	240474	2.62	1.82
HTE-11	524825	248498	3.85	1.85
HTE-13a	520857	244438	2.95	1.2
HTE-14a	521231	249650	3.27	1.33
HTE-15	521749	256608	-	7.91
HTE-16	519280	259679	7.57	4.71
HTE-17	503459	248270	-	1.82
LLT-01	484842	261828	10.9	10.43
LLT-03	481777	261429	7.91	6.89
LLT-04	480555	260035	7.27	6.31
LLT-04ca	479614	257331	4.3	3.77
LLT-06a	472979.7	261793.3	4.74	4.17
USU-08	558735	240587	3.36	2.51
USU-11	559404	244172	12.2	12.35

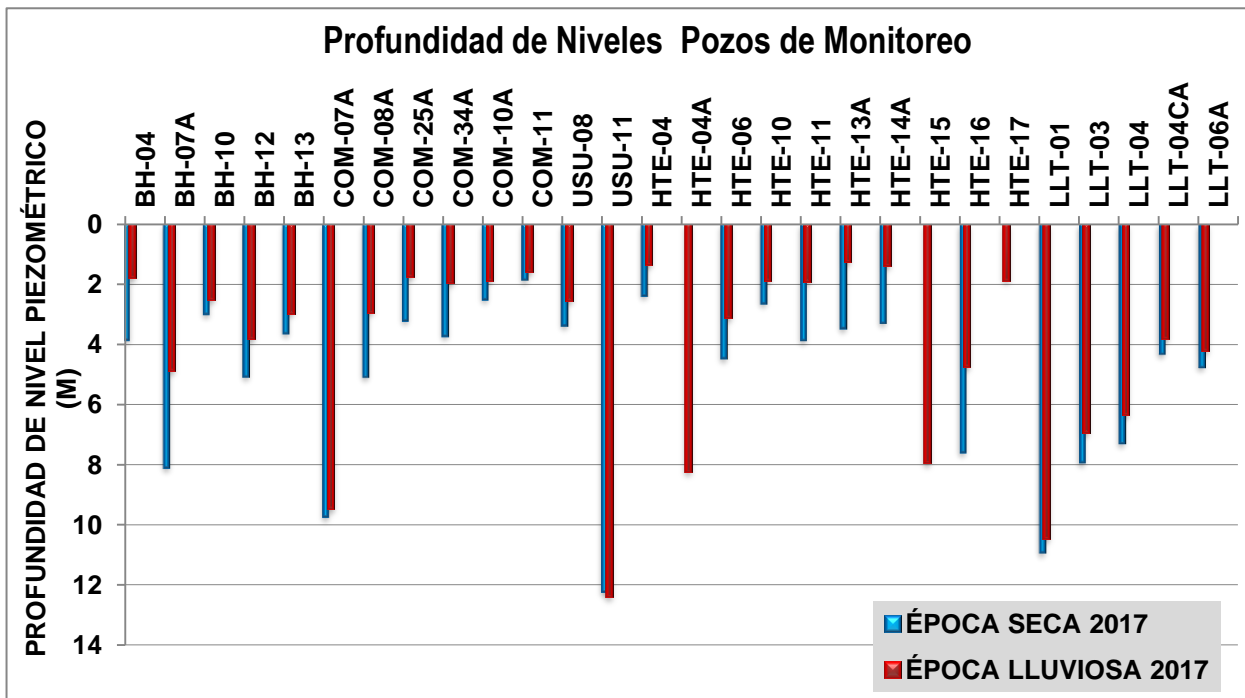


Figura 11 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas E, F y G.

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

En la región hidrográfica I se encuentra materiales de depósitos sedimentarios del cuaternario, en el cantón La Leona, caserío El Marañón y rocas efusivas básicas intermedias en el cantón y caserío Los Patos; lo cual constituyen el acuífero Local de extensión Limitada y mediana productividad.

Las profundidades de los niveles freáticos medidos en los pozos de monitoreo se encuentran en el rango 1.03 a 29.98 metros. Los puntos de monitoreo para la época lluviosa alcanzaron ascensos que oscilan entre 0.53-1.0 metros. Esta característica de ascensos se presenta como consecuencia de la recarga, recibida en los acuíferos, proveniente de las precipitaciones.

En la tabla 7 y figura 12 se muestra la ubicación y profundidad de los pozos de la red de monitoreo

Tabla 7 Sitios de muestreo y profundidades de nivel del agua subterránea 2017

Station ID	Coordenada X	Coordenada Y	Nivel piezométrico (m) época seca	Nivel piezométrico (m) época lluviosa
INT-03	606502	228898	1.81	1.03
INT-04	606879	230276	29.98	29.95
INT-05	611718	231581	6.08	5.55
INT-06	611909	228595	13.53	12.62

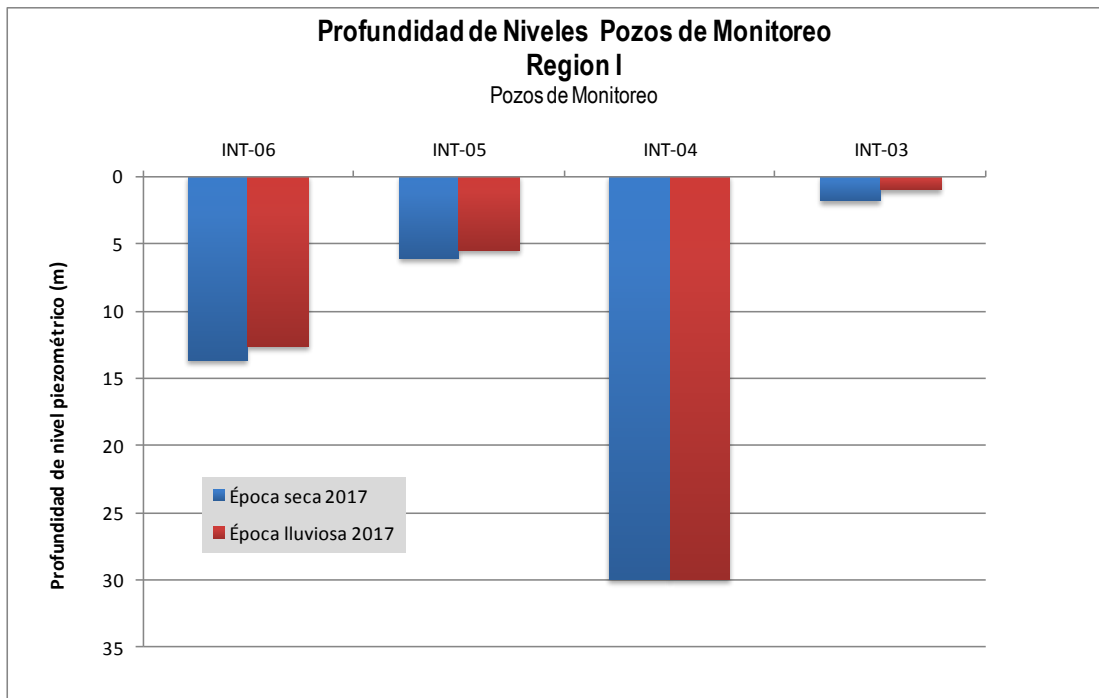


Figura 12 Representación gráfica de profundidad de nivel del agua subterránea en los sitios de monitoreo ubicados en las región hidrográfica I

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

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, en época lluviosa (septiembre) durante el año 2017, fueron: Arsénico, Hierro total y Manganeseo.

Con el efecto de contar con un valor de referencia o comparativo, 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 en su mayoría No son utilizados para consumo humano, si no para tareas domésticas y agrícolas, 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 figura 13 se muestra la ubicación y distribución espacial de los lugares que fueron muestreados en la época lluviosa, en los cual se analizó el contenido de Arsénico en el agua subterránea, obteniendo un 55.26% (21 muestras) menor al límite máximo permisible; 18.42% (7 muestras) en el límite máximo permisible y un 26.32% (10 muestras) con concentraciones mayores al límite máximo permisible; 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 (0.1226 mg/l) se localiza en el cantón San José de la Montaña, Caserío El Pichichi Tecoluca, San Vicente con código HTE-13a, seguido de los siguientes sitios de muestreo que también superan los límites permisibles establecidos: CSE-07 (0.05661 mg/l), HTE-11(0.046 mg/l), COM-11 (0.03681mg/l), COM-08a (0.0366mg/l),LLT-04 (0.0261 mg/l), LLT-03(0.02306 mg/l), BH-13(0.0209 mg/l), COM-10a (0.02041mg/l), INT-05 (0.01993 mg/l), sin embargo la mayoría de estos pozos no son utilizados para consumo humano , excepto el LLT-03 que es utilizado para consumo humano.

Las muestras que se encuentran en el límite permisible HTE-06 (0.01158 mg/l), HTE-14a (0.01951 mg/l), HTE-17 (0.0178 mg/l), CSE-14 (0.0192 mg/l), INT-05 (0.01993 mg/l), LLT-04ca (0.0129 mg/l).

De la Figura 14 a la Figura 18 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

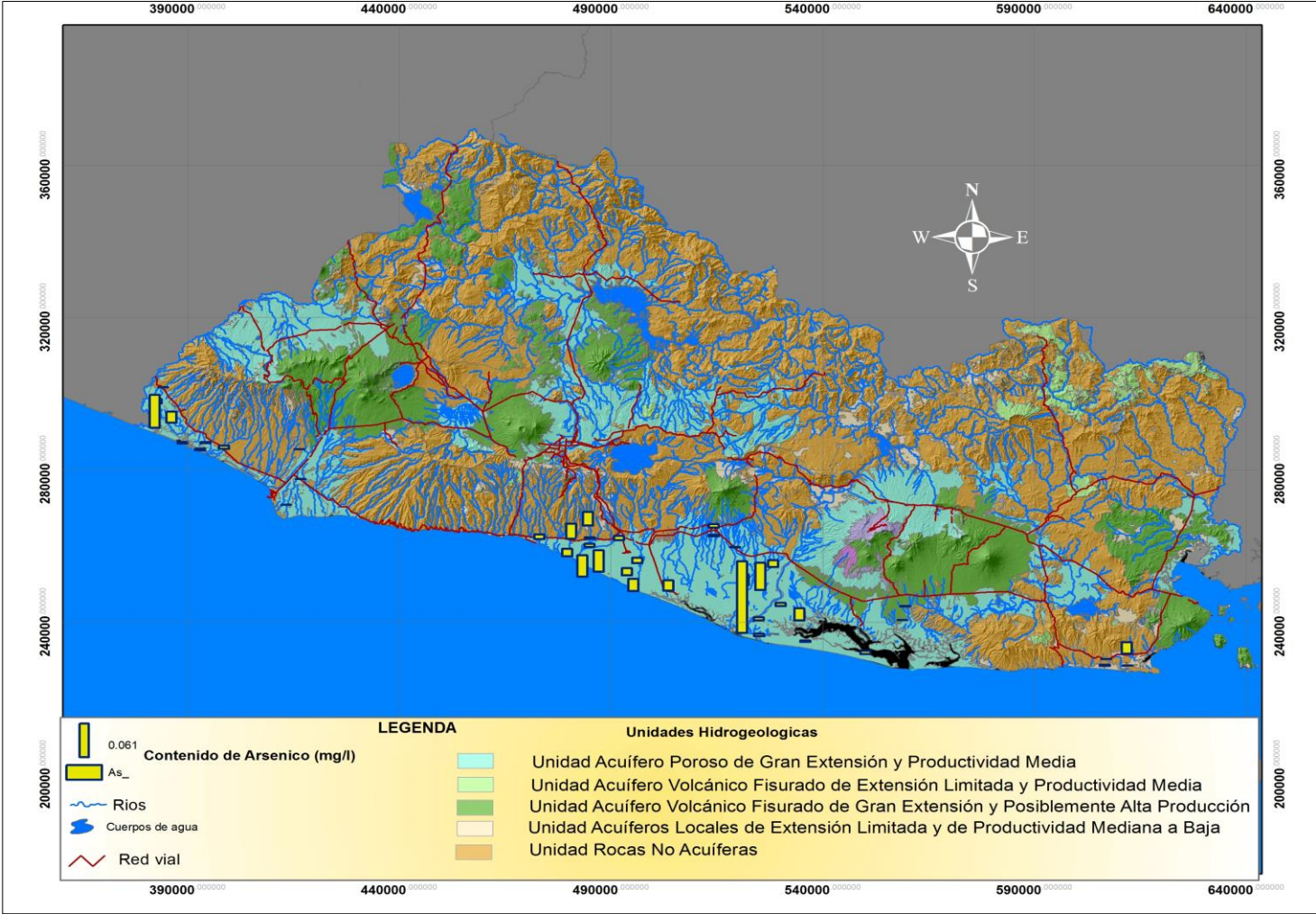


Figura 13 Sitios en los que se identificó la presencia de Arsénico en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2017

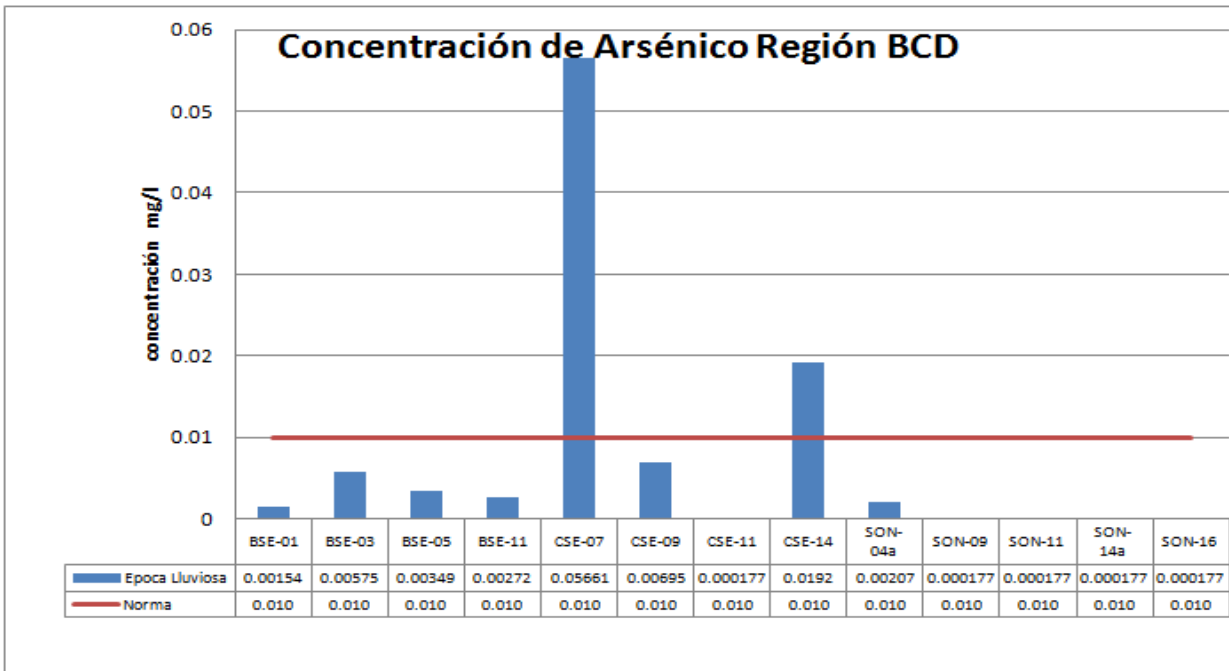


Figura 14 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en las regiones BCD para la época lluviosa (septiembre) del 2017.

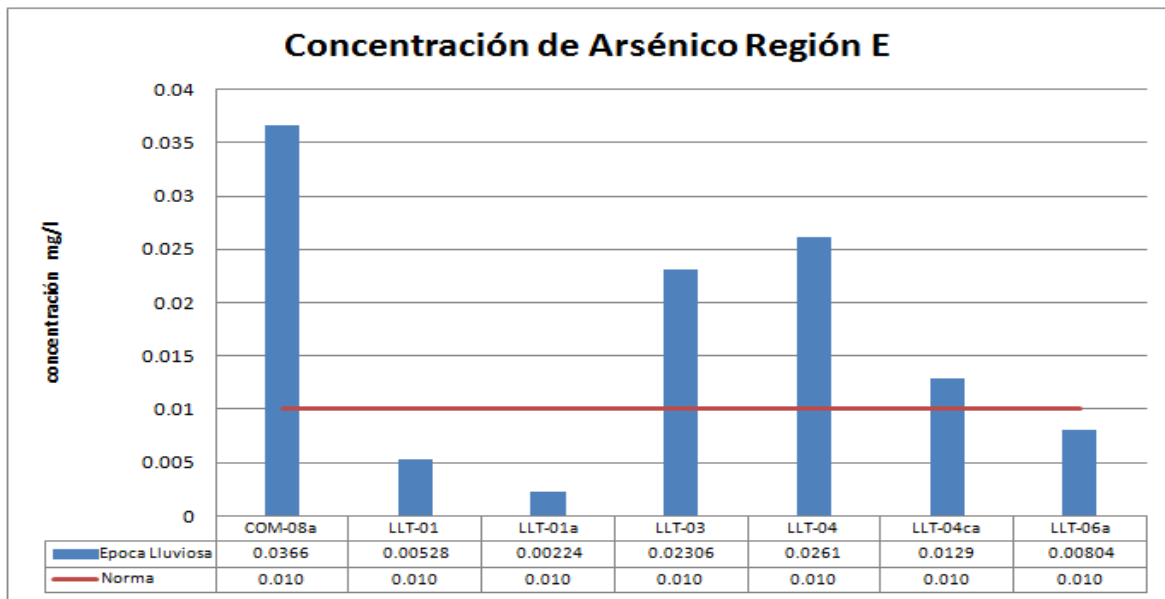


Figura 15 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región E para la época lluviosa (septiembre) del 2017.

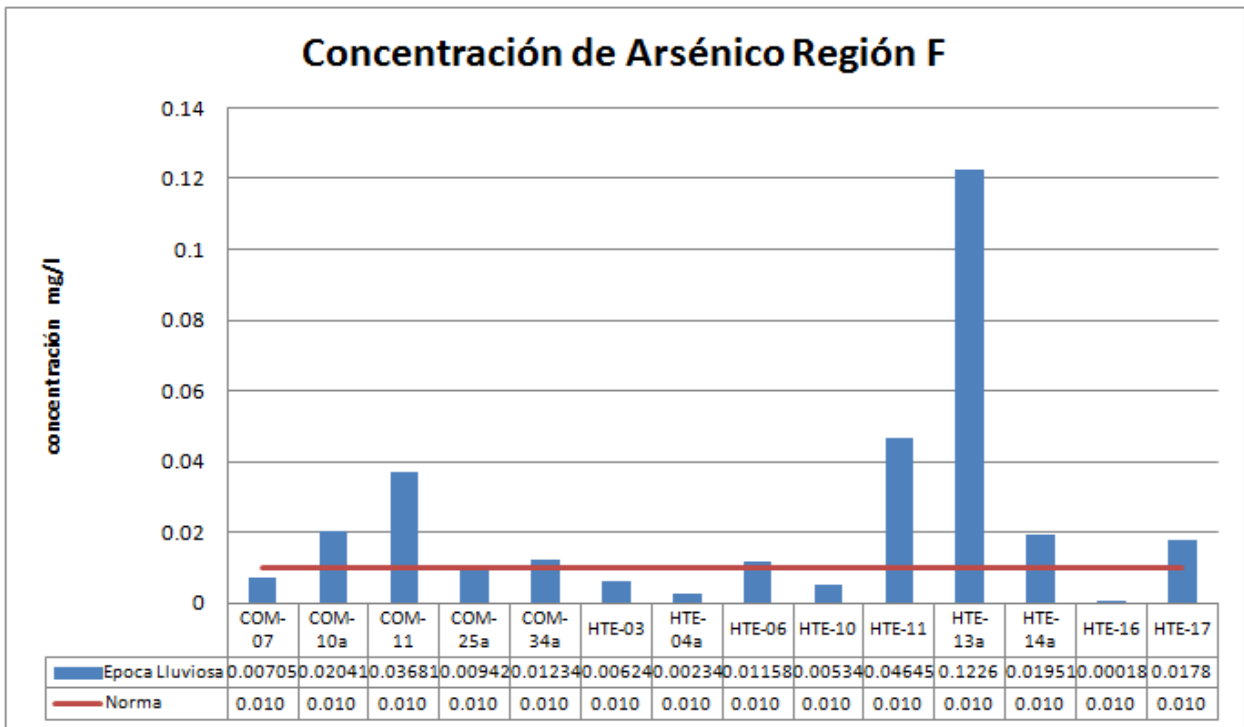


Figura 16 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región F para la época lluviosa (septiembre) del 2017

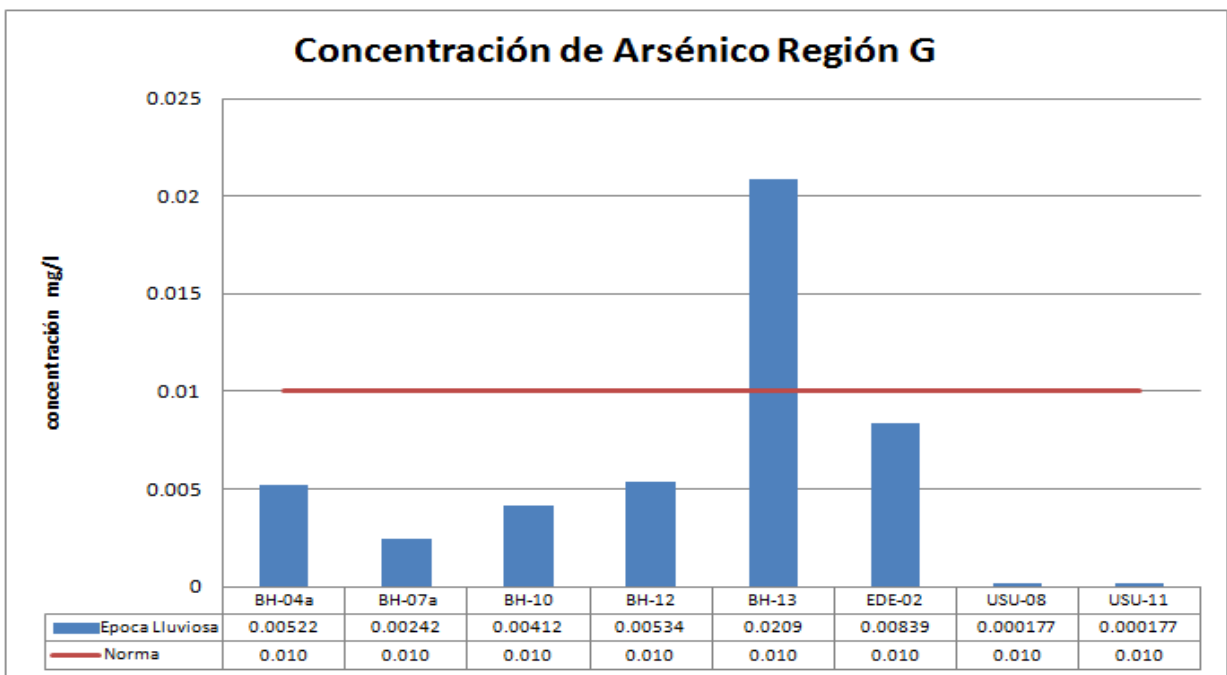


Figura 17 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017

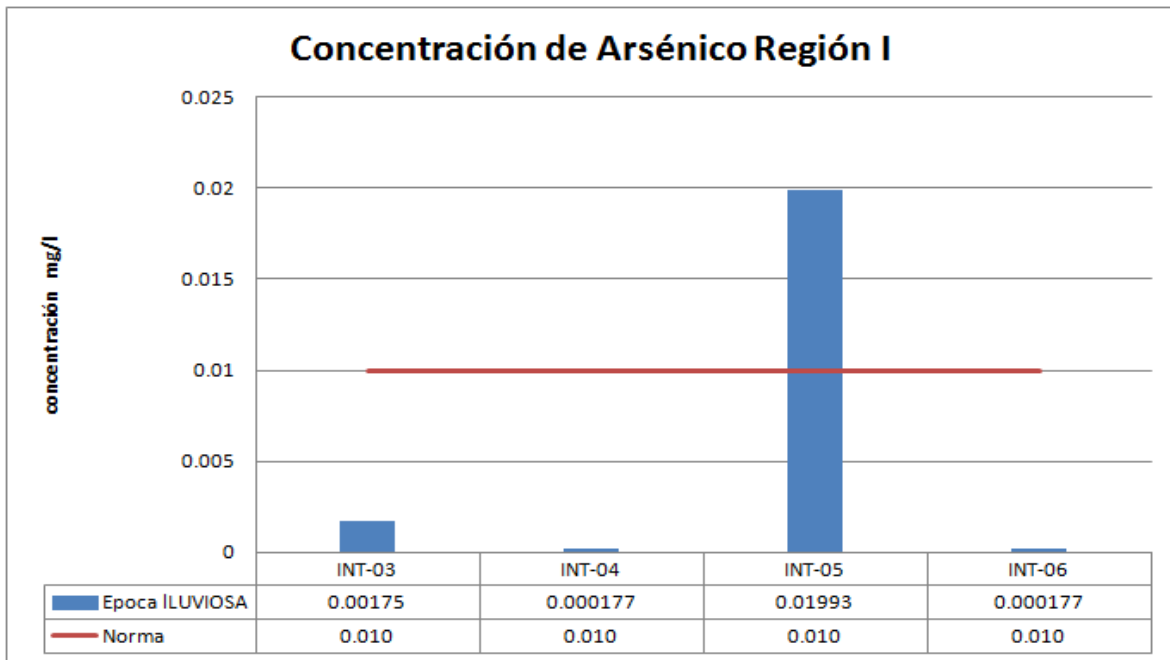


Figura 18 Concentración de Arsénico para los sitios muestreados en la región I para la época lluviosa (septiembre) del 2017

4.4.2 Hierro Total

En la Figura 19 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, encontrándose un 81.20% (37 muestras) por debajo del límite máximo permisible y 18.80% (8 muestras) exceden los límites máximos permisibles; según la NSO 13.07.01.08 que establece el límite permisible de 0.30 mg/l, para el contenido de Hierro en agua para consumo humano.

El sitio con mayor concentración de hierro (6.259 mg/l) se localiza en el cantón Barra de Santiago, caserío El Rosario municipio de Jujutla, con código BSE-03, seguido de sitios que superan los límites permisibles: LLT-03 (1.864 mg/l), HTE-10 (1.285 mg/l), LLT-04 (1.035 mg/l), COM-10a (0.733 mg/l), LLT-06a (0.722 mg/l), COM-07 (0.663 mg/l), COM-25a (0.535 mg/l).

De la Figura 20 a la Figura 24 se muestran las concentraciones de Hierro para cada una de las regiones hidrográficas.

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

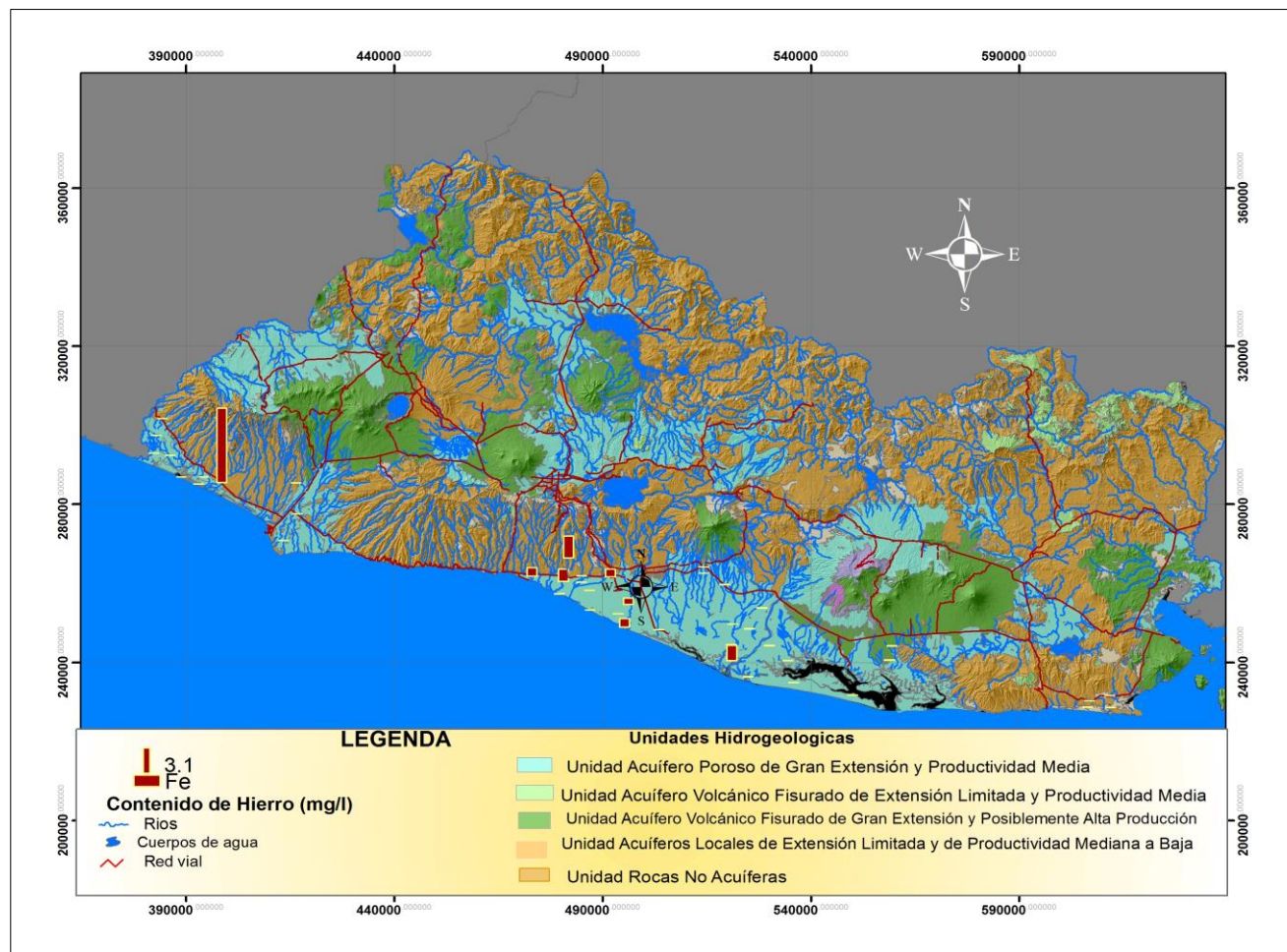


Figura 19 Sitios en los que se identificó la presencia de hierro total en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2017

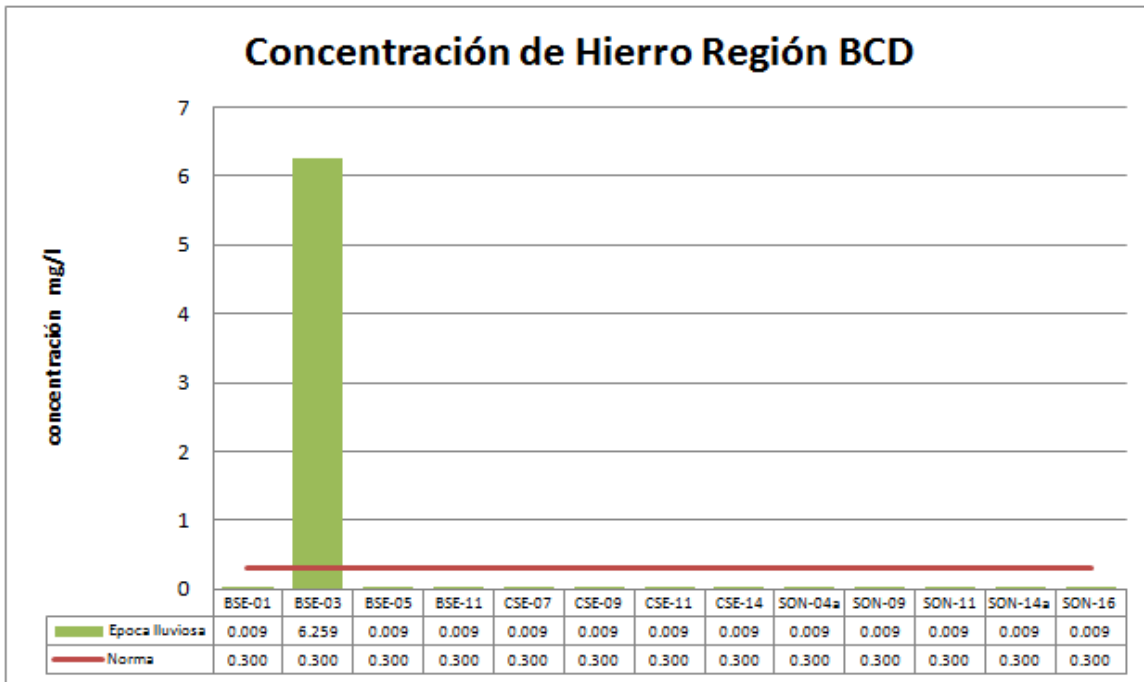


Figura 20 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región BCD para la época lluviosa (septiembre) del 2017

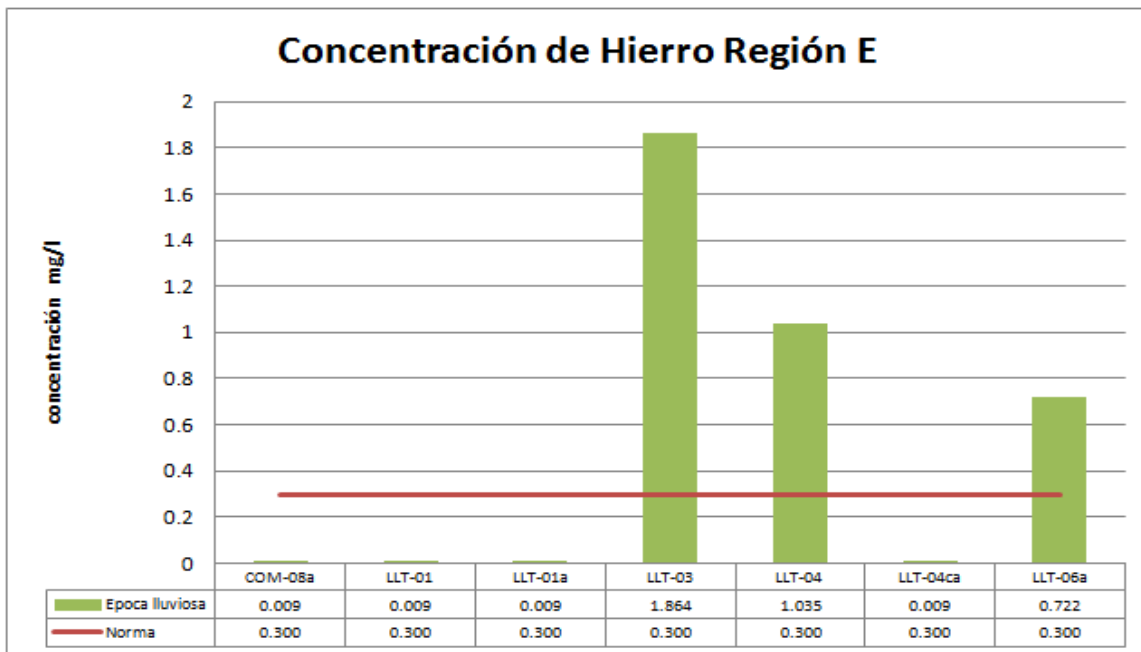


Figura 21 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región E para la época lluviosa (septiembre) del 2017

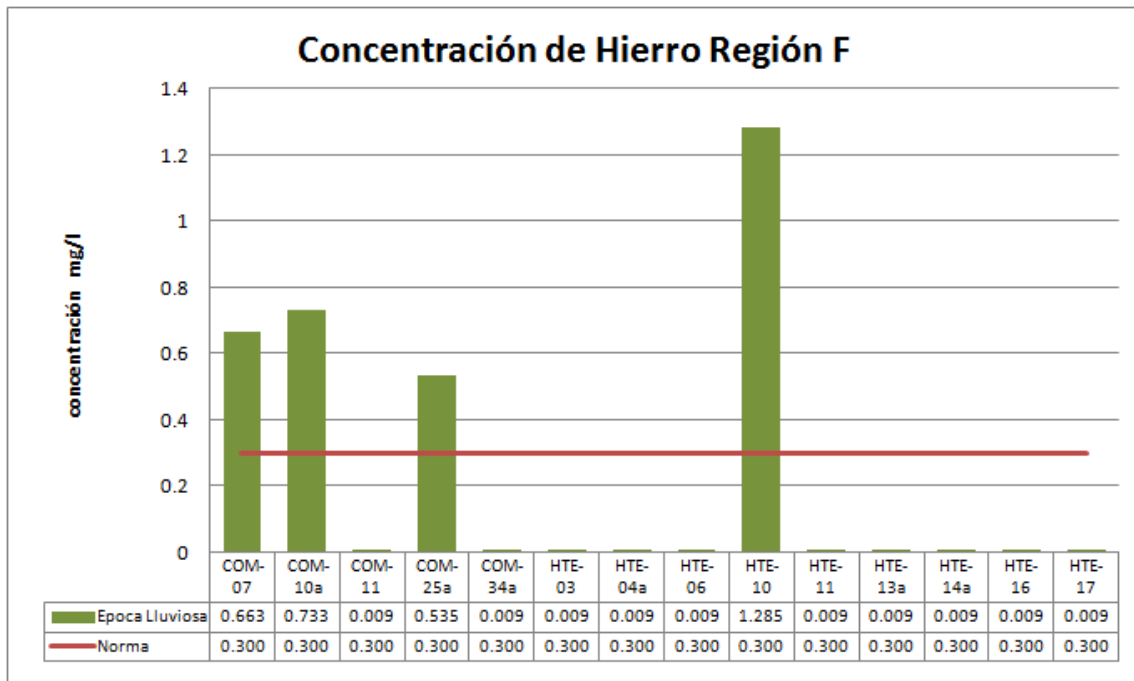


Figura 22 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región F para la época lluviosa (septiembre) del 2017

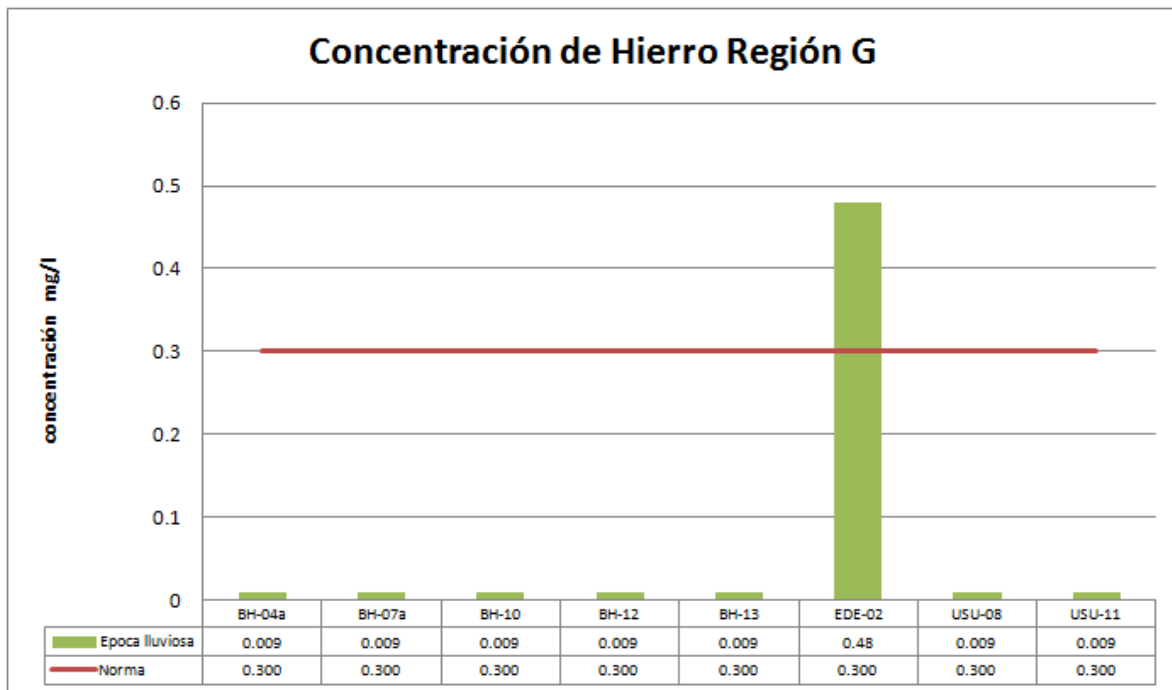


Figura 23 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017

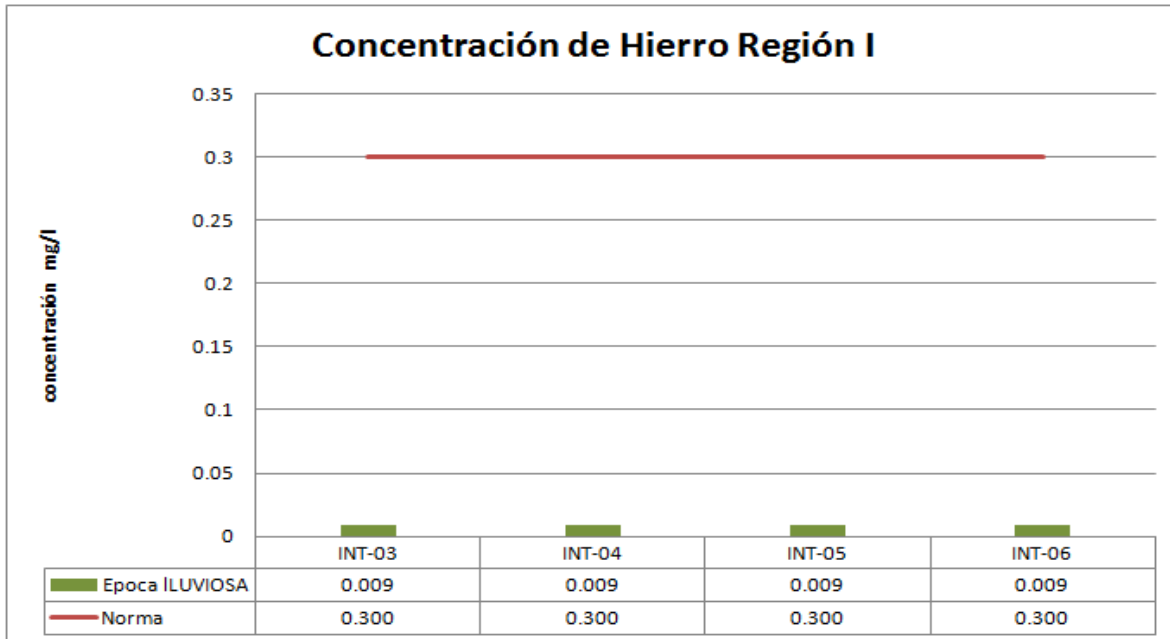


Figura 24 Concentración de Hierro para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017

4.3.3. Manganeso

En la figura 25 se muestra la ubicación y distribución espacial de los lugares que fueron muestreados y en los cuales se analizó el contenido de manganeso en el agua subterránea encontrándose, encontrándose un 82.22% (37 muestras) bajo los límites máximo permisible, 17.78% (8 muestras) superan el límite máximo permisible, de acuerdo a la NSO 13.07.01.08 el límite permisible de 0.10 mg/l, para el contenido de Manganeso en agua para consumo humano.

El sitio con mayor concentración de Manganeso (2.216 mg/l) se localiza en el cantón San Alfredo, municipio de La Libertad; con código LLT-03, seguido de sitios que superan los límites permisibles: COM-08a (1.096 mg/l), LLT-06a (0.918 mg/l), HTE-10 (0.712 mg/l), BSE-01 (0.558 mg/l), LLT-04 (0.537 mg/l), HTE-11 (0.321 mg/l), BSE-11 (0.288 mg/l).

De la Figura 26 a la Figura 30 se muestran las concentraciones de Manganeso para cada una de las regiones hidrográficas.

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

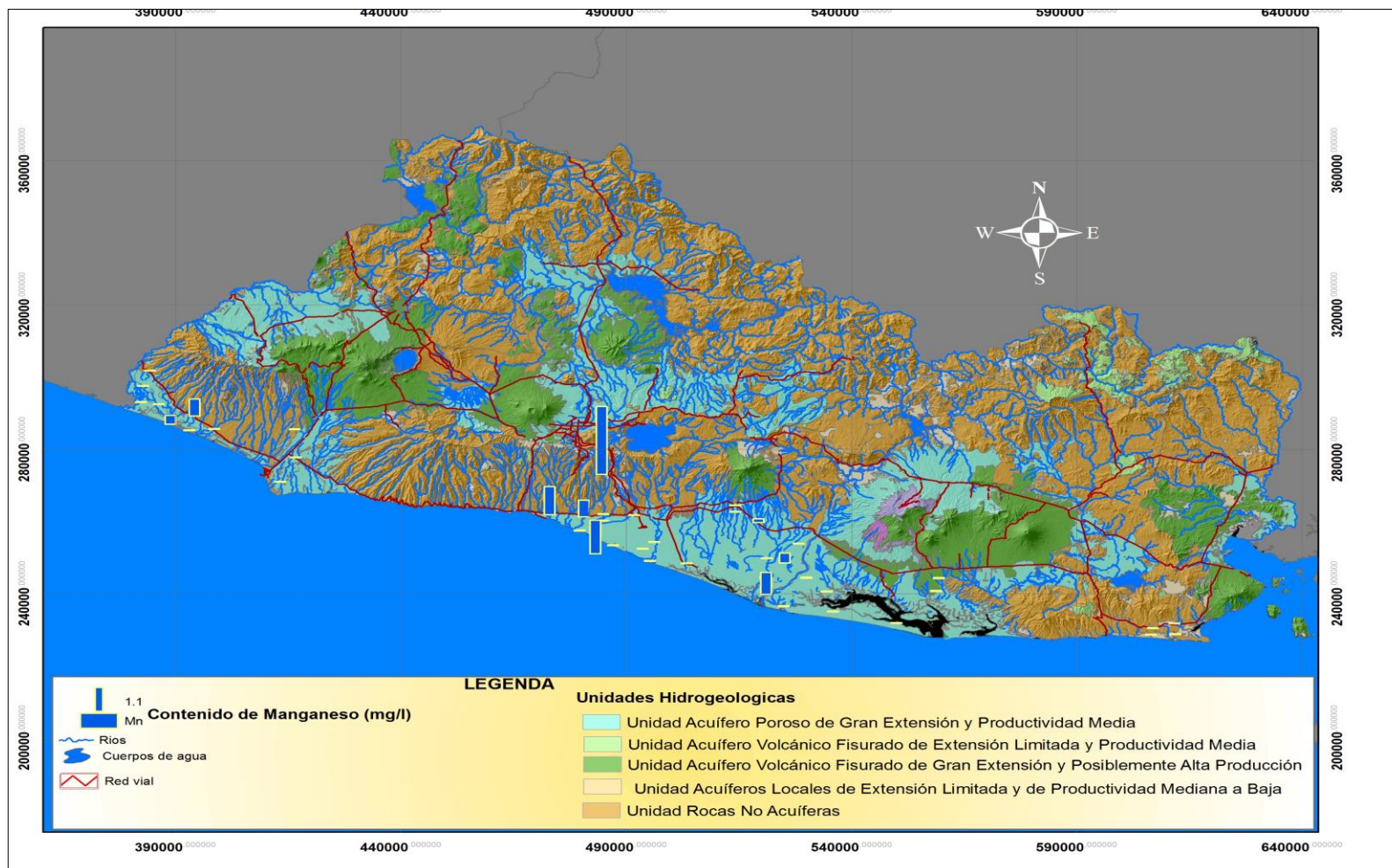


Figura. 25 Sitios en los que se identificó la presencia de Manganeseo en el agua subterránea de los acuíferos porosos de la zona costera para el 2017

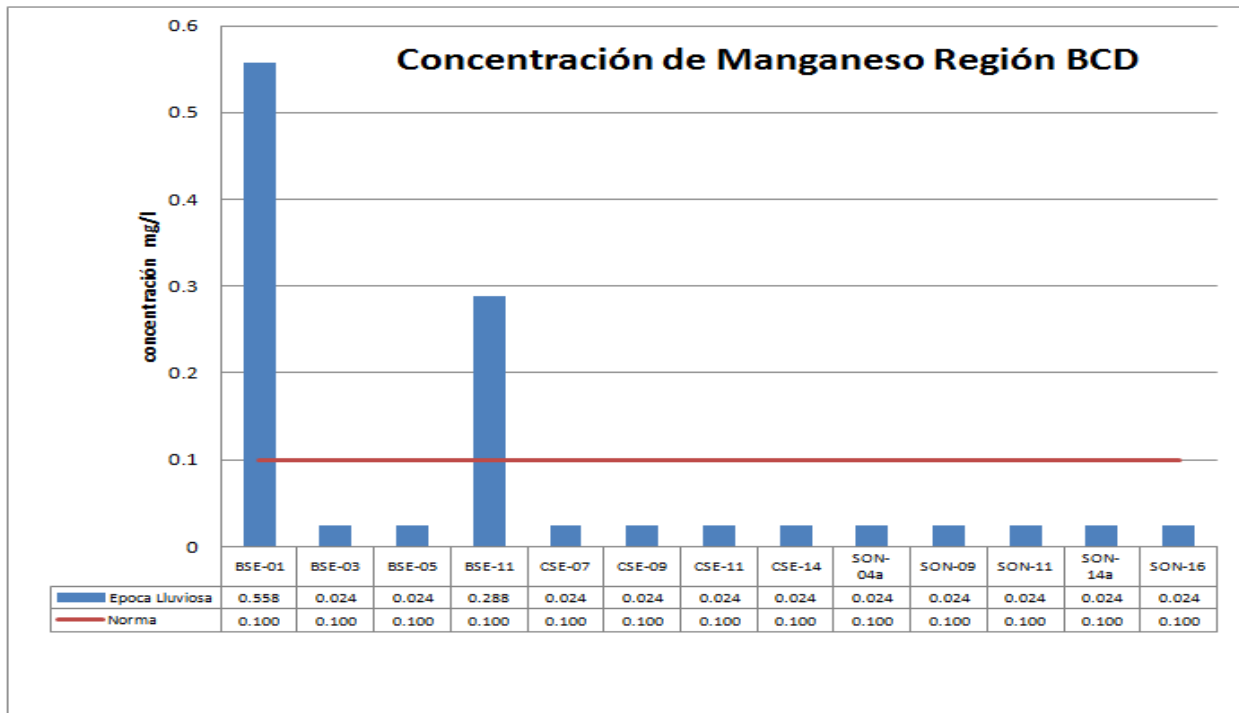


Figura 26 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región BCD para la época lluviosa (septiembre) del 2017

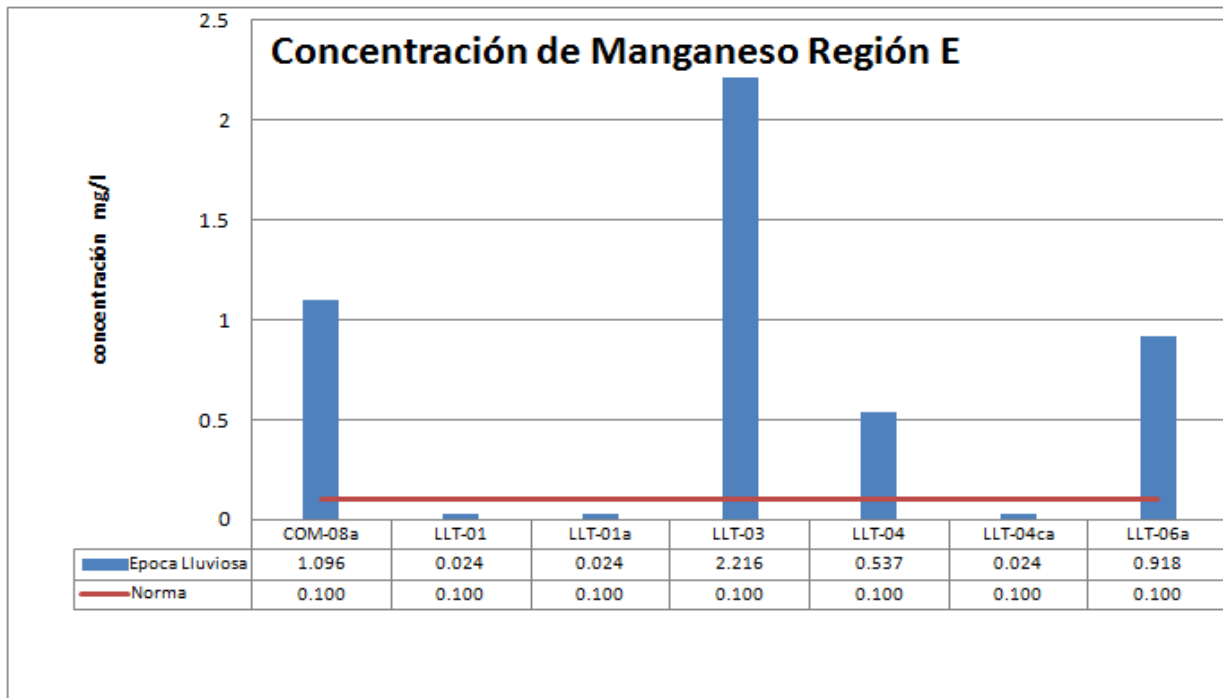


Figura 27 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región E para la época lluviosa (septiembre) del 2017

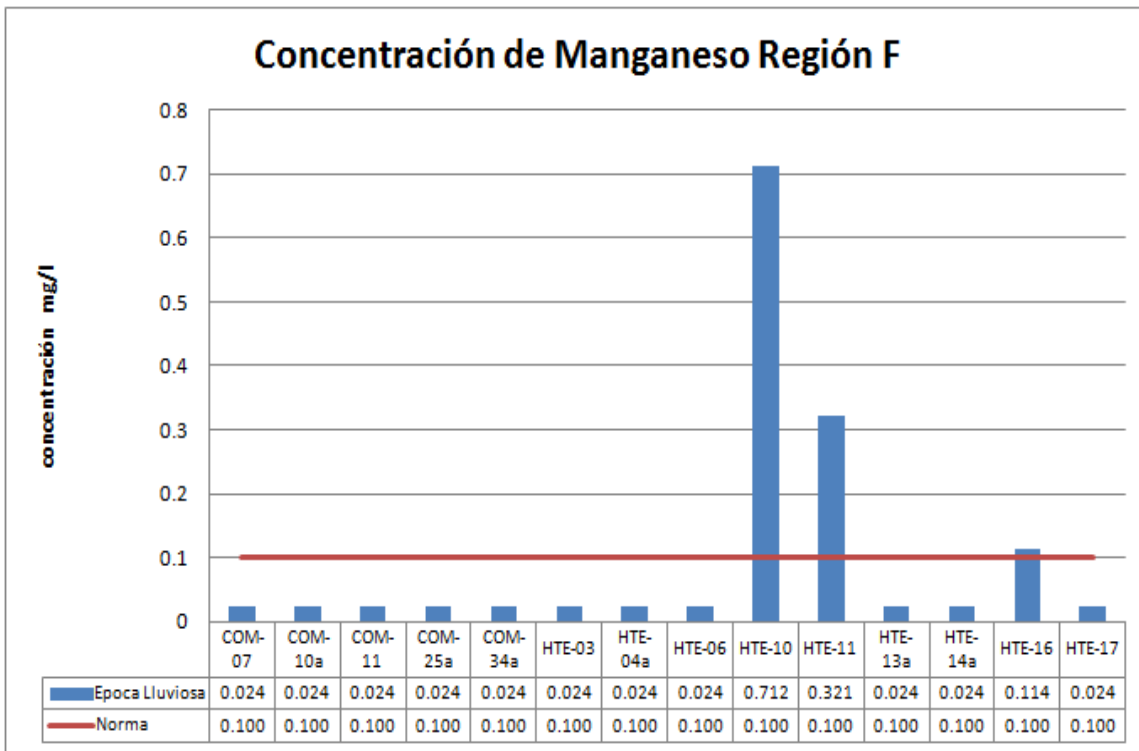


Figura 28 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región F para la época lluviosa (septiembre) del 2017

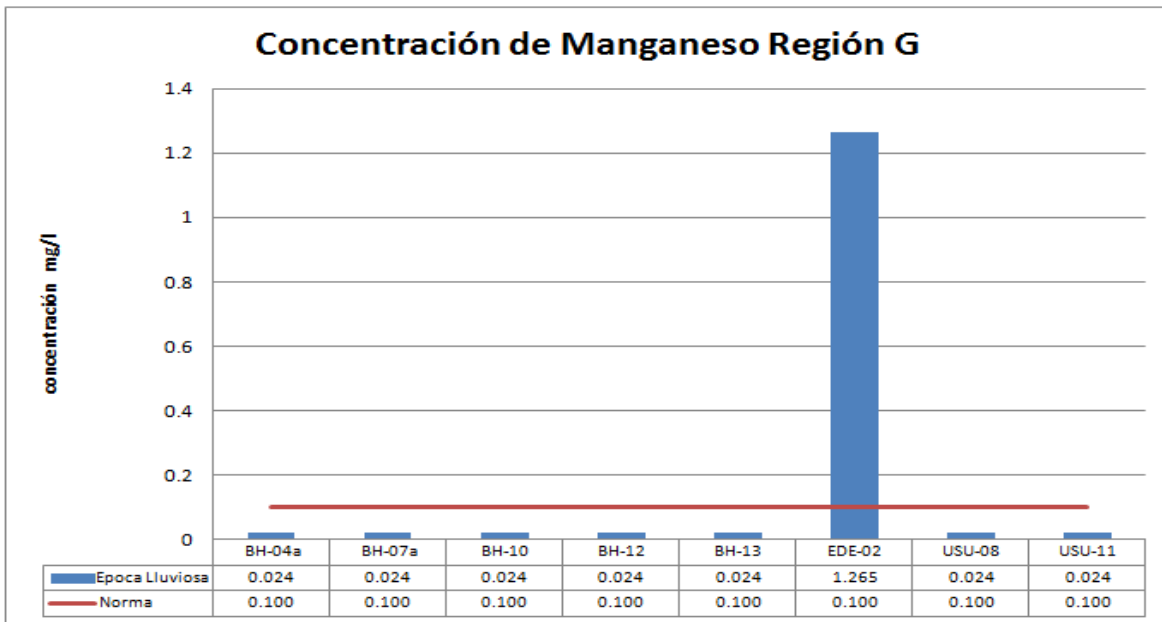


Figura 29 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región G para la época lluviosa (septiembre) del 2017

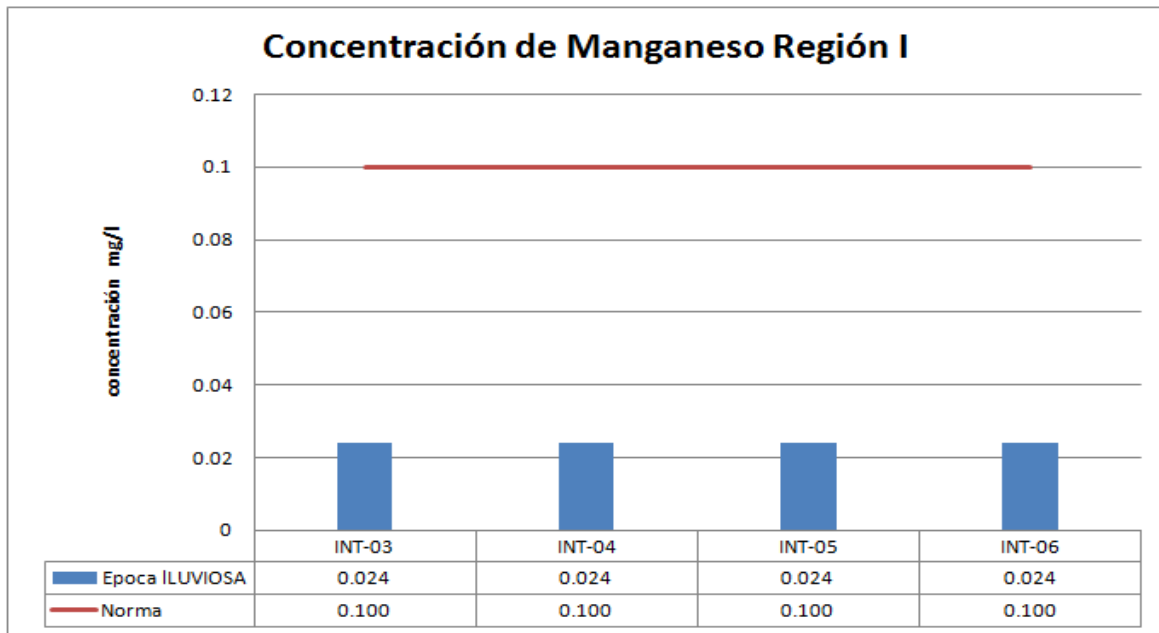


Figura 30 Concentración de Manganeso para los sitios muestreados en la región I para la época lluviosa (septiembre) del 2017

5. Conclusiones

El tipo de agua predominante en los acuíferos someros, de la región hidrográfica BCD, EFG e I es bicarbonatada Cálcica, sin embargo el sitio identificado como BSE-05 y BSE-11 (región B) es de tipo Clorurada sódica a magnésica respectivamente, BH-10 clorurada sódica (región G) ubicados en la planicie costera, lo cual se encuentran influenciados por la intrusión de agua marina asociado con el ion cloruro; además las muestras (región B) BSE-01, CSE-11, SON-16, COM-07, COM-25 a, COM-34 a, HTE-16 (región F) USU-08 (región G), son de tipo Sulfatada cálcica, bicarbonatada clorurada HTE-13 a (región F) y sulfatada sódica LLT-04 (región E) estas muestras podrían estar relacionada con aguas más evolucionadas y mineralizadas con un tiempo mayor de residencia en el acuífero pudiendo tener captaciones de contaminación marina.

En general el agua subterránea predominante en las regiones hidrográficas analizadas se clasifica como Bicarbonatada-Cálcica para la época lluviosa, lo cual está asociado a aguas de recarga rápida, es decir que no han permanecido un largo período de tiempo de interacción con la roca

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

Los niveles de agua subterránea medidos en los sitios de monitoreo ubicados en las regiones hidrográficas B, C y D se encuentran en el rango de 0.46 a 10.61 metros de profundidad. Estos niveles y sus variaciones son representativos de las características de un acuífero poroso somero.

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 1.2 y 12.35 metros de profundidad. En la época lluviosa los niveles freáticos ascienden con ascensos que oscilan entre de 0.28 – 3.23 metros, producto de la recarga de las precipitaciones, sin embargo se registró un sitio (USU-11), en el cual se dio un incremento de 0.15m en la profundidad del agua subterránea en la época lluviosa, lo cual pudo deberse a incrementos en la demanda de consumo de agua por partes de los propietarios

Las profundidades de los niveles del agua subterránea medida en la región hidrográfica I se encuentra en el rango de 1.03 a 29.98 metros. Para todo los puntos de monitoreo para la época lluviosa alcanzaron ascensos que oscilan entre 0.53- 1.0 metros, esta comportamiento de ascensos se presenta como consecuencia de la recarga rápida recibida en los acuíferos proveniente de las precipitaciones características de la época.

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)

-