



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

POSGRADO EN GEOCIENCIAS APLICADAS

**Análisis espacio-temporal de la calidad del agua
subterránea en el Valle de San Luis Potosí**

Tesis que presenta

Edgar Moisés Camargo Castro

Para obtener el grado de

Maestro en Geociencias Aplicadas

Directora de la Tesis:

Dra. Ana Elizabeth Marín Celestino

San Luis Potosí, S.L.P., Mayo de 2021



Constancia de aprobación de la tesis

La tesis “**Análisis espacio-temporal de la calidad del agua subterránea en el Valle de San Luis Potosí**” presentada para obtener el Grado de Maestro en Geociencias Aplicadas fue elaborada por **Edgar Moisés Camargo Castro** y aprobada el **día de mes de año** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Dra. Ana Elizabeth Marín Celestino
Directora de la tesis

Dr. José Alfredo Ramos Leal
Miembro del Comité Tutorial

Dr. José Tuxpan Vargas
Miembro del Comité Tutorial

Dr. Josué De Lara Bashulto
Miembro del Comité Tutorial



Créditos Institucionales

Esta tesis fue elaborada en las instalaciones de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección de la Dra. Ana Elizabeth Marín Celestino.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (932897) y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.

Dedicatorias

A mi familia.

Por brindarme todo su amor y cariño, por siempre apoyarme a seguir con este sueño, siempre alentarme a continuar en mis momentos más difíciles y siempre estar para mí cuando lo necesité.

Agradecimientos

Agradezco a mi madre, Liliana, a mis tíos Román y Lizzette, a mi tita, porque siempre me han apoyado a alcanzar mis sueños, a seguir adelante, a nunca rendirme, siempre serán un ejemplo para mí, y tendrán mi admiración y respeto siempre, los amo.

Agradezco a la División de Geociencias Aplicadas, por la oportunidad de formar parte de su programa de posgrado y a CONACYT por el apoyo brindado a través de su beca de maestría durante dos años.

Agradezco a la Dra. Ana Elizabeth Marín Celestino por tomarme como su alumno y su dirección durante el desarrollo de este trabajo, por su apoyo y por compartir sus conocimientos, permitiéndome así, acercarme a la conclusión de este sueño. A los miembros de mi comité tutorial: Dr. José Alfredo Ramos Leal, Dr. Josué de Lara Bashulto y Dr. José Tuxpan Vargas, por sus comentarios y observaciones que han enriquecido este trabajo de investigación.

Agradezco a mis colegas y amigos, Rubí, Hugo y América por hacer estos dos años muy amenos, por compartir conmigo sus conocimientos en mis áreas de deficiencia y estar apoyándome en cada etapa de este posgrado.

Agradezco a mis amigos, Ángel, Rodrigo, Lorenzo, Josué, Meza, Juvenal, por estar en esos momentos de estrés y compartir su amistad a lo largo de tantos años, siempre serán un gran apoyo.

Agradezco a Ivania, que llegó a mi vida en la recta final de este proyecto, pero desde entonces no ha dejado de apoyarme, de creer en mí, de inspirarme y de buscar ser mejor persona para nosotros, gracias por todo tu amor y cariño.

Contenido

Constancia de aprobación de la tesis	II
Créditos Institucionales	III
Acta de examen.....	III
Dedicatorias	IV
Agradecimientos	V
Lista de tablas	IX
Lista de figuras	X
Abreviaturas	XI
Glosario	XIII
Resumen	XIV
Abstract	XVI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	3
4. HIPÓTESIS	3
5. MARCO FÍSICO	4
5.1 Zona de estudio.....	4
5.2 Geología regional.....	5
5.2.1 Litología y Estratigrafía	6
5.3 Hidrología.....	9
5.3.1 Hidrología subterránea.....	9
6. MARCO TEÓRICO	12
6.1 Agua Subterránea.....	12
6.2 Calidad del Agua	12
6.2.1 Calidad del agua superficial	12
6.2.2 Calidad del agua subterránea.....	13
6.3 Evolución de la calidad del agua subterránea	13
6.3.1 Variación espacial y temporal	13
6.4 Normatividad de la calidad del agua.....	14
6.4.1 Normatividad del agua para consumo humano	14
6.4.2 Normatividad del agua para uso agrícola.....	16
6.5 Metodologías para definir tipos de agua y los procesos hidrogeoquímicos.....	16
6.6 Calidad del agua espacial	19

6.6.1	Índices de Calidad del Agua.....	19
6.6.2	Índice de Calidad del Agua para Consumo Humano.....	19
6.6.3	Índice de Calidad del Agua para Riego Agrícola.....	20
6.7	Análisis de Varianzas ANOVA.....	22
7.	ANTECEDENTES.....	23
7.1	Determinación de la calidad del agua mediante cálculos de ICA's.....	23
7.2	Descripción de calidad del agua a partir de parámetros fisicoquímicos.....	23
7.3	Estudios para identificar fuentes de contaminación.....	24
7.4	Diagramas hidrogeoquímicos empleados para el análisis de la calidad del agua.....	25
7.5	Métodos estadísticos aplicados en el análisis de calidad del agua.....	26
8.	METODOLOGÍA.....	27
8.1	Recopilación e integración de bases de datos.....	27
8.2	Cálculo del balance de iones.....	27
8.3	Zonificación del área de estudio.....	28
8.4	Identificación de los tipos de agua.....	28
8.5	Determinación de la Calidad del Agua.....	28
8.5.1	Cálculo del Índice de calidad del agua para consumo humano.....	30
8.5.2	Cálculo del Índice de calidad del agua para riego.....	31
8.6	Determinación de los tipos de agua.....	33
8.6.1	Determinación de los tipos de agua. Diagrama de Durov.....	33
8.6.2	Determinación de la idoneidad del agua para riego. Diagrama de Wilcox.....	34
8.7	Análisis de Varianza.....	34
9.	RESULTADOS.....	36
9.1	Caracterización de los procesos hidrogeoquímicos en el acuífero somero.....	36
9.1.1	Diagrama de Durov.....	36
9.1.2	Diagrama de Wilcox.....	38
9.2	Calidad del agua del acuífero somero.....	40
9.2.1	Índice de calidad del agua para consumo humano.....	40
9.2.2	Índice de calidad del agua para riego.....	41
9.3	Caracterización de los procesos hidrogeoquímicos para el acuífero profundo.....	43
9.3.1	Diagrama de Durov.....	43
9.3.2	Diagrama de Wilcox.....	46
9.4	Calidad del agua del acuífero profundo.....	50
9.4.1	Índice de calidad del agua para consumo humano.....	50

9.4.2	Índice de calidad del agua para uso agrícola.....	55
9.5	Caracterización de los niveles de arsénico y flúor en el acuífero somero	61
9.5.1	Niveles de arsénico en el acuífero somero	61
9.5.2	Niveles de flúor en el acuífero somero	62
9.6	Caracterización de los niveles de arsénico y flúor en el acuífero profundo.....	63
9.6.1	Niveles de arsénico en el acuífero profundo	63
9.6.2	Niveles de flúor en el acuífero profundo	66
9.7	Análisis de la variación temporal de la calidad del agua	70
9.7.1	Patrones temporales de los niveles de arsénico.....	71
9.7.2	Patrones temporales de los niveles de flúor	72
9.7.3	Análisis de los niveles de arsénico según la zona de ubicación de los pozos.....	74
9.7.4	Análisis de los niveles de flúor según la zona de ubicación de los pozos	75
10.	CONCLUSIONES	77
11.	RECOMENDACIONES	79
12.	BIBLIOGRAFÍA	80
13.	ANEXOS	89

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros que exceden los LMP (NOM-127-SSA1-1994).	29
Tabla 2. Estándares de calidad del agua. OMS (2011) y NOM-127-SSA1-1994.	30
Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua. DWQI (Brown et al., 1970).	31
Tabla 4. Pesos estandarizados de cada parámetro. IWQI (Meireles et al., 2010).	32
Tabla 5. Valores límite de los parámetros para el cálculo de qi.	32
Tabla 6. Clasificación e interpretación del IWQI. Modificado de Meireles et al. (2010). ..	33
Tabla 7. Clasificación e interpretación de los tipos de agua. Diagrama de Durov. (Lloyd & Heathcote, 1985).	33
Tabla 8. Clasificación de los tipos de agua para riego agrícola. Diagrama de Wilcox (1955).	34

Lista de figuras

Figura 1. Valle de San Luis Potosí, ubicación pozos muestreados y zonas de estudio.	4
Figura 2. Geología del VSLP, tomado de Hernández (2020).	5
Figura 3. Distribución de los acuíferos de la zona de estudio, tomado de Martínez et al. (2010). ...	10
Figura 4. Representación del diagrama extendido de Durov.	17
Figura 5. Representación del diagrama de Wilcox.	18
Figura 6. Clasificación del agua en el acuífero somero. a) Diagrama de Durov. b) Distribución espacial.	37
Figura 7. Clasificación de salinidad en el acuífero somero. a) Diagrama de Wilcox. b) Distribución espacial.	39
Figura 8. ICA para consumo humano en el acuífero somero en el año 2010.	40
Figura 9. ICA para riego en el acuífero somero en el año 2010.	42
Figura 10. Clasificación del agua en el acuífero profundo. a) Diagrama de Durov. b) Distribución espacial.	44
Figura 11. Clasificación del agua en el acuífero profundo. a) Diagrama de Durov. b) Distribución espacial.	45
Figura 12. Clasificación de salinidad en el acuífero profundo. a) Diagrama de Wilcox. b) Distribución espacial.	47
Figura 13. Clasificación de salinidad en el acuífero profundo. a) Diagrama de Wilcox. b) Distribución espacial.	49
Figura 14. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2007.	50
Figura 15. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2012.	51
Figura 16. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2013.	52
Figura 17. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2014.	53
Figura 18. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2015.	53
Figura 19. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2016.	54
Figura 20. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2017.	54
Figura 21. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2018.	55
Figura 22. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2007.	56
Figura 23. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2012.	57
Figura 24. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2013.	58
Figura 25. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2014.	59
Figura 26. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2015.	59
Figura 27. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2016.	60
Figura 28. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2017.	60
Figura 29. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2018.	61
Figura 30. Concentraciones de arsénico del acuífero somero para el año 2010.	62
Figura 31. Concentraciones de flúor del acuífero somero para el año 2010.	63
Figura 32. Concentración de arsénico del acuífero profundo de los años 2013 a 2018.	64
Figura 33. Concentraciones de flúor del acuífero profundo para el año 2007.	67
Figura 34. Concentración de flúor del acuífero profundo de los años 2012 a 2018.	69
Figura 35. Variación de los niveles de arsénico en el acuífero somero.	71
Figura 36. Variaciones temporales de arsénico en el período de años 2012 a 2018.	72
Figura 37. Variación de los niveles de flúor en el acuífero somero.	73
Figura 38. Variaciones temporales de flúor en el periodo de años 2012 a 2018.	74
Figura 39. Concentración de arsénico por zonas en el periodo de años 2012 a 2018.	75
Figura 40. Concentración de flúor por zonas en el periodo de años 2012 a 2018.	76

Abreviaturas

$\mu\text{S/cm}$	Microsiemens por centímetro
ANOVA	Análisis de varianza
CE	Conductividad eléctrica
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DWQI	Índice de calidad del agua para consumo por sus siglas en inglés
EPA	Agencia de Protección Ambiental por sus siglas en inglés
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura por sus siglas en inglés
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IWQI	Índice de calidad del agua para riego por sus siglas en inglés
km²	Kilómetros cuadrados
km³/año	Kilómetros cúbicos por año
LMP	Límite máximo permisible
Lps	Litros por segundo
m³/s	Metros cúbicos por segundo
meq/L	Miliequivalentes por litro
mg/L	Miligramos por litro
ml	Mililitros
ml/L	Mililitro por litro
mm	Milímetro
mm/año	Milímetros por año
Mm³/año	Millones de metros cúbicos por año
mmol/L	Milimol por litro
mS/m	Milisiemens por metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NMC	Nivel máximo del contaminante
NMCS	Nivel máximo del contaminante secundario

NOM	Norma Oficial Mexicana
OD	Oxígeno Disuelto
PCA	Análisis de Componentes Principales por sus siglas en inglés
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
RAS	Relación adsorción sodio
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UE	Unión Europea
UFC	Unidades formadoras de colonias
VSLP	Valle de San Luis Potosí
OMS	Organización Mundial de la Salud
WQI	Índice de calidad del agua por sus siglas en inglés

Glosario

Anisotropía. Dicho de una sustancia o cuerpo que posee propiedades físicas distintas según la dirección en que se mide.

Biógeno. Que engendra vida. Unidad elemental de la materia viva. Término propuesto por Verwern, en 1985, como más adecuado que los de molécula plasmática o plastídulo, empleados hasta entonces, los cuales sugerían la idea de cierta unidad en la composición química del protoplasma.

Calidad del agua. Término empleado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. La calidad del agua depende del uso que se le va a dar.

Facie. Las características generales de una unidad de roca, que reflejan su origen y la diferencian de otras unidades adyacentes. La fuente mineralógica y sedimentaria, el contenido fósil, las estructuras sedimentarias y la textura, distinguen una facie de otra.

Geogénico. Perteneciente o relativo a la Geogenia, que es una rama de la geología que trata del origen y formación de la Tierra.

Índice de Calidad del Agua. El grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura.

Resumen

Análisis espacio-temporal de la calidad del agua subterránea en el Valle de San Luis Potosí

El objetivo de esta investigación fue analizar espacial y temporalmente la calidad del agua subterránea en el Valle de San Luis Potosí, e identificar procesos naturales y antropogénicos que afectan su calidad. Se recopilaron 8 bases de datos de pozos profundos (2007, 2012-2018), y una de pozos noria (2010). Se estudiaron 17 parámetros fisicoquímicos: Alcalinidad, As, Ca^{2+} , Cl^- , Coliformes totales, CE, Dureza, F^- , HCO_3^- , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , Na^+ , pH, PO_4^{2-} , SDT y SO_4^{2-} . A cada base de datos se le determinó los tipos de agua, mediante los diagramas de Durov y Wilcox. La calidad del agua fue evaluada con índices de calidad del agua, considerando los LMP de la NOM-127-SSA1-1994 y la OMS para agua de consumo humano y las guías de la FAO para el agua de riego agrícola. Se identificaron variaciones temporales de la calidad del agua, mediante un Análisis de Varianza. Los procesos hidrogeoquímicos que predominan en el acuífero somero son disoluciones de iones y sales, relacionadas a las descargas urbanas, agrícolas, industriales; seguido de procesos de intercambio iónico inverso entre Na^+ y Cl^- , relacionado a las aguas residuales empleadas en el riego agrícola con altos niveles de STD, y dominancia de iones SO_4^{2-} y Ca^{2+} , relacionada a la geología local del VSLP. Se observó un aumento en los niveles de salinidad y de sodio en el acuífero somero, asociado al incremento en el volumen de aguas residuales descargadas y empleadas en el riego agrícola. Se encontró que las concentraciones promedio de As, F^- , K^+ , CE, SDT y coliformes totales, rebasan los LMP del agua para consumo humano, para todos los años. La calidad del agua en el acuífero somero se clasificó en 5.45% de los pozos como “muy pobre”, 52.72% como “pobre”, 27.27% como “buena calidad”, 12.72% clasificada como “excelente calidad”, por lo que en su mayoría no es apta para consumo. La calidad del agua para riego agrícola, se clasificó como “alta restricción” en 45.45% de los pozos, y es apta regar cultivos con moderada a alta tolerancia a la sal; 36.36% como “moderada restricción”, y es apropiada para regar cultivos con moderada tolerancia a sales; el 10.9% como “severa restricción”, y es recomendable para cultivos muy tolerantes a sales, y 7.27% como “baja restricción”, apta todos los cultivos, excepto los muy sensibles a sales. En el acuífero profundo se identificaron procesos de disolución e intercambio iónico entre Na^+ y HCO_3^- , asociado a fuentes geogénicas, y por los altos niveles sodio en aguas residuales para riego agrícola. No se observaron cambios significativos en los niveles de salinidad en la mayoría de los pozos en el periodo 2012 a 2018, excepto para los pozos cerca, y dentro de la zona agrícola. En el año 2007, la calidad del agua para consumo humano, se clasificó en 74.64% de los pozos como “agua excelente”, en la mayor parte del VSLP, excepto en la zona agrícola; 23.94% como “agua buena”, ubicada en zonas agrícolas; 1.4% como “agua pobre” localizada en el noroeste. En el 2012, 2013 y 2014, la calidad del agua se clasificó como “agua excelente” en 50% de los pozos. En el año 2015 y 2016 el agua clasificada como excelente, aumentó a 55.55% y 75%, respectivamente. En el año 2017 y 2018 disminuyó la calidad del agua excelente a 64.28%, y 53.33%. El agua clasificada como “buena” comprendió el 40% de los pozos en los años 2012, 2013 y 2014, y en el 2015, 2016 y 2017 disminuyó a 33.33%, 16.66% y 33.33%, respectivamente. La mayor parte de este tipo de agua se encuentra en las proximidades a zonas agrícolas. El agua clasificada como “pobre” abarcó el 10% de los pozos muestreados en el año 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016. Mientras que en el 2017 y 2018, aumentó en 14,28 % y 13.33%. Este tipo de agua se ubica dentro las zonas agrícolas y

urbanas. En el año 2007, la calidad del agua para uso agrícola se clasificó como “agua de alta restricción” en 39.42% de los pozos, 35.21% en “severa restricción”, 23.23% “moderada restricción”, y 2.11% “baja restricción”. En el año 2012, el agua de “moderada restricción”, aumentó a 90%, y en los siguientes años disminuyó el número de pozos a un 25%. En el año 2012 el agua de “alta restricción” fue en 10% de los pozos, posteriormente aumentó hasta 50%. El agua de “baja restricción”, abarcó un 10%, 11.11%, 25%, 14.28%, y 13.33% de los pozos en los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, respectivamente. Mientras que, en los años 2016, 2017 y 2018, disminuyó a “altamente restrictivo” en algunos pozos. El análisis de las variaciones temporales indicó una tendencia al aumento de los niveles de arsénico, a partir de los años 2016, 2017 y 2018. El análisis espacial mostró que las zonas con mayores niveles de arsénico son las zonas urbanas y agrícolas, localizados en zonas urbanas y rurales y se relacionó a fuentes naturales, propiciadas por la sobreexplotación de los pozos en la zona urbana, y al uso de aguas residuales en la agricultura. Los niveles de flúor, durante los años 2012 a 2018, disminuyeron ligeramente en algunos pozos.

PALABRAS CLAVE. Acuífero profundo, Acuífero somero, Análisis espacial y temporal, ANOVA, Arsénico, Calidad del agua, Flúor, ICA, Valle de San Luis Potosí

Abstract

Spatio-temporal analysis of groundwater quality in the San Luis Potosí Valley.

The objective of this research was to analyze spatially and temporally the quality of groundwater in the San Luis Potosí Valley, and to identify natural and anthropogenic processes that affect its quality. 8 databases were compiled from deep wells (2007, 2012-2018), and one from noria wells (2010). 17 physicochemical parameters were studied: Alkalinity, As, Ca^{2+} , Cl^- , Total Coliforms, CE, Hardness, F^- , HCO_3^- , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , Na^+ , pH, PO_4^{2-} , SDT and SO_4^{2-} . The types of water were determined for each database, using the Durov and Wilcox diagrams. The water quality was evaluated with water quality indices, considering the LMP of NOM-127-SSA1-1994 and the WHO for water for human consumption and the FAO guidelines for agricultural irrigation water. Temporal variations in water quality was identified through an Analysis of Variance. The hydrogeochemical processes that predominate in the shallow aquifer are solutions of ions and salts, related to urban, agricultural, and industrial discharges; followed by reverse ion exchange processes between Na^+ and Cl^- , related to wastewater used in agricultural irrigation with high levels of STD, and dominance of SO_4^{2-} and Ca^{2+} ions, related to the local geology of VSLP. An increase in salinity and sodium levels was observed in the shallow aquifer, associated with the increase in the volume of wastewater discharged and are used in agricultural irrigation. It was found that the average concentrations of As, F^- , K^+ , CE, TDS and total coliforms, exceed the PML of water for human consumption, for all years. The water quality in the shallow aquifer was classified in 5.45% of the wells as “very poor”, 52.72% as “poor”, 27.27% as “good quality”, 12.72% classified as “excellent quality”, so in most of them are not suitable for consumption. The quality of the water for agricultural irrigation was classified as “high restriction” in 45.45% of the wells, and it is suitable to irrigate crops with moderate to high tolerance to salt; 36.36% as “moderate restriction”, and is appropriate for irrigating crops with moderate tolerance to salts; 10.9% as “severe restriction” and it is recommended for crops very tolerant to salts, and 7.27% as “low restriction”, suitable for all crops, except those very sensitive to salts. In the deep aquifer, dissolution, and reverse ion exchange processes between Na^+ y HCO_3^- were identified, associated with geogenic sources, and due to the high sodium levels in wastewater for agricultural irrigation. No significant changes in salinity levels were observed in most of the wells in the period 2012 to 2018, except for wells close to, and within the agricultural zone. In 2007, the quality of water for human consumption was classified in 74.64% of the wells as “excellent water”, in most of the VSLP, except in the agricultural zone; 23.94% as “good water”, located in agricultural areas; 1.4% as “poor water” located in the northwest. In 2012, 2013 and 2014, water quality was classified as “excellent water” in 50% of the wells. In 2015 and 2016, the water classified as excellent increased to 55.55% and 75%, respectively. In 2017 and 2018, excellent water quality decreased to 64.28%, and 53.33%. The water classified as “good” comprised 40% of the wells in the years 2012, 2013 and 2014, and in 2015, 2016 and 2017 it decreased to 33.33%, 16.66% and 33.33%, respectively. Most of this type of water is found in proximity to agricultural areas. The water classified as “poor” covered 10% of the wells sampled in 2012, 2013, 2014, 2015 and 2016. While in 2017 and 2018, it increased by 14.28% and 13.33%. This type of water is located within agricultural and urban areas. In 2007, the quality of water for agricultural use was classified as “high restriction water” in 39.42% of the wells, 35.21% as “severe restriction”, 23.23% “moderate restriction”, and 2.11% “low restriction”. In 2012,

“moderately restricted” water increased to 90%, and in the following years the number of wells decreased to 25%. In 2012, “high restriction” water was in 10% of the wells, later it increased to 50%. The “low restriction” water covered 10%, 11.11%, 25%, 14.28%, and 13.33% of the wells in the years 2014, 2015, 2016, 2017 and 2018, respectively. While, in the years 2016, 2017 and 2018, it decreased to “highly restrictive” in some wells. The analysis of the temporal variations indicated a tendency to increase the levels of arsenic, starting in the years 2016, 2017 and 2018. The spatial analysis showed that the areas with the highest levels of arsenic are urban and agricultural areas, located in urban and rural areas and it was related to natural sources, caused by the overexploitation of wells in urban areas, and the use of wastewater in agriculture. Fluoride levels, during the years 2012 to 2018, slightly decreased in some wells.

KEY WORDS. ANOVA, Arsenic, Deep aquifer, Fluorine, Shallow aquifer, Spatial and temporal analysis, San Luis Potosí Valley, Water quality, WQI

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano ha excedido de manera inconsciente el uso de los recursos hídricos, desviando, captando, almacenando, extrayendo y contaminando, durante el desarrollo de sus diferentes actividades. Lo cual ha generado un deterioro en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico a nivel mundial (López-Álvarez et al., 2013a). Es el caso de las regiones áridas y semiáridas, donde los acuíferos son la principal fuente de abastecimiento de agua para las actividades público-urbanas, agrícolas e industriales, que demandan grandes volúmenes de agua (Méndez, 2017). Sumado a que en estas regiones es difícil el abastecimiento de agua, por las presiones climáticas que existen como: precipitaciones escasas e irregulares, largos períodos de sequía, altos niveles de evapotranspiración que exceden los niveles de lluvia, y la escasa vegetación nativa (FAO, 2008), generando así, que los recursos hídricos subterráneos se encuentren estresados como resultado de la poca o nula recarga en los acuíferos (Méndez, 2017).

Las presiones climáticas, y el crecimiento de la población han inducido a la demanda de grandes cantidades de agua para el desarrollo de actividades socio-económicas. Por lo tanto, la necesidad de buscar otras fuentes alternativas, como el empleo de aguas residuales ante la escasez de agua (WWAP, 2019). En México se producen 13.64 Km³/año de aguas residuales, de los cuales 56% (7.66 Km³/año) son de origen municipal, y el 44% (5.98 Km³/año) de origen industrial (WWAP, 2017). Se ha documentado que las descargas de estos efluentes son los responsables de la contaminación difusa en muchos acuíferos de México.

Debido a esto, en ciudades como San Luis Potosí cuyo crecimiento económico y social está a un ritmo acelerado, presenta problemas para abastecer de suficiente agua y de buena calidad para cubrir las necesidades de los sectores (Ortiz, 2011). En esta región el agua es escasa y no presenta la calidad adecuada para ser utilizada o consumida (Guevara, 2007).

Actualmente la demanda del recurso hídrico en el VSLP ha provocado la formación de un cono de abatimiento, por la sobreexplotación del acuífero (Rojas, 2011). Por lo que, se ha buscado, a través de la Comisión Estatal de Aguas (CEA), diferentes acciones y estrategias para la mitigar el deterioro del acuífero, entre ellas diversificar las fuentes que abastecimiento de agua, así como reusar el agua para las actividades agrícolas (Rojas, 2011).

Sin embargo, las aguas residuales originadas de la actividad industrial, agrícola y municipal; tienen compuestos tóxicos de distinta naturaleza (compuestos orgánicos, metales pesados, microorganismos, etc.), que contaminan los cuerpos de agua superficial y subterráneos (Díaz Rosales, 2010). Esto ha llevado a la necesidad de realizar estudios para monitorear la calidad del agua (Díaz Rosales, 2010).

Este estudio plantea analizar espacial y temporalmente la calidad del agua subterránea en el Valle de San Luis Potosí, para identificar los principales procesos naturales y antropogénicos que afectan su calidad. Por lo que, mediante diagramas hidrogeoquímicos se plantea caracterizar los tipos de agua en el VSLP. Asimismo, mediante el cálculo de índices de calidad del agua (WQI) para consumo humano (DWQI) y para uso agrícola (IWQI), se

plantea identificar espacial y temporalmente la calidad del agua. De igual manera, a través de la aplicación de un ANOVA, se pretende realizar un análisis espacio-temporal para identificar factores que alteran la calidad del agua en el VSLP.

2. JUSTIFICACIÓN

El Valle de San Luis Potosí (VSLP) presenta un clima semiárido y seco, con una evaporación media de 2038 mm/año, mayor que la precipitación (402.6 mm/año). La sobreexplotación en muchos pozos profundos ha limitado el abastecimiento de agua de buena calidad para consumo humano y uso público-urbano (Santacruz De León, 2006).

Asimismo, ante la demanda de grandes cantidades de agua por los diferentes sectores socioeconómicos de la región como el industrial, agrícola y público-urbano, que requieren enormes volúmenes de agua de 9746, 24089, y 84419 Mm³/año, se han buscado alternativas que les permitan satisfacer sus necesidades (CONAGUA, 2018). De acuerdo a INTERAPAS, en el año 2020 se utilizaron aproximadamente 21 Mm³ de agua superficial de las presas: San José, El Peaje, El Potosino y El Realito, ubicadas en las inmediaciones de la zona urbana. Sin embargo, el agua subterránea sigue siendo la principal fuente de abastecimiento, pues tanto sólo en ese año representó más de cuatro veces el consumo de agua superficial.

Por otro lado, el reúso de aguas tratadas para actividades no potables, ha sido otra alternativa ante la escasez de agua en el VSLP, donde se llegan a reutilizar aproximadamente 525 lps para la industria, 120 lps para áreas deportivas, 180 lps para áreas recreativas y 970 lps para la actividad agrícola (Rojas, 2011). Se ha reportado que el uso continuo de aguas residuales para riego agrícola, representa un riesgo de contaminación en el acuífero somero y un riesgo en la salud de población, por el consumo de vegetales con altos niveles de metales pesados (Guevara, 2007).

Por otro lado, los procesos naturales como la precipitación, depositación atmosférica de sales, evapotranspiración, y las interacciones agua-roca/suelo, también han afectado la calidad del agua subterránea en el VSLP. Asimismo, las actividades antropogénicas han alterado espacial y temporalmente su la calidad (Almanza, 2015). Muchos estudios han expuesto el problema de la contaminación del agua subterránea en el VSLP, y han reconocido que se deben realizar más estudios para monitorear la calidad del agua subterránea, e identificar si hay una mejoría, o ha empeorado su la calidad (Estrada, 2013).

Actualmente, no existen estudios espacio-temporales que identifiquen variaciones en la calidad del agua en el VSLP. Por lo tanto, en este trabajo de investigación busca analizar espacial y temporalmente la calidad del agua, para identificar los principales procesos naturales y antropogénicos que alteran la calidad del agua en el acuífero somero y profundo del VSLP, y de esta manera, gestionar de mejor manera la aplicación de los diferentes tipos de agua.

3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

Objetivo general

Analizar espacial y temporalmente la calidad del agua subterránea en el Valle de San Luis Potosí, para identificar los principales procesos naturales y antropogénicos que afectan su calidad.

Objetivos específicos

1. Caracterizar espacialmente los tipos de agua en el acuífero somero y profundo, mediante los diagramas de Durov y Wilcox.
2. Identificar espacial y temporalmente la calidad del agua para uso agrícola y consumo humano, mediante índices de calidad del agua.
3. Realizar un análisis espacio-temporal para identificar los factores que afectan la calidad del agua.

4. HIPÓTESIS

1. El uso de aguas residuales en la región agrícola del VSLP ha afectado los procesos hidrogeoquímicos, y alterado los patrones espaciales y temporales de la calidad del agua subterránea.
2. Las diferentes actividades antropogénicas que se llevan a cabo en el VSLP ha afectado la calidad del agua subterránea al rebasar los LMP en arsénico, flúor, coliformes fecales y nitratos.
3. La aplicación de índices de calidad del agua, diagramas hidrogeoquímicos y el análisis de varianza, permitirán identificar variaciones temporales en la calidad del agua subterránea en el acuífero del VSLP.

5. MARCO FÍSICO

5.1 Zona de estudio

El Valle de San Luís Potosí (VSLP) perteneciente al estado del mismo nombre, está constituido por el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, la mayor parte de los municipios de San Luís Potosí y Cerro de San Pedro y una fracción de los municipios de Mexquitic de Carmona, Ahualulco y Villa de Zaragoza. Se localiza entre los paralelos de 22°28' y 21°54' de latitud norte y los meridianos 101°05' y 100°45' de longitud oeste, con altitudes entre los 1840 y 1910 metros sobre el nivel del mar (msnm) y abarca una superficie de 1980 km² (Figura 1) (Guevara, 2007; CONAGUA, 2018).

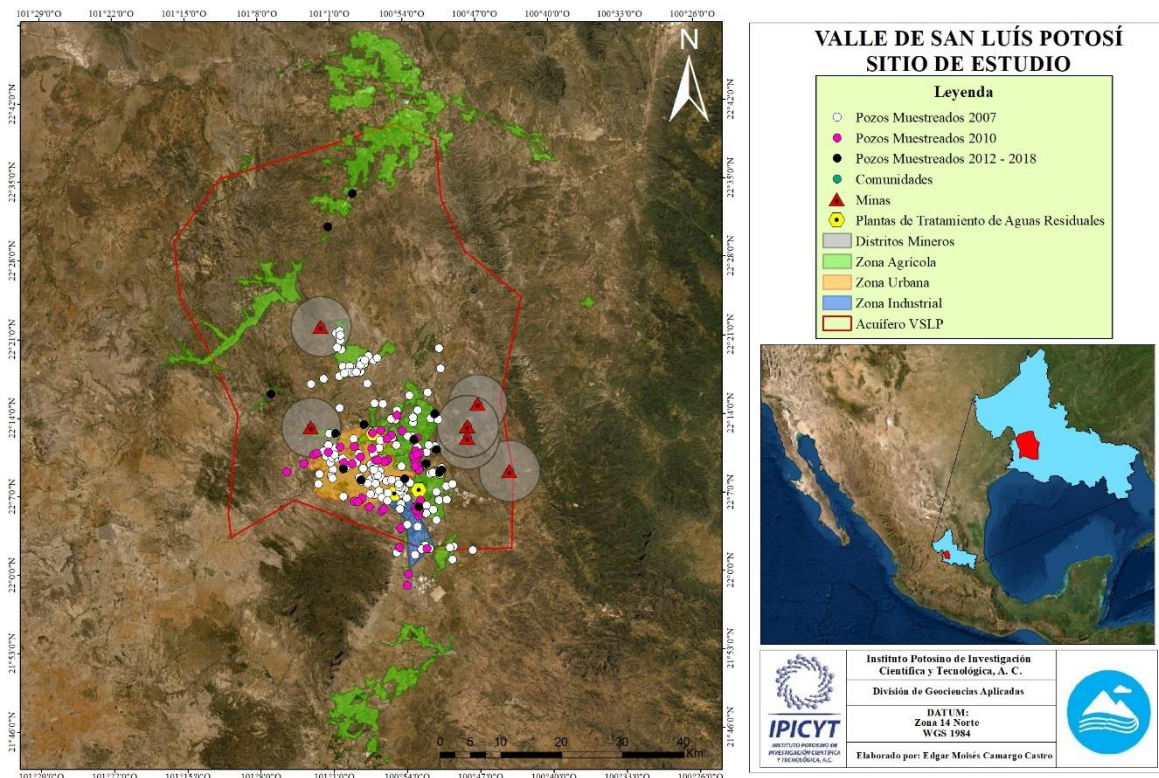


Figura 1. Valle de San Luís Potosí, ubicación pozos muestreados y zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (INEGI, 2016).

El tipo de clima es semiárido y semiseco. Se presenta una temperatura media anual de 17.5 °C, con un rango de temperaturas que va de -9 °C hasta 38°C, así como una humedad relativa de 31%. El VSLP presenta una precipitación media anual de 402.6 mm, una evaporación media anual de 2038.7 mm y una evapotranspiración media anual de 2251 mm (CONAGUA, 2018; Hernández, 2020).

En la zona de estudio, los tipos de suelo presentes son: Leptosol, Durisol, Calcisol, Phaeozem, Vertisol y Cambisol (INEGI, 2009; CONAGUA, 2018). La distribución del uso de suelo en el VSLP ocupa una mayor porción en la zona agrícola de riego (60295 ha), siguiendo la zona urbana (15015 ha) y la zona industrial (3772 ha) presenta la menor área

(López-Álvarez et al., 2013a). En lo que respecta a la vegetación, predominan el matorral y pastizal, el bosque y el mezquital se encuentran en menor proporción (Almanza Tovar, 2015). Se presentan una gran variedad de cultivos en la zona de estudio, siendo los principales: avena forrajera en verde (*Avena sativa*), chile verde (*Capsicum annuum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), lechuga (*Lactuca sativa*) y maíz grano (*Zea mays*) (CONAGUA, 2015; SIAP, 2020).

5.2 Geología regional

El VSLP se origina a partir de una fosa tectónica la cual se fue rellenando por sedimentos aluviales, lacustres y material piroclástico a medida que se iba formando. El basamento rocoso que compone al valle contiene ignimbritas de edad terciaria. Las sierras que limitan al valle tienen rocas de tipo efusivo de edad terciaria y material piroclástico conformado por ignimbritas, tobas y brechas de composición riolítica. Las formaciones que limitan al VSLP son: al norte y al este se encuentra la Sierra Madre Oriental; al oeste la Sierra Madre Occidental, y al sur la Faja Volcánica Transmexicana (Carrillo & Armienta, 1989; CONAGUA, 2018).

El valle se encuentra relleno principalmente de sedimentos conformados por conglomerados, brechas y arenas de tamaño grueso, medio y fino, además de limos y arcillas (Figura 2). Los conglomerados y brechas predominan al este y oeste del valle, los cuales están influenciados por la Sierra de Álvarez (SA) y la Sierra de San Miguelito (SSM) respectivamente (Briseño-Ruiz et al., 2017). El relleno superior del valle presenta material continental granular, compuesto de una capa de arcilla con intercalaciones arenosas de espesores de 90 m y se extiende aproximadamente 300 km² (Carrillo & Armienta, 1989; IPICYT, 2007).

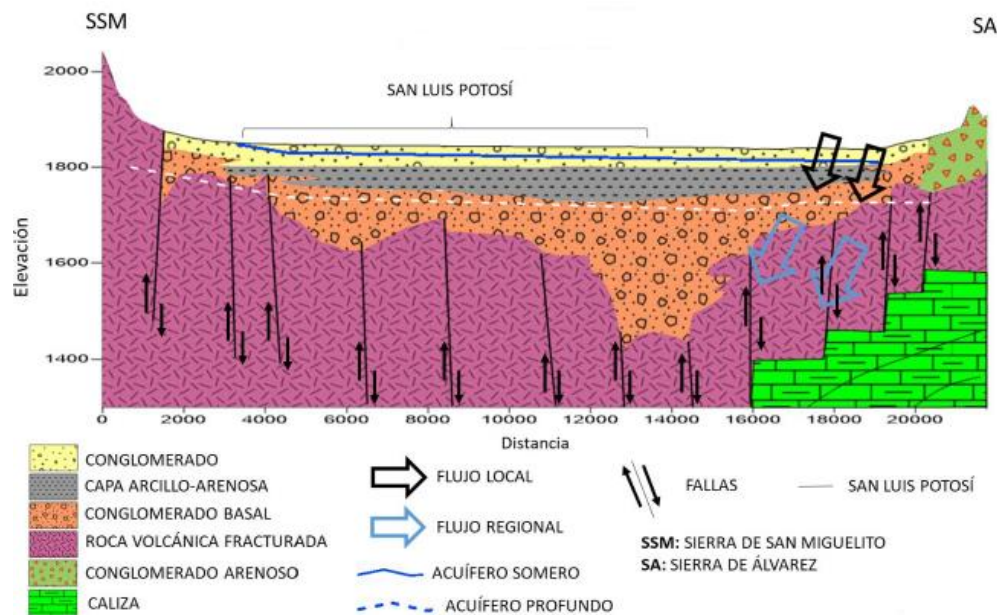


Figura 2. Geología del VSLP, tomado de Hernández (2020).

En la parte central del VSLP, el relleno de sedimentos cuaternarios finos se compone de arenas finas, limos y arcillas, intercalados con conglomerados y arenas gruesas. Sobre estos

depósitos, se localiza la zona urbana de la ciudad de San Luis Potosí (IPICYT, 2007; Briseño-Ruiz et al., 2017).

5.2.1 Litología y Estratigrafía

Ramírez (1986) define a la Litología como la parte de la geología que estudia las rocas, específicamente sus propiedades físicas y químicas, permitiendo así, conocer los efectos que ocasionan sobre el relieve, pues tiene una estrecha elación con los fenómenos que en él se presentan, como la erosión, los movimientos tectónicos, entre otros.

El VSLP cuenta con la presencia de rocas volcánicas, compuestas de riolita y toba riolítica, y en dirección norte se encuentran afloran toba riolítica, basalto y traquita. La mayor parte de los afloramientos de rocas volcánicas presentan fracturamiento intenso ocasionado por la contracción en el proceso de enfriamiento y a causa de los procesos tectónicos de distensión. Sin embargo, grandes volúmenes de rocas volcánicas fueron alteradas en menor grado por estos fenómenos, produciendo un fracturamiento mínimo (Carrizales & Sánchez, 2004).

Hedberg (1980) define la Estratigrafía como parte de la geología encargada de describir las rocas estratificadas: forma, distribución composición litológica, contenido fósil, propiedades geoquímicas y geofísicas; es decir, características, propiedades, la interpretación de su origen y de su historia geológica.

El sitio de estudio presenta dos ambientes geológicos: la cuenca mesozoica del centro de México y la plataforma Valles-San Luis Potosí; en la zona nororiental aflora la Formación La Peña de edad aptiana, constituida de caliza arcillosa y lutita; mientras que, la plataforma Valles-San Luis Potosí presenta la siguiente estratigrafía de formación: Formación El Abra, constituida por caliza proveniente de la plataforma del Albiano Cenomaniano, con un espesor de 1800 m; en el Huroniano, la plataforma cambia sus facies entre la Formación Soyatal, constituida por caliza y lutita alternadas y un espesor de 400 m, y la Formación Tamasopo, que no aflora en el área (Carrizales & Sánchez, 2004; IPICYT, 2007).

El área de estudio se sitúa en una gran provincia geológica de rocas volcánicas, en su mayoría félsicas del Oligoceno y Mioceno, que van desde el eje Neovolcánico en el sur, hasta los Estados Unidos de América en el norte, con una dirección noreste. Del Neogeno cuenta con un conglomerado polimicítico constituido por fragmentos subreordenados y consolidados de arenisca y limo. Al Cuaternario le corresponden gravas y boleos no consolidados: en zonas muy extensas se depositó aluvión con diferente granulometría, producto erosivo de las rocas preexistentes (Carrizales & Sánchez, 2004; IPICYT, 2007).

5.2.1.1 Rocas Sedimentarias

Caliza-Lutita. Descrita por Imlay (1936), la Formación La Peña es un afloramiento de estratos calcáreo-arcilloso ubicado en la zona oriente de la Sierra de Parras, Coahuila, de la que es difícil estimar su espesor. Se le estima una edad del Aptiano superior por su contenido faunístico de áreas vecinas.

Por la alternancia de capas de caliza constante y rítmica originada a partir de lodos calcáreos, se depositó dentro de un ambiente batial abisal, se separan por delgadas laminaciones de material arcilloso de color rojizo a parduzco debido al hierro oxidado y presenta concreciones de hematita (Imlay, 1936).

Caliza. El término Formación del Abra fue descrito por Heim (1926), para un complejo calcáreo de tipo plataforma expuesto en el Cañón del Abra, que se ubica 10 km al oriente de Cd. Valles, S.L.P. Bravo (1971), identificó dos grandes facies: Taninul de origen arrecifal y El Abra, de origen post arrecifal o lagunar.

Está constituida por caliza de peletoides, miliolidos y restos biógenos indeterminados, presenta cuerpos masivos de caliza color gris claro y dolomita de igual color en secciones. Se le estima una edad del Albiano-Cenomaniano por su constitución faunística y se le relaciona con las formaciones Cuesta del Cura y Tamaulipas (Heim, 1926; Bravo, 1971).

MargaLutita. White & González (1946) describieron la Formación Soyatal como una secuencia de caliza y lutita calcárea; posteriormente, Wilson et al., (1955) proponen el nombre de Formación Soyatal, con localidad en el distrito Minero de Soyatal ubicado a 48 km al noreste de Zimapán, aflorando en la sección nororiental.

La secuencia litológica se compone de caliza arcillosa con ocasionales intercalaciones de lutita y con copiosas vetillas de calcita sin direcciones específicas; se presenta como estratos con espesor de 0.4 m. Se le estima una edad del Turoniano por la posición estratigráfica que presenta (White & González, 1946; Wilson et al., 1955).

5.2.1.2 Rocas ígneas intrusivas

Latita. Descrita y asignada como “Latita Portezuelo” por Labarthe-Hernández et al., (1982) para los afloramientos que se encuentran al oriente del poblado Portezuelos y al norte de Santa María del Río. Se localiza en la plataforma Valles-San Luis Potosí y la cuenca mesozoica del centro de México; en la porción central y poniente del municipio.

Corresponde a una roca de color café, compacta, de textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasa y en menor porción cuarzo, con abundantes óxidos de hierro; su espesor es de 504 m y se le estima una edad 30.6 ± 1.5 M.a (Labarthe-Hernández et al., 1982).

Toba Riolítica. Descrita por Labarthe-Hernández et al., (1982) como un paquete de tobas riolíticas y estratificadas, de color crema a amarillo con tonos rojizos, presenta fenocristales compuestos de cuarzo y sanidino, así como una matriz constituida por cenizas.

Corresponde a una roca color café ocre con fragmentos líticos, al microscopio se observan microestructuras piroclásticas con fenocristales alotrimórficos de cuarzo y ortoclasa alterada con minerales arcillosos, también se observan apatito, zircón y vidrio. Aflora en toda la SSM, específicamente al sur del acuífero (Labarthe-Hernández, et al., 1982).

Toba Riolítica-Riolita. Los derrames riolíticos se describieron por Labarthe-Hernández et al., (1982) en la SSM, llamándola “Riolita San Miguelito”.

La riolita presenta un color café con eventuales afloramientos de toba riolítica, de textura porfídica con fenocristales de cuarzo y feldespatos, su espesor se estima de 127 m pues varía con relación a la topografía original en la que se depositaron, sin embargo, se puede llegar a medir espesores hasta de 470 m en el área sur (Labarthe-Hernández et al., 1982).

Se ubica en ambientes paleogeográficos de la plataforma Valles-San Luis Potosí, y la cuenca mesozoica del centro de México, en el cerro El Potosí y en la SSM (Labarthe-Hernández et al., 1982).

Ignimbrita. Se encuentran diferentes tipos de ignimbritas en esta unidad, Labarthe-Hernández & Jiménez-López, (1993) describieron Panalillo, Peaje, Bolas, Chiquihuitillo, Aqualulco, Cantera y Toba Lítoca.

Se encuentra en la cuenca mesozoica del centro de México y en la plataforma Valles-San Luis Potosí de forma expuesta, se distribuye ampliamente en los alrededores del poblado Escalerillas (Labarthe-Hernández & Jiménez-López, 1993).

La toba se compone por flujos de ceniza bien formada de color crema a amarillo, compacta, de textura porfirítica, con fragmentos subordenados de rocas volcánicas. Su espesor se considera en promedio de 200 m, pues varía debido a que las emisiones rellenaron fosas y depresiones. Se le estima una edad de 29.0 ± 1.5 M.a. (Labarthe-Hernández & Jiménez-López, 1993).

La unidad se compone por un paquete de rocas ígneas extrusivas con estructura fluidal, siendo de gran importancia económica, ya que constituye la roca donde se ubican yacimientos de Zeolita (Labarthe-Hernández & Jiménez-López, 1993).

Toba Basáltica. Roca piroclástica de composición basáltica de color café amarillento de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, esta unidad se encuentra cubierta por depósitos de talud y relleno aluvial. Aflora en los alrededores de la ranchería La Mantequilla (Carrizales & Sánchez, 2004).

Conglomerado Polimíctico. Durante el periodo Pliocuaternario, se depositaron rocas sedimentarias continentales en un conjunto de fosas tectónicas convertidas en lagos, originando conglomerados, aglomerados, areniscas, areniscas calcáreas y gravas. Su afloramiento se extiende por la Mesa de los Conejos, El Aguaje, La Pila, Jassos y en la Delegación de Bocas (Carrizales & Sánchez, 2004).

Aluvi3n. El periodo Cuaternario se caracteriza por amplios dep3sitos de aluvi3n y suelos residuales, que cubren extensos valles y 3reas aleda3as a cauces de arroyos y r3os (Carrizales & S3nchez, 2004).

5.3 Hidrología

El VSLP pertenece a la región hidrológico-administrativa VII, correspondiente a las Cuencas Centrales del Norte y a la región hidrológica No. 37 “El Salado” (Hergt, et al., 2009).

La cuenca forma parte de la provincia fisiográfica denominada Mesa Central, y de forma local, está limitada por la SSM al oeste y suroeste, por la SA al este, al norte por cerros denominados Alto la Melada (Contreras & Galindo, 2008). En la zona centro, sur, suroeste y sureste del VSLP, corren los ríos Paisano, Santiago, Mexquitic y los arroyos San Antonio, Calabacitas, La Virgen, Paraíso y Portezuelo, que se pierden en el valle; en tiempos de lluvia, estos últimos forman las lagunas Santa Rita y Laguna Seca (Martínez, 1998; Contreras & Galindo, 2008; Hernández, 2020). El VSLP cuenta con la presencia de cuerpos de agua superficiales intermitentes, en la zona oeste se encuentran los ríos Santiago y Española y el arroyo Paisano, mientras que, al este se localiza el río San Pedro y los arroyos San Antonio y Portezuelos (Contreras & Galindo, 2008; Hernández, 2020).

En la cuenca hidrológica donde se localiza el sitio de estudio, se cuenta con la presencia de escurrimientos intermitentes en las zonas bajas, que provocan inundaciones en los periodos de alta precipitación. Para captar los escurrimientos provenientes de la SSM, se construyeron las presas de San José, que capta el agua proveniente del Río Santiago y abastece la ciudad, que se forma de diferentes arroyos ubicados en pequeñas sierras al oeste de la ciudad de San Luis Potosí; El Peaje, que se alimenta de las corrientes del arroyo Grande y Las Cabras que se ubican en el Cerro del Hormiguero y abastece la ciudad; El Potosino, que fue construida para controlar las inundaciones de avenidas, operando de forma que la descarga de la presa San José, no supere la capacidad del Río Santiago al atravesar por la zona metropolitana de San Luis Potosí – Soledad de Graciano Sánchez; y Cañada del Lobo, cuya captación proviene de las corrientes Maguey Blanco y Cañada de Lobo, y controla la corriente proveniente del Río Española para evitar inundaciones en avenidas (Contreras & Galindo, 2008; Hergt, et al., 2009; Estrada, 2013).

5.3.1 Hidrología subterránea

En la zona de estudio, se han identificado dos acuíferos denominados como somero (colgado) y profundo (volcánico fracturado) (Figura 3), se encuentran separados por una capa de arcilla y arena fina compacta que presenta baja conductividad hidráulica, por lo que no presentan conexión hidráulica (Carrillo & Armenta, 1989; Cardona et al., 1993; Contreras & Galindo, 2008; López-Álvarez et al., 2013a; CONAGUA, 2018; Hernández, 2020).

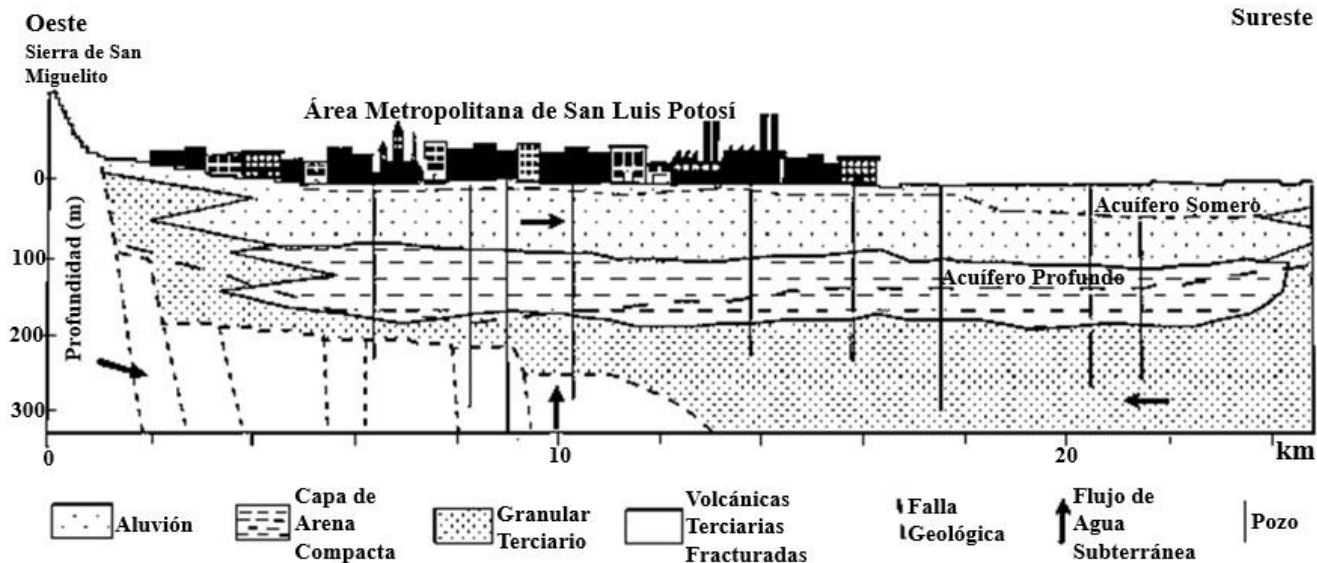


Figura 3. Distribución de los acuíferos de la zona de estudio, tomado de Martínez et al. (2010).

Acuífero somero

El acuífero somero presenta una profundidad de aproximadamente 40 m y una extensión correspondiente a la zona urbana. Es un estrato de baja conductividad hidráulica y los materiales que lo componen varían texturalmente: hacia la SSM se presentan conglomerados de matriz areno arcillosa y hacia el noreste del valle, el material se afina, predominando limos, arenas y gravas. La dirección de flujo del acuífero somero va de suroeste a noreste (Figura 3) (López-Álvarez et al., 2013a; CONAGUA, 2018; Hernández, 2020).

La recarga del acuífero somero depende principalmente de la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, vegetación, presencia de capa de suelo, pendiente de terreno, permeabilidad de la roca, recarga inducida de tipo difusa por fugas de agua potable y drenaje y por retornos de riego, presentando un comportamiento muy dinámico. La principal recarga natural se lleva a cabo en la zona este del VSLP y al norte de la SSM en dirección al Valle de Escalerillas (Figura 3) (López-Álvarez et al., 2013a; Hernández, 2020).

La poca profundidad del acuífero somero y el uso de aguas negras municipales que no son tratadas para riego de los cultivos, ha generado la presencia de contaminantes en el agua subterránea, entre los que se encuentran metales pesados, compuestos orgánicos, inorgánicos y bacteriológicos (López-Álvarez et al., 2013a).

Acuífero profundo

El acuífero profundo se conforma de rocas volcánicas fracturadas, su distribución es irregular por la presencia de fosas y pilares (López-Álvarez et al., 2013a). Este acuífero limita con la SSM, donde la recarga es mínima por la baja permeabilidad de las rocas que la constituyen, y la SA tiene una capacidad reducida para transmitir y almacenar agua por la

presencia de roca caliza con alto contenido de arcilla, actuando como barrera hidrológica debido a su baja permeabilidad, lo que limita su recarga a través de esta sierra (INEGI, 2002, CONAGUA, 2018).

En la mayor parte del valle, el acuífero profundo es de tipo confinado, y los pozos presentes en este acuífero tienen profundidades de 350 a 450 m; sin embargo, se presentan algunos con profundidades mayores (800 a 1000 m). Algunos pozos de 100 a 300 m de profundidad, atraviesan tobas e ignimbritas con interestratificaciones de relleno granular, o alcanzan las rocas volcánicas que se encuentran bajo del relleno de la fosa tectónica (López-Álvarez et al., 2013a; CONAGUA, 2018; Hernández, 2020).

6. MARCO TEÓRICO

Las fuentes de agua dulce se dividen en superficiales, que incluyen ríos, lagos, lagunas, presas y arroyos; y en subterráneas, que forman los acuíferos (INEGI, 1997; CONAGUA, 2016). El agua es un componente fundamental de los ecosistemas y es un recurso esencial para el desarrollo de las actividades socio-económicas. En México la disponibilidad anual de agua dulce es de 5000 m³ aproximadamente (INEGI, 1997; CONAGUA, 2007).

En las siguientes secciones se abordarán generalidades acerca del agua subterránea; la calidad del agua y su evolución; los estándares y la normatividad de la calidad del agua para consumo humano y uso agrícola; metodologías para determinar procesos hidrogeoquímicos y tipos de agua; métodos para el cálculo del índice de calidad del agua, así como el uso de la estadística en el análisis de patrones temporales y variaciones en la calidad del agua.

6.1 Agua Subterránea

En México existen 459 acuíferos, los cuales reciben una recarga de origen natural de 48 km³ anuales, y una recarga inducida por el riego agrícola, de aproximadamente 15 km³. Mientras que, la extracción promedio anual de los acuíferos es de 24 km³ CONAGUA, 2007).

El acuífero de San Luis Potosí, se localiza en la parte suroeste del estado de San Luis Potosí. La presencia de rocas volcánicas de edad terciaria y del material de relleno que se observan en el Valle, han permitido la formación de una unidad hidrogeológica heterogénea y anisótropa, en donde se han identificado dos acuíferos principales separados por una capa de arena y arcilla compactada (CONAGUA, 2018).

6.2 Calidad del Agua

La calidad del agua no es un término absoluto, depende principalmente del uso o actividad para el que se va a destinar: calidad del agua para consumo humano, calidad del agua para riego, etc. (Warren, 1971).

6.2.1 Calidad del agua superficial

La calidad del agua superficial se evalúa comúnmente usando tres parámetros: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST) (CONAGUA, 2016). Los dos primeros parámetros identifican la materia orgánica biodegradable, y la materia orgánica no biodegradable respectivamente. Si la concentración de estos parámetros es alta, el contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua será bajo, alterando la flora y fauna acuática en los cuerpos de agua (CONAGUA, 2007). Los SST indican la cantidad de sólidos sedimentables, y de materia orgánica en suspensión que provienen de las aguas residuales y por la erosión del suelo. Si la cantidad de SST es alta en los cuerpos de agua, podría generar turbiedad y reducir la infiltración de la luz solar, afectando la vida acuática (CONAGUA, 2007).

Este conjunto de parámetros permite determinar los factores que alteran la calidad del agua superficial, y los procesos que la originan, ya sean naturales o antropogénicos (CONAGUA, 2016).

6.2.2 Calidad del agua subterránea

La calidad del agua subterránea está sujeta a muchos factores como la disolución natural de sales en las capas profundas del subsuelo, las interacciones del agua subterránea con la geología regional que provocan procesos de intercambio iónico, la precipitación, el clima, las recargas, etc. (Cardona et al., 2010). La determinación de los sólidos disueltos totales (SDT) es importante para evaluar la salinidad del agua subterránea. De acuerdo con la CONAGUA (2007), se consideran aguas salinas cuando presentan concentraciones de SDT >10000 mg/L, y ligeramente salinas cuando tienen concentraciones de SDT de 1000 a 2000 mg/L.

Sin embargo, la calidad del agua en los acuíferos puede verse alterada por actividades antropogénicas como la infiltración de las aguas residuales urbanas o aguas utilizadas para el riego agrícola con altas concentraciones de sales, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc. (Cardona et al., 2010).

6.3 Evolución de la calidad del agua subterránea

Los procesos de contaminación naturales y antropogénicos, presentan cambios en espacio y en tiempo, provocando variaciones en la calidad del agua, y en los componentes geoquímicos del agua (Machiwal & Jha, 2015; Martínez et al., 2016).

6.3.1 Variación espacial y temporal

La calidad del agua está controlada espacialmente por la geología regional y los procesos naturales que suceden en el acuífero: interacciones agua-roca, propiedades y características del suelo, litología del acuífero, topografía, mineralogía de las cuencas hidrológicas (Rajesh et al., 2012; Zhang et al., 2020). Estos factores pueden combinarse para crear varios tipos de agua con diferente composición química y niveles de concentración (Benhamiche et al., 2016).

Los cambios en las concentraciones de contaminantes también dependen de la precipitación, el flujo superficial directo, el flujo subterráneo y el drenaje en los acuíferos, y de los procesos fluviales (dilución, liberación de metales y adsorción de sedimentos) (Shrestha et al., 2008; Qadir et al., 2008), así como los procesos hidrogeoquímicos que ocurren en el acuífero como la meteorización, la erosión del suelo, la circulación a través del medio geológico, el transporte de sedimentos, las interacciones agua-roca y procesos como el intercambio iónico, provocan una disminución en la calidad del agua.

Por otro lado, la calidad del agua subterránea está relacionada con el cambio de uso de suelo, pues han alterado los ciclos hidrológicos, principalmente en áreas donde antes se captaba, conducía, almacenaba, y en donde se proveía el agua (López-Álvarez et al., 2013a). Los

cambios de uso de suelo son debido al crecimiento de la población, y el aumento de las actividades industriales que demandan grandes volúmenes de agua.

Los cambios de uso de suelo a urbano, agrícola e industrial alteran gravemente la calidad del agua, ya que generan descargas continuas de aguas residuales con altas concentraciones de contaminantes tóxicos que se infiltran y alcanzan los cuerpos de agua subterráneos (Shrestha et al., 2008; Naik et al., 2008). Asimismo, el riego de cultivos con aguas residuales, provoca la salinización y contaminación en los acuíferos (Hergt et al., 2009). Igualmente, la creciente explotación de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca es responsable de la gran parte de la carga de contaminantes que llega al agua que se consume (Fatema et al., 2015).

Es importante mencionar que las variaciones estacionales, también aportan cambios en la calidad del agua. El clima, la precipitación, la escorrentía superficial, el flujo intermedio, el flujo de agua subterránea, el bombeo de entrada y salida, tienen un fuerte efecto en la composición química del agua, y en la concentración de dichos elementos (Fatema et al., 2015).

6.4 Normatividad de la calidad del agua

Las organizaciones e instituciones gubernamentales que gestionan los recursos hídricos, han implementado diferentes estándares y normas para evaluar la calidad del agua. En esta sección se clasificará las normas y estándares, de acuerdo con uso o aplicación al que está destinada el agua. Se describirán los LMP que se debe de cumplir el agua apta para consumo humano (NOM-127-SSA-1994, OMS, EPA), y para uso agrícola (FAO).

6.4.1 Normatividad del agua para consumo humano

La OMS estableció guías para determinar la calidad del agua potable, permitiendo el desarrollo y la aplicación de estrategias para garantizar la potabilidad del agua, a través de la identificación y control de compuestos peligrosos a la salud. Las guías de la OMS presentan los LMP de concentraciones para cada componente del agua, con el objetivo de garantizar el consumo de agua de buena calidad (OMS, 2011).

La EPA, estableció dos categorías de estándares para el agua potable: Los estándares primarios, conocidos como nivel máximo del contaminante (NMC), limitan la cantidad de cada contaminante que pueden dañar la salud al consumirse y que está en el agua potable.

Los estándares secundarios, conocidos como nivel máximo del contaminante secundario (NMCS), definen los contaminantes que podrían causar alguna molestia (mal sabor, mal olor, color inadecuado, corrosión, etc.), pero que no dañan la salud. Aunque no es obligatorio su cumplimiento, proveen los lineamientos para las instituciones gubernamentales busquen proveer agua de mejor calidad (Dozier & McFarland, 2006).

En México, la calidad del agua potable debe cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, la cual establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que

debe someterse el agua para su uso y consumo humano potabilización. La buena calidad del agua para consumo humano, es fundamental, tanto para prevenir como para evitar la transmisión de enfermedades. En la NOM se establecen límites permisibles para sus características microbiológicas, físicas, químicas, organolépticas y radioactivas, para asegurar y preservar la calidad del agua de los consumidores.

LMP de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos

De acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, la OMS y la EPA, los indicadores de contaminación microbiológica nocivas para la salud humana, son los coliformes totales y coliformes fecales, y deben estar ausentes después de la desinfección.

Se reporta en NMP/100 ml (número más probable por cada 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable; o en UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por cada 100 ml), si se aplica la técnica de filtración por membrana.

La mayoría de iones en el agua para consumo, son potencialmente peligrosos para la salud, después de una exposición crónica. Sin embargo, la calidad del agua presenta cambios progresivos, excepto en los casos donde existen vertidos o infiltración esporádica al agua subterránea (OMS, 2011).

Los parámetros químicos son todos aquellos elementos que pueden causar efectos adversos a la salud humana, generalmente se expresan en mg/L, excepto si se indica otra unidad. Por ejemplo, el arsénico es un elemento que se ha encontrado en grandes concentraciones por arriba de los límites permisibles en las fuentes de agua subterránea. Este elemento se encuentra ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre, y los altos niveles se deben a la disolución de minerales. La concentración de arsénico en el agua para consumo, no debe sobrepasar los 0.01 mg/L (OMS); mientras que, la NOM-127-SSA1-1994 establece los LMP en 0.005 mg/L.

Por otro lado, el flúor en la corteza terrestre es de aproximadamente 0.3 g/kg y se encuentra en forma de fluoruros en diversos minerales. En fuentes subterráneas la presencia de flúor es por la disolución de rocas, y en el consumo de agua no debe exceder concentraciones mayores a 1.5 mg/L, coincidiendo con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994.

Otro elemento muy común en el agua es el potasio, procede de la meteorización de feldspatos y a veces de la disolución de evaporitas. El potasio puede ser fijado irreversiblemente durante la formación de arcillas y de adsorción en las superficies minerales con alta capacidad de intercambio iónico; por lo tanto, su concentración en aguas subterráneas es menor que la del sodio. Altas concentraciones de potasio, indican contaminación por vertido de aguas superficiales (OMS, 2011). De acuerdo con la OMS, las concentraciones de potasio en el agua de consumo, no deben exceder de 10 mg/L; cabe mencionar que, la NOM-127-SSA1-1994, no establece un valor de concentración.

6.4.2 Normatividad del agua para uso agrícola

Preservar la calidad del agua de riego, es fundamental para la producción, la calidad y el rendimiento de los cultivos en la agricultura (Ayers & Westcot, 1994). han propuesto guías para una gestión adecuada del recurso destinado a las actividades agrícolas.

La FAO ha propuesto guías que definen si el agua es apropiada, de acuerdo al tipo de cultivo, considerando principalmente: la salinidad, la toxicidad de iones específicos, los niveles de infiltración y el exceso o deficiencia de nutrientes (Ayers & Westcot, 1994).

El exceso de sales en el suelo o en el agua reduce la disponibilidad de agua y de nutrientes en la planta, afectando su rendimiento. La baja infiltración debido a altos contenidos de sodio y/o calcio en el agua, provocan su acumulación en el suelo y evitando que el cultivo pueda absorber otros nutrientes o elementos. El exceso de iones específicos como sodio, cloro, boro en el agua, causan daño al cultivo y reducen su rendimiento, así como el exceso o deficiencia de nutrientes (cobre, zinc, cromo y níquel).

Por otro lado, la Unión Europea establece límites de parámetros que deben cumplirse en agua residual para uso agrícola. Entre estos parámetros se encuentra el pH, RAS, carbonatos y bicarbonatos en relación con la concentración de Ca y Mg, elementos traza, y cloro libre; clasificando de esta manera los cultivos de acuerdo con la tolerancia que tienen respecto a cada componente químico (Wallace & Batchelor, 1997; ANZECC & ARMCANZ, 2000; Lazarova & Bahri, 2004).

En México no existe una norma específica para definir la calidad del agua en el riego agrícola, se ha tomado como referencia la norma (NOM-001-SEMARNAT-1996) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Si bien, las normativas de la UE y de México se limitan a evaluar los niveles de estos elementos en el agua residual que se aplicará en el riego agrícola, las guías de la FAO, se enfocan a parámetros que se encuentran de forma natural en el agua subterránea.

6.5 Metodologías para definir tipos de agua y los procesos hidrogeoquímicos

Los procesos hidrogeoquímicos están influenciados por factores como: geogénicos (interacción agua-roca, evaporación y precipitación) y antropogénicos (actividades agrícolas, industriales y domésticas); por lo que resulta importante determinar su evolución (Sridhar et al., 2013; Sajil, 2019).

Los diagramas hidrogeoquímicos permiten clasificar los tipos de agua, conocer los procesos hidrogeoquímicos, así como la evolución de la composición del agua en los acuíferos. En el siguiente apartado se presenta una descripción de los diagramas hidrogeoquímicos de Durov y Wilcox.

6.5.1 Diagrama de Durov

Fue propuesto por Durov (1948), es una variación de los diagramas de Piper, tiene la ventaja de mostrar los posibles procesos geoquímicos que podrían afectar el agua como intercambio iónico, disolución simple y mezcla de aguas de diferentes calidades (Figura 4) (Singhal & Gupta, 2010).

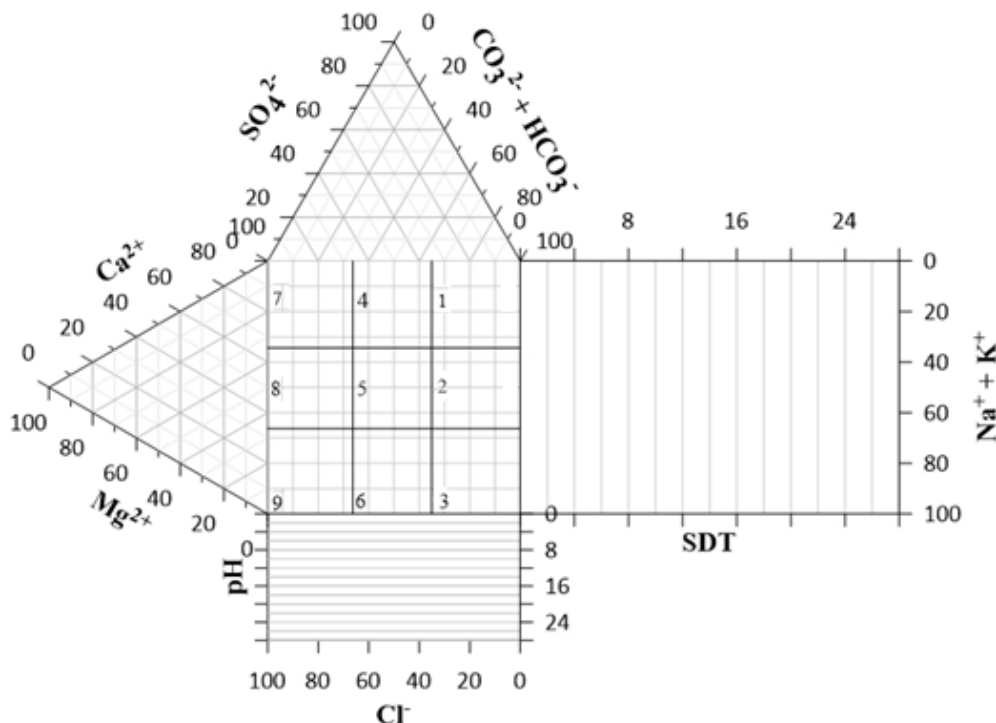


Figura 4. Representación del diagrama extendido de Durov.

Es un diagrama compuesto de 2 diagramas ternarios donde los porcentajes de meq/L de los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) se muestran frente a los de los aniones (HCO_3^- , SO_4^{2-} , y Cl^-) que establecen al 100 por ciento. Los puntos correspondientes a los datos en los dos triángulos base, forman una gráfica central binaria rectangular de las concentraciones totales de aniones y cationes, se proyectan en la gráfica central que representa el carácter químico general de la muestra, y que se encuentra perpendicular al tercer eje en cada triángulo (Kozak & Tartanus, 2017).

La concentración de cualquier otro parámetro (SDT, CE, pH, etc.), también se puede mostrar extendiendo el punto desde el campo cuadrado central hasta uno o dos campos escalonados adyacentes (Singhal & Gupta, 2010).

6.5.2 Diagrama de Wilcox

Fue propuesto por Wilcox (1955), es un método gráfico que permite determinar la calidad del agua de riego en la agricultura. El diagrama de Wilcox se basa en dos parámetros: relación absorción sodio (RAS) y conductividad eléctrica (CE) (Figura 5).

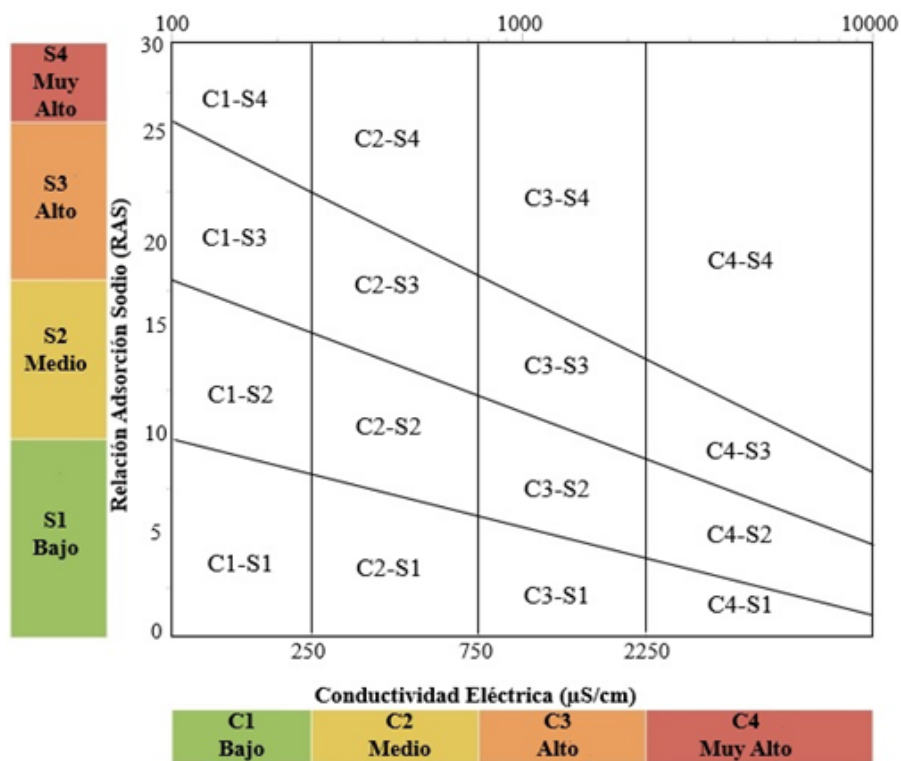


Figura 5. Representación del diagrama de Wilcox.

La relación de absorción sodio (RAS) es la relación entre los iones de sodio de una muestra de agua y los iones de calcio y magnesio (Sridhar et al., 2013), y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \dots \quad \text{Ecuación (1)}$$

De acuerdo al diagrama de Wilcox, los valores de RAS se clasifican en cuatro grupos: valores menores a 10 (bajo y bueno), valores entre 11-18 (moderado), valores entre 19-26 (alto) y valores superiores a 27 (muy alto) (Figura 5). Otros autores interpretan los niveles de RAS afirmando que un suelo con una cantidad adecuada de sodio presenta una RAS menor a cuatro, un suelo con una disminución de la permeabilidad y cambios de textura, tiene una RAS mayor a ocho, mientras que un suelo sódico presenta una RAS mayor a 13. (Sridhar et al., 2013; Almodaresi et al., 2019).

Por otro lado, según el diagrama Wilcox los valores de CE se clasifican en cuatro grupos: valores entre 100-250 indican concentraciones de CE bajas, valores entre 251-750 indican concentraciones de CE moderadas, valores entre 751-2250 indican concentraciones de CE alta, mientras que valores superiores a 2251 indican concentraciones de CE es muy altas (Figura 5).

Las concentraciones de sodio son importantes para determinar la calidad del agua de riego, puesto que altos niveles de sodio reducen la permeabilidad de los suelos y por lo tanto limita la absorción de nutrientes en los cultivos (Sridhar et al., 2013).

6.6 Calidad del agua espacial

“Calidad del agua” es un término que se utiliza para expresar que tan idónea es el agua para los usos o procesos a los que está destinada. El uso particular del agua debe cumplir ciertos requisitos en sus características físicoquímicas y microbiológicas (Enderlein et al., 1997).

La calidad del agua se ve afectada por una amplia cantidad de factores naturales y humanos, siendo las más importantes de las influencias naturales: la geología, la hidrología y el clima, ya que afectan la cantidad y calidad del agua disponible; mientras que, los efectos de las actividades humanas en la calidad del agua son generalizados y variados en la medida que alteran o restringen el uso del agua (Enderlein et al., 1997; Singhal & Gupta, 2010).

6.6.1 Índices de Calidad del Agua

Los Índices de Calidad del Agua (WQI, por sus siglas en inglés), son herramientas de análisis de la calidad del agua en términos de potabilidad y de gestión para otros usos (Khanoranga, 2019).

Es una escala de clasificación del agua, que se basa en la relación de diferentes parámetros físicoquímicos y microbiológicos a una escala común y se combinan para formar un solo dígito. El objetivo del WQI es reducir una gran cantidad de datos de calidad del agua de manera que sea comprensible e informativa (Zahedi, 2017; Khanoranga, 2019).

La escala para clasificar la idoneidad del agua, varía de acuerdo a la metodología empleada, ya que, algunas escalas representan el valor más alto (100%) como de excelente calidad (Brown et al., 1970; Dunnette, 1979), mientras que otros lo manejan en sentido inverso, (menores a 50%) como de excelente calidad (Meireles et al., 2010).

6.6.2 Índice de Calidad del Agua para Consumo Humano

De acuerdo a la OMS (2011), el WQI permite aclarar el efecto producido por la combinación de cada parámetro, así como todos los parámetros cualitativos sobre la calidad del agua potable. Por lo que, el WQI es una herramienta confiable para evaluar la calidad del agua para consumo humano en los pozos (Brown et al., 1970).

El primer WQI para consumo humano fue propuesto por Horton (1965), utiliza diez variables más comunes para determinar la calidad del agua: oxígeno disuelto (OD), pH, coliformes, CE, alcalinidad, cloruros, etc., el cual se ha aplicado ampliamente en países. Posteriormente, un índice similar, fue desarrollado por Brown (1970), basado en ponderaciones de parámetros individuales. Los índices desarrollados por Horton y Brown han sido tomados como base para modificar y desarrollar otros WQI (Tyagi et al., 2013).

Existen una gran cantidad de métodos para calcular el WQI, formulados por organizaciones nacionales e internacionales, con el objetivo de evaluar la calidad del agua, basándose en el número y los tipos de variables de parámetros de calidad del agua que se comparan con los estándares respectivos de una región en particular (Tyagi et al., 2013). A continuación, se presentan algunos de ellos.

El índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSFWQI, por sus siglas en inglés) se desarrolló poniendo énfasis en la selección de parámetros, y desarrollando una escala común y asignando pesos. El método se basa en nueve parámetros (temperatura, pH, turbidez, OD, DBO, DQO, fosfatos totales, nitratos y sólidos totales). Estos datos se registran y se transfieren a una curva de ponderación, donde se obtiene el valor de calidad del agua, el cual se categoriza según una escala preestablecida (Kumar & Alappat, 2009).

El índice de calidad del agua del Consejo de Ministros de Medio Ambiente de Canadá (CCME WQI, por sus siglas en inglés), es un método consistente que evalúa la calidad del agua superficial para la protección de la vida acuática (Dunnette, 1979). La selección de parámetros utilizados pueden variar de una estación a otra y según el protocolo de muestreo, se requieren al menos cuatro parámetros muestreados al menos cuatro veces (Dinius, 1987).

El índice de calidad de agua de Oregon (OWQI, por sus siglas en inglés) creado en 1979 y modificado en 2001, propone una puntuación para evaluar la calidad general del agua del arroyo de Oregon y su aplicación a otras regiones geográficas que combina ocho variables de calidad del agua en un solo valor (Balan et al., 2012). Los parámetros que considera este método son: temperatura, OD, DBO, pH, nitrógeno amoniacal y nitrato, fósforo total, sólidos totales y coliformes fecales. Este método expresa la calidad del agua y las tendencias para la evaluación del estado de la calidad del agua ordenada por la ley (Chowdhury et al., 2012).

El índice de calidad del agua para consumo humano (DWQI por sus siglas en inglés) fue propuesto por Brown et al., (1970). El método considera un total de 38 parámetros para su cálculo (OD, DBO, DQO, sólidos disueltos, color, pH, dureza, alcalinidad, acidez, etc.). Este DWQI se adapta a las necesidades en su determinación y la disponibilidad de los datos, por lo que ha sido modificado a través de los años, utilizando una menor cantidad de parámetros.

6.6.3 Índice de Calidad del Agua para Riego Agrícola

La aplicación de WQI's para evaluar la calidad del agua para riego se basan en parámetros de salinidad (SDT, CE, RAS, etc.). Estos parámetros pueden afectar la absorción de agua y otros nutrientes por los cultivos; además afectan el suelo por el intercambio de cationes, alterando su permeabilidad y sus características de drenaje y las concentraciones de algunos iones específicos como boro, selenio, cadmio, etc., que son tóxicos para el crecimiento de las plantas, cuando rebasan ciertos niveles (Singhal & Gupta, 2010).

Además de las características químicas del agua utilizada, otros factores que afectan la idoneidad del agua para riego son las características del suelo, tipo de cultivo, etapa de crecimiento, clima, el método de riego y las características de drenaje del suelo, etc. (Singhal

& Gupta, 2010). Los WQI que evalúan la calidad del agua para riego, buscando satisfacer necesidades específicas, ajustando sus valores de acuerdo a las características antes mencionadas.

Sin embargo, considerar estos parámetros de calidad para el agua de riego y cumplir los estándares recomendados, no se siempre se lleva a cabo, ya que, en ausencia de agua de buena calidad requerida, se emplea agua de mala calidad como el agua residual (Singhal & Gupta, 2010).

También se han empleado otros indicadores para evaluar la calidad del agua de riego como la RAS, que indica el peligro de alcalinidad del agua y depende de las concentraciones absolutas y relativas de cationes (Singhal & Gupta, 2010); el Porcentaje de Sodio Soluble (PSS), que evalúa el riesgo producido por el sodio ya que, altos niveles afectan la permeabilidad del suelo, limitando la circulación del aire y agua (Saleh. et al., 1999; Lingaswamy & Saxena, 2015); el Carbonato de Sodio Residual (CSR), que predice la tendencia de calcio y magnesio a precipitar en el suelo cuando se riega con aguas altamente carbonatadas e indica la peligrosidad del sodio cuando reaccionan los cationes calcio y magnesio con los aniones carbonato y bicarbonato (García-Serna et al., 1988); la CE, indica el total de sales disueltas en el agua y es el indicador que se usa para determinar el daño producido por la salinidad (Vincent et al., 2006), ya que la presencia excesiva de sales impide el crecimiento de cultivos al disminuir la cantidad de agua disponible para ser absorbida (Bhattacharya et al., 2012); el Índice de Permeabilidad (IP), que indica la afectación de la permeabilidad del suelo por las altas concentraciones de sales que puede contener el agua de riego (Lingaswamy & Saxena, 2015); la Salinidad Potencial (SP), que permite estimar el peligro que generan las sales cuando el contenido de humedad en el suelo es bajo (Balmaseda et al., 2006) y la Salinidad Efectiva (SE), ya que, la SP, que estima el peligro de salinización, considerando las sales solubles del agua de riego que pasan a formar parte del agua del suelo (Balmaseda et al., 2006).

Los índices de calidad del agua para riego se han venido modificando, a través de los años y según el lugar donde es aplicado, generalmente se modifica total de parámetros que toman en cuenta, así como las fórmulas que se aplican.

Dinius (1987), modificó el índice propuesto por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, por sus siglas en inglés), incluyó nueve parámetros, rangos y recomendaciones de acuerdo al uso del agua. Además, este índice considera cinco usos para el agua: consumo humano, agrícola, recreativo, pesca y vida acuática e industrial, y se basa en la calidad del agua para condiciones y ríos de Estados Unidos (Dinius, 1987).

El índice de calidad del agua para riego (IWQI por sus siglas en inglés) fue propuesto por Meireles et al., (2010), se usa para validar la calidad del agua destinada a la agricultura, ya que, no hay índices que dispongan de una clasificación que considere la interacción de salinidad y sodicidad del suelo con el riesgo de toxicidad; este índice expresa las posibles alteraciones en la calidad del agua para riego y facilita la evaluación y mitigación de los problemas ocasionados en el suelo y los cultivos irrigados (Meireles et al., 2010).

6.7 Análisis de Varianzas ANOVA

De acuerdo con Rodríguez & Mora (2001), Dagnino (2014), y Ofungwu (2014), el análisis de varianza (ANOVA) es una técnica estadística de gran utilidad y ductilidad, cuando:

- Existen más de tres grupos de datos o poblaciones que necesitan ser comparados.
- Hay mediciones repetidas en más de dos ocasiones.
- Existen dos o más grupos en quienes se hacen mediciones repetidas en dos ocasiones.
- Los sujetos pueden variar en una o más características que afectan el resultado y se necesita ajustar su efecto.
- Se desea analizar simultáneamente el efecto de dos o más tratamientos diferentes.
- Se quiere ver el efecto de cada uno por separado y su posible interacción.

El ANOVA permite determinar si existen diferencias significativas entre las medias o medianas de las poblaciones, o si pertenecen a la misma población (Ofungwu, 2014). Un método gráfico que permite evaluar el cumplimiento de la igualdad de varianza, es construir diagramas de caja de los datos, un patrón simétrico sugiere una distribución simétrica y normal, mientras que, la similitud en el fondo del cuadro central sugiere una igualdad de varianza (Ofungwu, 2014).

El análisis de varianza ANOVA, presenta una gran cantidad de aplicaciones en las diferentes ramas de la ciencia, como es, por ejemplo: en los estudios geológicos para la identificar las similitudes entre rocas de diferentes periodos de una era en específica (Armstrong-Altrin et al., 2013); en estudios hidrogeoquímicos para comprobar las diferencias entre pH, CE y las concentraciones de diferentes elementos presentes en el agua para determinar el impacto de su uso en el suelo (Comans et al., 1987), para identificar asociaciones y diferencias entre las variables de un parámetro fisicoquímico como la CE, y sus variables dependientes como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} y Cl^- (Soltani et al., 2017) y como complemento de la técnica de análisis Clúster para evaluar la distancia entre grupos de características hidrogeoquímicas similares (Sajil, 2019); así como en estudios Hidrológicos como una medida cuantitativa de la influencia y la importancia relativa que controlan las alteraciones hidrológicas (Mallucci et al., 2019) o para comparar las variaciones espaciales y temporales de parámetros de calidad del agua en diferentes muestras (Ustaoğlu & Tepe, 2019).

Ustaoğlu et al., (2020), demostró que las técnicas estadísticas como el análisis de correlación, el análisis de varianza ANOVA, el análisis de componentes principales (PCA) y el análisis de Clúster son herramientas útiles para estudiar la calidad del agua. Otra de las aplicaciones del análisis de varianza ha sido para asignar fuentes de incertidumbre a las tendencias en la descarga de ríos en 12 cuencas, utilizando datos hidrológicos a escala regional, encontrando que los modelos de circulación general contribuyen con la mayor incertidumbre, la cual puede variar a lo largo del tiempo (Vetter et al., 2016). Otros autores como Vidal et al., (2016); Giuntoli et al., (2015) y Bosshard et al., (2013), han aplicado el ANOVA para estudiar el impacto del cambio climático.

7. ANTECEDENTES

El acuífero de San Luis Potosí, es uno de los acuíferos más estudiados en la región, las investigaciones realizadas se enfocaron principalmente en la calidad del agua subterránea a partir de los parámetros fisicoquímicos, así como en la identificación de las principales fuentes de contaminación que afectan el sistema acuífero (somero y profundo). En esta sección se describen los estudios realizados en el acuífero de SLP y en el VSLP.

7.1 Determinación de la calidad del agua mediante cálculos de ICA's

Almanza (2015), evaluó la calidad del agua para consumo humano y uso agrícola; encontró que la calidad del agua del acuífero somero no es apta para su consumo, ya que parámetros como coliformes totales y fecales, Mn, NO_3^- , NO_2^- , pH, Na, SDT y SO_4^{2-} que rebasan los LMP de la norma mexicana; mientras que, el acuífero profundo rebasa los LMP de F^- y pH. Se confirmó que el acuífero somero presenta una deficiencia en la calidad del agua, mientras que el acuífero profundo, presenta una buena calidad.

7.2 Descripción de calidad del agua a partir de parámetros fisicoquímicos

Se han realizado otros estudios que se han centrado en la caracterización de la calidad del agua, a partir de análisis fisicoquímicos que presenta el agua subterránea, tanto del acuífero somero como del profundo.

Cardona et al. (2007), identificó el deterioro de la calidad del agua del acuífero somero con varios indicadores de contaminación como: elementos inorgánicos mayoritarios, nutrientes, carga de contaminación orgánica e información biológica. También encontró que la aplicación de aguas residuales ha alterado las condiciones naturales del acuífero. Reportó problemas de salinidad, y altas concentraciones de nutrientes y microorganismos.

Sarabia et al. (2011) analizó la calidad del agua de riego del VSLP proveniente del acuífero somero y profundo y su impacto en suelos agrícolas y en algunos cultivos. Se reportó la presencia de coliformes fecales, sulfatos, SDT y CE que rebasan los LMP, de la norma mexicana; sin embargo, afirmaron podría ser aplicada para cultivos forrajeros u hortícolas.

Esteller et al. (2012), determinaron los cambios hidrogeoquímicos producidos por la explotación intensiva del acuífero, así como las modificaciones que presenta la calidad del agua del acuífero del VSLP. Describieron que la extracción intensiva de agua subterránea, ha alterado su calidad.

Por otro lado, López-Álvarez et al. (2013a), afirmaron que la calidad del agua en el acuífero somero y profundo se encuentra afectada por las actividades agrícolas, urbanas e industriales, y por contaminación natural, respectivamente.

7.3 Estudios para identificar fuentes de contaminación

Otros estudios realizados en el VSLP, se han centrado en encontrar, identificar y clasificar las fuentes de contaminación que han alterado las características fisicoquímicas del agua en el sistema acuífero (somero y profundo) del VSLP.

Jiménez (1982), determinó la concentración de arsénico en el agua que abastece al VSLP, en los pozos someros y profundos. Concluyeron que los análisis realizados en diferentes temporadas, no presentan variaciones significativas en las concentraciones de arsénico. Reportaron que, aunque la zona con mayor concentración de arsénico se localiza al NW del VSLP, en su mayoría es un tipo de agua confiable, ya que no se rebasan los LMP de la norma mexicana.

Carrillo & Armienta (1989), determinaron las fuentes de contaminación del acuífero somero y profundo, reportando que las actividades antropogénicas en el VSLP son fuentes de contaminación por NO_3^- , HCO_3^- y Cl^- ; mientras que la contaminación por F^- es originada por fuentes geogénicas.

Escobar (1996), analizó la calidad del agua en el VSLP, identificando una sobreexplotación del acuífero, atribuida en su mayoría al riego agrícola (90%). También reportó contaminación del agua por exceso de flúor en 62.82% de los pozos analizados, ubicados en la zona conurbada del VSLP. Igualmente encontró que el riego con aguas negras aumentó la concentración de cloruros y nitritos en el acuífero, lo que explicó la identificación de zonas con agua de baja calidad.

Landín (2006), cuantificó las concentraciones de arsénico y flúor en 91 pozos que abastecen a la ciudad de San Luis Potosí, concluyendo que, el arsénico se encuentra en el 100% de los pozos que abastecen a San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y la zona conurbada, pero que no rebasan los LMP establecidos por la NOM-127-SSA-1994. En el caso del flúor, se encontró en un 71.43% de las muestras analizadas, principalmente en el suroeste, oeste, noreste y sureste de la ciudad de SLP, y fue debido a las interacciones agua-roca.

Noyola-Medrano et al. (2009), mostraron las condiciones del acuífero del VSLP y su relación con el manejo de los recursos hídricos por una disminución en los niveles del agua en el acuífero profundo. También analizaron el minado y sus efectos en la disponibilidad del agua en el futuro, aplicando métodos geofísicos. Afirmaron que el minado es de origen natural (clima, geología e hidrogeología), y de origen antropogénico (manejo de los recursos hídricos y cambio de uso de suelo).

Esteller et al. (2012), estudiaron las causas de los cambios en la calidad del agua, señalando como una de las principales la salinización, debido al riego extenso y prolongado con aguas residuales y subterráneas; asimismo, las descargas y lixiviados de actividades urbanas, industriales y agrícolas; y por último la disolución de minerales de las rocas.

Peña et al. (2012), analizaron la calidad del agua en el acuífero de SLP en diferentes pozos profundo y norias, encontrando contaminación en el acuífero somero por nitratos, provenientes de actividades antropogénicas; mientras que, en el acuífero profundo, se encontró contaminación por flúor principalmente de origen natural.

7.4 Diagramas hidrogeoquímicos empleados para el análisis de la calidad del agua

Con el objetivo de estudiar la calidad del agua en el VSLP, investigadores se han apoyado del uso de diagramas hidrogeoquímicos y técnicas geoestadísticas para clasificar y gestionar los recursos hídricos.

Cardona (1990), uso de los diagramas de Stiff y Piper, para clasificar y diferenciar el agua subterránea del VSLP, así como el origen del de los constituyentes disueltos y las proporciones en que se mezclan los diferentes tipos de agua. Diferenció ocho tipos de agua, en los cuales siete corresponden al acuífero profundo. Reportó que las concentraciones de elementos mayoritarios, y elementos traza se derivan de la interacción entre el agua subterránea y la geología del VSLP.

En otro estudio Cardona et al. (1993), donde emplearon diagramas de concentración molar, para clasificar el agua subterránea por grupos, confirmaron que los tipos de agua se encuentran influenciados por la litología, y la permeabilidad del acuífero.

Sarabia et al., (2011), emplearon el diagrama Wilcox, para clasificar los niveles de salinidad del agua y recomendar su uso según el tipo de cultivo. Identificaron que el agua del acuífero somero, se localiza en el cuadrante C3-S2, C3-S1 y C2-S1, indicando un tipo de agua con alta salinidad y sodicidad media, alta salinidad y sodicidad baja, y salinidad y sodicidad media, respectivamente; mientras que, para el acuífero profundo, se localiza en los cuadrantes C3-S1 y C2-S1 indicando un tipo de agua con alta salinidad y sodicidad baja y, salinidad media y sodicidad baja, respectivamente. Recomendaron realizar estudios más profundos para la determinación elementos traza que podrían causar daños a la salud de la población.

En otro estudio, Peña et al. (2012), usaron el diagrama Wilcox, para identificar las familias de agua, clasificando el agua en el cuadrante C2-S, de acuerdo a sus niveles de salinidad. Encontraron un tipo de agua con salinidad media y sodicidad baja, apta para todos los cultivos. Sin embargo, en el acuífero somero se clasificó como agua tipo C3-S1 y C4-S1, indicando niveles altos y muy altos de salinidad, respectivamente. En ambos trabajos, los niveles de salinidad se mantienen sin cambios para el agua del acuífero profundo, mientras que en el acuífero somero los niveles de salinidad aumentaron de un año a otro.

López (2018), generó un modelo de distribución espacial de la calidad del agua de los aprovechamientos del VSLP, que permitió comprender el uso y aprovechamiento del agua a través de las últimas tres décadas, así como contribuir con la adecuada gestión del agua en la región. Concluye que, las técnicas geoespaciales son herramientas útiles para identificar el comportamiento del agua.

7.5 Métodos estadísticos aplicados en el análisis de calidad del agua

Hergt et al., (2009) diferenció los sistemas de flujo de agua subterránea que controlan los procesos químicos, físicos y cinéticos en el acuífero profundo de San Luis Potosí. Emplearon métodos estadísticos multivariados (análisis de Clúster y análisis de componentes principales), con el fin de aportar herramientas numéricas para diferenciarlos y facilitar su identificación en campo. Concluyeron, que los resultados obtenidos no presentan una variación significativa con los empleados en el estudio original, por lo que, el uso de uso de herramientas estadísticas de análisis multivariado, es una opción para el estudio de los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea.

Para el caso del acuífero del VSLP, pocos estudios han combinado el uso de índices de calidad del agua y técnicas estadísticas para evaluar la calidad del agua. Un estudio realizado cerca del VSLP, aplicó un análisis de varianza, y el uso de índices para clasificar el agua y los suelos agrícolas. Concluyeron que, el agua no es apta para el uso agrícola debido a los procesos de intercambio iónico que ocurren (Ramos-Leal et al., 2016).

8. METODOLOGÍA

8.1 Recopilación e integración de bases de datos

Se obtuvieron 9 bases de datos con 17 parámetros fisicoquímicos (Alcalinidad, As, Ca²⁺, Cl⁻, Coliformes totales, CE, Dureza, F⁻, HCO₃⁻, K⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, Na⁺, pH, PO₄²⁻, SDT y SO₄²⁻) para distintos pozos de consumo humano y uso agrícola, ubicados en el Valle de San Luís Potosí. Cabe señalar que no todas las bases de datos vienen de la misma fuente, tampoco se cuenta con el mismo número de pozos en algunas bases. Otra de las limitantes es la falta de información relacionada a la profundidad de cada pozo, por lo que no hay certeza respecto a la definición del acuífero somero y profundo, según cada base de datos.

La base de datos del año 2007 se integró por 142 pozos del acuífero profundo del VSLP recopilada del trabajo realizado por Hergt et al. (2009), la base de datos del año 2010 se integró por 55 pozos del acuífero somero (COTAS) y las demás bases de datos se recopilaron de la Red de Monitoreo del Agua de la CONGUA, para un periodo de años de 2012 al 2018, cada una se integró por aproximadamente 20 pozos para consumo humano y uso agrícola.

Se realizó un análisis exploratorio de las bases de datos, también se realizó un análisis de la calidad de los datos, con el fin de eliminar inconsistencias en las mismas, se revisaron y eliminaron aquellos pozos cuya información se encontraba repetida, y se siguieron criterios para el llenado de datos faltantes. También se seleccionaron solo los parámetros que resultarían útiles para la determinación de los índices de calidad del agua, para la aplicación del análisis de varianza y diagramas hidrogeoquímicos (Durov y Wilcox).

8.2 Cálculo del balance de iones

El balance de iones tiene la finalidad de medir la diferencia entre el total de aniones y cationes expresados en miliequivalentes por litro (meq/L), determinados analíticamente. El error del balance de iones se determina según la Ecuación 2, y forma parte de los requisitos que deben hacerse dentro de la evaluación del análisis químico para establecer la confiabilidad de los resultados del laboratorio.

$$EBI(\%) = \frac{(\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones})}{(\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones})} * 100 \dots \quad \text{Ecuación (2)}$$

Los rangos que permiten aceptar o no el análisis de una muestra de agua, dependen de: la conductividad eléctrica, en donde, a menores valores de CE (50 µS/cm) le corresponden un mayor error aceptable (±30%), mientras que, a mayores valores de CE (>2000 µS/cm) le corresponde un menor error aceptable (±4%) (Custodio & Llamas, 1976); mientras que, en el caso de la suma de aniones, a un valor menor de la suma de aniones (0 – 3 meq/L) le corresponde un error menor aceptable (±0.2%) y a un valor mayor de la suma de aniones (10 – 800 meq/L) le corresponde un error mayor aceptable (±5%) (Crites & Tchobanoglous, 2000).

8.3 Zonificación del área de estudio

Con el fin de identificar las actividades antropogénicas que pudieran alterar la composición y la calidad del agua de los pozos obtenidos de las bases de datos, con el programa ArcGIS Vs 10.3 se realizó una delimitación de las zonas económicamente activas del VSLP: zona urbana, agrícola e industrial.

Los polígonos de las zonas agrícolas se modificaron a partir de los datos abiertos de uso de suelo y vegetación proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) agrupados por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) del año 2016.

Al no existir información específica del área que abarcan las minas en la zona de estudio, se realizó un buffer de 5 km alrededor de las minas ubicadas en el sitio.

8.4 Identificación de los tipos de agua

Para determinar los tipos de agua a los que pertenecen los pozos muestreados de las bases de datos obtenidas, se requerirá determinar la calidad del agua para consumo humano, así como para uso agrícola, y realizar diagramas hidrogeoquímicos (Durov y Wilcox).

8.5 Determinación de la Calidad del Agua

Los WQI (por sus siglas en inglés) son herramientas de análisis de la calidad del agua en términos de potabilidad y perspectivas de gestión para otros usos (Khanoranga, 2019). Es una escala de calificación del agua que se basa en la relación de diferentes parámetros de calidad a una escala común y combinarlos en un solo dígito, que pueden llegar a afectar de forma general la calidad del agua, su objetivo es reducir una gran cantidad de datos de calidad del agua de manera que sea comprensible e informativa (Zahedi, 2017; Khanoranga, 2019).

Se realizó el análisis geoestadístico para los índices de calidad del agua para consumo humano y uso agrícola, así como la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos que rebasan los LMP (Tabla 1), utilizando el software ArcGIS Vs 10.

En el cual, d es la distancia entre el lugar de predicción y el lugar muestral; P es un factor de reducción de peso, cuyo valor se encuentra minimizando el error cuadrático medio o error de predicción.

En este estudio se calcularon dos índices: el índice de calidad de agua para riego (IWQI, por sus siglas en inglés) y el índice de calidad de agua para consumo humano (DWQI, por sus siglas en inglés), los cuales se mencionan a continuación.

Tabla 1. Parámetros que exceden los LMP (NOM-127-SSA1-1994).

Año	N	As (µg/L)				F (mg/L)				CE (µS/cm)				K (mg/L)				SDT (mg/L)			
		Prom.	Min.	Max.	DS	Prom.	Min.	Max.	DS	Prom.	Min.	Max.	DS	Prom.	Min.	Max.	DS	Prom.	Min.	Max.	DS
2007	142	ND	ND	ND	ND	1.3	0.2	4.3	1.1	327.5	93	889	122.1	11.2	93	22.2	4.4	170.2	58.5	505	63.5
2010	55	13.8	1.5	81.3	18.7	0.8	0.0	10.6	1.4	1060.8	122	3870	657.9	29.7	122	77.7	13.0	530.3	61.0	1950	329.6
2012	10	ND	ND	ND	ND	2.3	0.4	4.1	1.4	572.1	287	1470	392.2	14.6	287	41.7	9.8	366.1	183.7	941	251.0
2013	10	8.4	0.0	32.9	12.6	2.0	0.4	4.7	1.5	619.3	282	1436	406.7	10.5	3.2	29.6	8.8	396.4	180.5	919	260.3
2014	10	13.8	11.6	15.4	1.9	2.2	0.3	4.2	1.1	647.9	308	1493	410.3	11.9	4.0	33.3	9.6	466.6	224.0	1072	290.0
2015	9	12.7	10.7	14.7	2.1	1.9	0.4	4.2	1.3	652.4	258	1297	398.9	10.9	4.3	41.1	11.8	452.0	200.0	1008	301.9
2016	12	11.9	9.8	14.8	2.6	1.4	0.3	4.2	1.2	616.9	291	1422	397.3	11.6	4.1	45.8	12.3	446.4	204.0	1188	327.2
2017	14	9.0	7.2	10.4	1.6	1.1	0.3	4.3	1.2	668.3	288	1285	359.7	11.6	3.6	32.8	8.8	446.4	222.0	1042	282.5
2018	15	12.4	9.6	18.4	3.5	1.1	0.4	3.3	1.0	644.1	286	1315	361.1	15.0	4.8	43.0	11.2	474.8	256.0	1112	291.7

N = Número de muestras analizadas DS = Desviación Estándar ND = No Disponible

8.5.1 Cálculo del Índice de calidad del agua para consumo humano

El cálculo del DWQI se realizó considerando los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 y la OMS de calidad del agua para consumo humano (Tabla 2). Los pesos ponderados (w_i) de los parámetros se asignaron considerando el mayor efecto tóxico que provocan a la salud, de los cuales se seleccionaron 13 parámetros. Así mismo, se muestran los pesos relativos que se emplearon para hacer el cálculo del DWQI (Tabla 2). El peso relativo se calculó utilizando la Ecuación 4:

$$W_i = \frac{\sum W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots \quad \text{Ecuación (3)}$$

W_i es el peso relativo de cada parámetro, mostrado en la Tabla 2, n corresponde al número de parámetros. La escala de calificación de cada parámetro, se obtuvo dividiendo la concentración obtenida de cada muestra de agua y sus estándares correspondientes y, por último, se multiplicó el resultado obtenido por 100 (Ecuación 5):

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100 \dots \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde q_i representa la escala de calificación, C_i corresponde a la concentración de cada parámetro en las muestras de agua analizadas en unidades de miligramos por litro (mg/L) y S_i corresponde al límite máximo permisible de cada parámetro (mg/L) de acuerdo a la OMS (2011) y NOM-127-SSA-1994.

Tabla 2. Estándares de calidad del agua. OMS (2011) y NOM-127-SSA1-1994.

Parámetro	OMS	NOM-127-SSA1-1994	Peso ponderado (wi)	Peso relativo (Wi)
[Ca ²⁺]	75	---	2	0.0666
[Na ⁺]	200	200	2	0.0666
[K ⁺]	12	---	3	0.1333
[Mg ²⁺]	50	---	2	0.0666
[HCO ₃ ⁻]	500	500	2	0.0666
[Cl ⁻]	250	250	2	0.0666
[SO ₄ ²⁻]	250	400	2	0.0666
[CE]	500	500	3	0.1
[SDT]	500	1000	2	0.0666
[pH]	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	2	0.0666
[NO ₃ ⁻]	10	10	2	0.0666
[Dureza]	---	500	2	0.0666
[F ⁻]	1.5	1.5	4	0.0133
Σ	---	---	---	1

Unidades: concentraciones de los iones (mg/L), CE (μS/cm), pH (Unidades estándar)

Finalmente, para el cálculo del DWQI, se determinó SI_i para cada parámetro (Ecuación 6) y luego, la suma de los resultados de SI_i dio el WQI para cada muestra (Ecuación 7):

$$SI_i = W_i \times q_i \dots \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$DWQI = \sum_{i=1}^n SI_i \dots \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde SI_i es el subíndice del parámetro, q_i corresponde a la clasificación basada en la concentración de cada parámetro, y n representa el número total de parámetros utilizados (Tyagi et al., 2013; Soleimani et al., 2018). Según los resultados de DWQI, la calidad del agua se puede agrupar en cinco categorías, las cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua. DWQI (Brown et al., 1970).

Rango	Tipos de agua
< 50	Agua excelente
50 – 99.99	Agua buena
100 – 199.99	Agua pobre
200 – 299.99	Agua muy pobre
≥ 300	Inadecuada para consumo

Los parámetros son representados por números adimensionales, cuanto menor sea el valor, mayor será la calidad del agua.

8.5.2 Cálculo del Índice de calidad del agua para riego

El cálculo del IWQI se realizó considerando los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 y la OMS de calidad del agua. De acuerdo al método de Meireles et al., (2010), primero se identificaron y seleccionaron los parámetros más representativos capaces de proporcionar información buena y económica sobre el agua con fines de riego, los cuales, de acuerdo con sus efectos sobre el riego son: EC, Na^+ , Cl^- , HCO_3^- y RAS (Bortolini et al., 2018). Para calcular el índice, se debe obtener el valor de q_i , como se presentan en la Ecuación 8:

$$q_i = q_{max} - \left(\frac{[(x_{ij} - x_{inf}) \times q_{iamp}]}{x_{amp}} \right) \dots \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde q_i representa la calidad para cada parámetro con un rango de 0 a 100 en función de las medidas de concentración, q_{max} es el máximo valor de q_i para cada clase; x_{ij} representa el valor observado para cada parámetro; x_{inf} se refiere al valor mínimo del límite de la clase al que pertenece el parámetro; q_{iamp} presenta la amplitud de la clase y x_{amp} corresponde a la amplitud de la clase al que pertenece el parámetro (Abbasnia et al., 2018). El peso relativo (w_i) para cada parámetro representativo del agua ya ha sido normalizado, por lo que en la Tabla 4 se muestran los valores correspondientes de los pesos relativos (Meireles et al., 2010).

Tabla 4. Pesos estandarizados de cada parámetro. IWQI (Meireles et al., 2010).

Parámetro	W _i
[EC]	0.211
[Na ⁺]	0.204
[HCO ₃ ⁻]	0.202
[Cl ⁻]	0.194
[RAS]	0.189
Total	1

El IWQI se obtiene de la suma del producto entre el peso relativo y el valor de cada parámetro, como se muestra en la Ecuación 9:

$$IWQI = \sum_{i=1}^n q_i w_i \dots \quad \text{Ecuación (8)}$$

En esta ecuación, IWQI es un valor adimensional que varía de 0 a 100; w_i se refiere al peso relativo normalizado para cada parámetro y está relacionado con la función de importancia para explicar la variabilidad en la calidad del agua y se muestran en la Tabla 5 (Meireles et al., 2010; Abbasnia et al., 2018).

Tabla 5. Valores límite de los parámetros para el cálculo de q_i.

q _i	CE (ms/m)	RAS ((mmol.L ⁻¹) ^{0.5})	Na ⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)
85 – 100	[200 – 750)	[2 – 3)	[2 – 3)	[1 – 4)	[1 – 1.5)
60 – 85	[750 – 1500)	[3 – 6)	[3 – 6)	[4 – 7)	[1.5 – 4.5)
35 – 60	[1500 – 3000)	[6 – 12)	[6 – 9)	[7 – 10)	[4.5 – 8.5)
0 – 35	CE < 200 o	RAS < 2 o	Na ⁺ < 2 o	Cl ⁻ < 1 o	HCO ₃ ⁻ < 1 o
	CE ≥ 3000	RAS ≥ 12	Na ⁺ ≥ 9	Cl ⁻ ≥ 10	HCO ₃ ⁻ ≥ 8.5

El IWQI propuesto considera el riesgo de problemas de salinidad, la reducción de la infiltración de agua del suelo y la toxicidad para las plantas, las categorías y la restricción del uso del agua fueron determinadas y caracterizadas como se muestra en la Tabla 6.

Los parámetros son representados por números adimensionales, cuanto menor sea el valor, menor será la calidad del agua.

Tabla 6. Clasificación e interpretación del IWQI. Modificado de Meireles et al. (2010).

IWQI	Restricciones de explotación	Recomendaciones
[85 – 100]	Sin restricción (SR)	El agua se puede usar para la mayoría de los tipos de suelo y sin riesgo de toxicidad para los cultivos.
[70 – 85]	Baja restricción (BR)	Este tipo de agua de riego se puede usar en suelos con permeabilidad moderada. Puede existir riesgo elevados para cultivos sensibles a la sal.
[55 – 70]	Moderada restricción (MR)	Este tipo de agua de riego se puede utilizar en suelos con permeabilidad moderada a alta. Se puede utilizar para riego de cultivos de tolerancia media a las sales,
[40 – 55]	Alta restricción (AR)	El agua se puede utilizar en suelos con alta permeabilidad. Se puede utilizar en el riego de cultivos con tolerancia moderada a alta a la sal.
[0 – 40]	Severa restricción (SR)	Este tipo de agua debe evitarse para el riego en general. Solo debe aplicarse en cultivos con alta tolerancia a la sal.

8.6 Determinación de los tipos de agua

Para clasificar los tipos de agua, se emplearon los diagramas hidrogeoquímicos de Durov y Wilcox utilizando el programa Grapher Vs 14. En los siguientes apartados se describe interpretación de los tipos de agua de acuerdo con cada método.

8.6.1 Determinación de los tipos de agua. Diagrama de Durov.

Los tipos de agua se determinaron mediante el uso del Diagrama de Durov, para las bases de datos 2007, 2010, 2012 y 2018. Solo se usaron las bases de datos de los años 2012 y 2018, debido a que, no se presentan cambios significativos en los años 2013 a 2017. Los diagramas correspondientes a estos años se muestran en los anexos.

De acuerdo con Lloyd & Heathcote (1985), para interpretar la clasificación de los tipos de agua, la gráfica central se divide en cuadrantes (1 – 9), los cuales son interpretados como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación e interpretación de los tipos de agua. Diagrama de Durov. (Lloyd & Heathcote, 1985).

No.	Tipos de agua
1	Dominan HCO_3^- y Ca^{2+} . Indica la recarga de agua sobre roca caliza, arenisca o procedente de otros acuíferos.
2	Dominan Ca^{2+} y HCO_3^- . Se asocia con dolomita si los valores de Mg^{2+} son significativos. Si los valores de Na^+ son significativos, se asocia con intercambio iónico.
3	Dominan HCO_3^- y Na^+ . Indica agua con intercambio iónico.
4	Dominan SO_4^{2-} y Ca^{2+} . Indica agua de recarga en lava y depósitos de yeso, o puede indicar agua mezclada o una disolución simple.

5	No dominan cationes o aniones. Indica una disolución o mezcla simple.
6	Dominan SO_4^{2-} y Na^+ . Indica una probable mezcla o disoluciones poco comunes.
7	Dominan Cl^- y Na^+ . Indica que el agua ha pasado por procesos de intercambio iónico inverso entre Na^+ y Cl^- .
8	Dominan Cl^- y Na^+ . Indica que el agua subterránea presenta procesos de intercambio iónico inverso.
9	Dominan Cl^- y Na^+ . Indica un gradiente descendente por procesos de disolución.

8.6.2 Determinación de la idoneidad del agua para riego. Diagrama de Wilcox.

Para determinar la idoneidad del agua para riego, se empleó el Diagrama de Wilcox, para las bases de datos 2007, 2010, 2012 y 2018. Solo se usaron las bases de datos de los años 2012 y 2018, debido a que, no se presentan cambios significativos en los años 2013 a 2017. Los diagramas correspondientes a estos años se muestran en los anexos.

Para clasificar la salinidad del agua, se empleó el diagrama de Wilcox, el cual clasifica el agua en categorías C1, C2, C3 y C4 en función del peligro de salinidad (CE) y las categorías S1, S2, S3 y S4 en función del peligro ocasionado por el sodio (RAS). En la Tabla 8 se muestran las diferentes categorías y la calidad del agua, así como las restricciones de acuerdo a su uso. Según la colocación de los puntos dentro del diagrama, es el tipo de clasificación que se le asigna al agua analizada.

Tabla 8. Clasificación de los tipos de agua para riego agrícola. Diagrama de Wilcox (1955).

Tipos	Calidad y reglas de uso
C ₁	Agua de baja salinidad. Apta para el riego en general.
C ₂	Agua de salinidad media, apta para riego. Debe usarse en cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₃	Agua de alta salinidad. Debe usarse en cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₄	Agua de muy alta salinidad no apta para riego. Debe usarse solo en cultivos muy tolerantes a la salinidad.
S ₁	Agua con bajo contenido de sodio, apta para el riego en general. Pueden ocurrir problemas en cultivos muy sensibles al sodio.
S ₂	Agua con contenido medio de sodio. Puede presentarse acumulación de sodio en el suelo.
S ₃	Agua con alto contenido de sodio. Existe un elevado riesgo de acumulación de sodio en el suelo.
S ₄	Agua con muy alto contenido de sodio. No es aconsejable para el riego en general.

8.7 Análisis de Varianza

Finalmente, los diagramas de caja empleados para el análisis de varianza ANOVA y para la identificación de las variaciones temporales de los parámetros fisicoquímicos que rebasan los LMP, se realizaron con el software RStudio Vs 1.3.1.

Se aplicará el análisis de varianza ANOVA, para aquellos parámetros fisicoquímicos de las bases de datos recolectadas, que se encuentran por encima de los LMP establecidos en la

NOM-127 y en las guías de calidad del agua establecidas por la OMS, esto permitirá conocer como ha ocurrido la variación de la calidad del agua subterránea en estos parámetros.

Esencialmente, el diseño para el análisis simple de la varianza consiste en obtener muestras aleatorias e independientes del valor de Y asociado a cada uno de los distintos niveles del factor X_1, X_2, \dots, X_n . Entonces, se puede determinar si los diferentes niveles del factor tienen un efecto significativo sobre el valor de la variable dependiente (Shaw & Mitchell-Olds, 1993; Rodríguez & Mora, 2001; Dagnino, 2014).

El funcionamiento de la técnica ANOVA simple, a grandes rasgos, es el siguiente: a fin de comparar las medidas de Y asociadas a los distintos niveles del factor (X_1, X_2, \dots, X_n), se compara una medida de la variación entre diferentes niveles (MS-factor) con una medida de la variación dentro de cada nivel (MS-error). Si el MS-factor es significativamente mayor que el MS-error, se concluye que las medidas asociadas a diferentes niveles del factor son distintas, lo que indica que el factor influye significativamente sobre la variable dependiente. Y si, por el contrario, el MS-factor no es significativamente mayor que el MS-error, todas las medidas asociadas a diferentes niveles del factor, coinciden (Shaw & Mitchell-Olds, 1993; Rodríguez & Mora, 2001; Dagnino, 2014).

9. RESULTADOS

9.1 Caracterización de los procesos hidrogeoquímicos en el acuífero somero

En esta sección, se presentan las interpretaciones de los diagramas hidrogeoquímicos realizados (Durov y Wilcox) y su visualización espacial, para la base de datos del 2010.

9.1.1 Diagrama de Durov

En la Figura 6a, se muestran los tipos de agua del acuífero somero, acuerdo al diagrama de Durov, y en la Tabla 7 se presenta la interpretación de los resultados. En la Figura 6b se muestra la distribución espacial de los pozos.

El 49.09% de los pozos analizados se localizan en el cuadrante 5, indicando que no existe ningún ion dominante y, el agua muestra un proceso de disolución o de mezcla simple. Estos pozos se localizan en todo el VSLP, en su mayoría en la zona urbana. Este tipo de agua, se podría deber a las actividades antropogénicas público-urbana, industrial, agrícola y minera. Mientras que el agua de los pozos localizados fuera de la zona urbana se podría deber a alteraciones naturales como interacciones agua-roca, evaporación, precipitación, etc.

El 20% de los pozos se encuentran en el cuadrante 2, indicando la presencia de HCO_3^- y Na^+ como especies dominantes, este tipo de agua procede de procesos de intercambio iónico inverso. Estos pozos se localizan dentro y fuera de la zona urbana, y en los límites entre la zona industrial y agrícola. Debido a las diferentes actividades antropogénicas que se llevan a cabo, se podría explicar el exceso de HCO_3^- y Na^+ en este tipo de agua.

El 14.55% de los pozos se encuentran en el cuadrante 4, indicando la presencia SO_4^{2-} y Ca^{2+} como iones dominantes. Este tipo agua sulfato-cálcica, viene principalmente de fuentes naturales como depósitos de yeso. Algunos pozos ubicados en la zona agrícola, esta agua se debe al uso de fertilizantes.

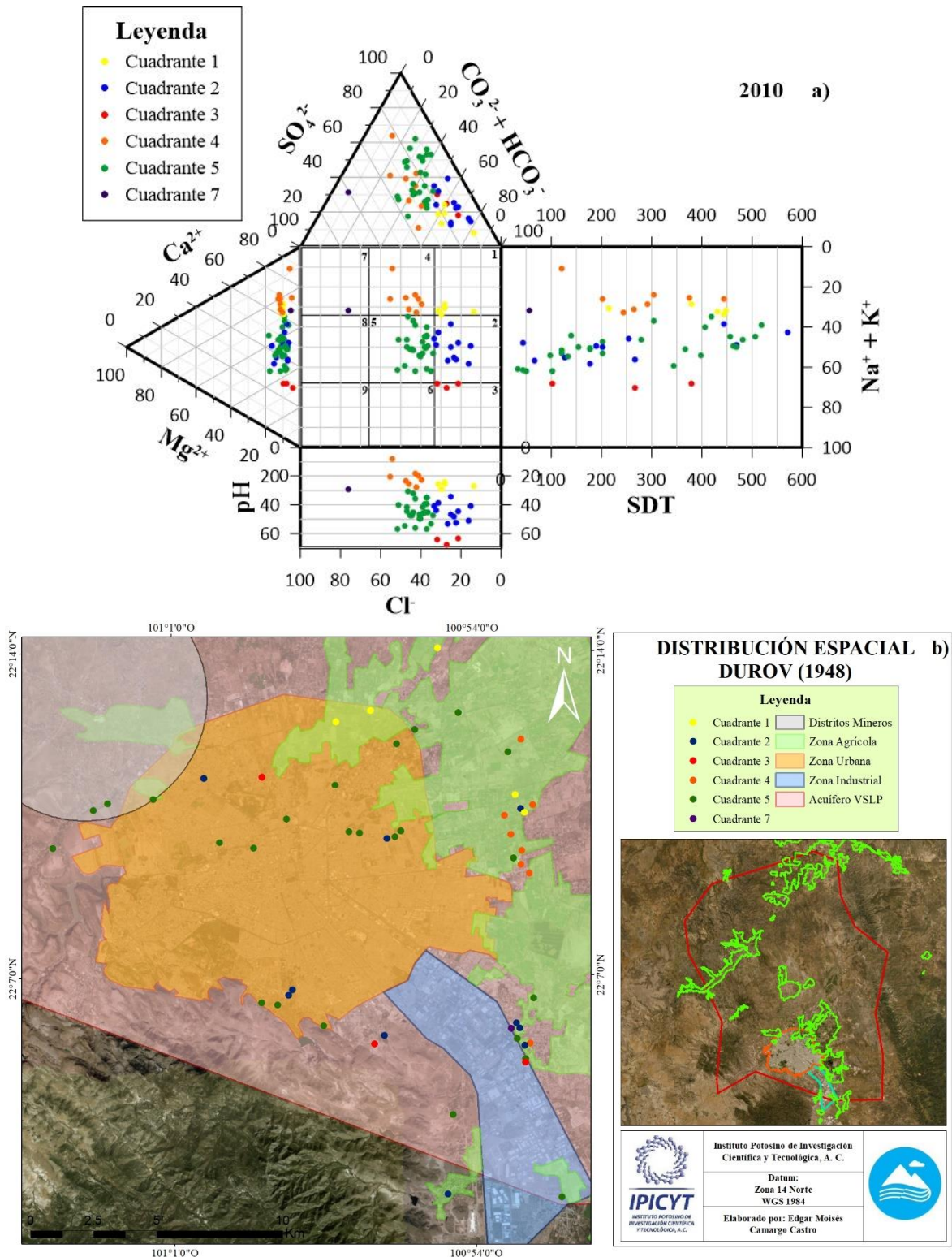


Figura 6. Clasificación del agua en el acuífero somero. **a)** Diagrama de Durov. **b)** Distribución espacial.
Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

9.1.2 Diagrama de Wilcox

En la Figura 7a, se muestra la clasificación de la salinidad, de acuerdo con el diagrama de Wilcox, y en la Tabla 8 se presenta la interpretación de los resultados. En la Figura 7b, se presenta la distribución espacial de los pozos.

El 56.36% de las muestras de agua analizadas se encuentran en el cuadrante C3-S1, indicando un riesgo de salinidad alto (767 – 2040 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Este tipo de agua se puede utilizar en suelos con buena permeabilidad y en cultivos con elevada tolerancia a la salinidad. Esta agua se localiza en la parte central de la zona urbana y hacia el noreste en la zona agrícola, las altas concentraciones de sales podrían deberse a las actividades público-urbanas y agrícolas que descargan aguas residuales.

El 29.09% de las muestras de agua analizadas se encuentran en el cuadrante C2-S1, indicando un riesgo de salinidad medio (279 – 688 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Esta agua se puede utilizar en cultivos tolerantes a la salinidad; por lo que, puede utilizarse para riego en la mayoría de los cultivos. Esta agua se localiza dentro de la zona urbana, agrícola y minera, y es afectada por estas actividades. El agua de algunos pozos localizados fuera de estas zonas, podría deberse a fuentes naturales.

El 3.64% se localiza en el cuadrante C3-S2, indicando un tipo de agua con riesgo de salinidad alto (1197 – 2150 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Esta agua se puede usar en suelos con buen drenaje y, solo para cultivos muy tolerantes a la salinidad. Este tipo de agua se localiza en la zona urbana, agrícola e industrial, lo que podría explicar el alto riesgo de salinidad y de sodio en el acuífero somero, debido a las en aguas residuales vertidas y empleadas para el riego de cultivos en estas zonas.

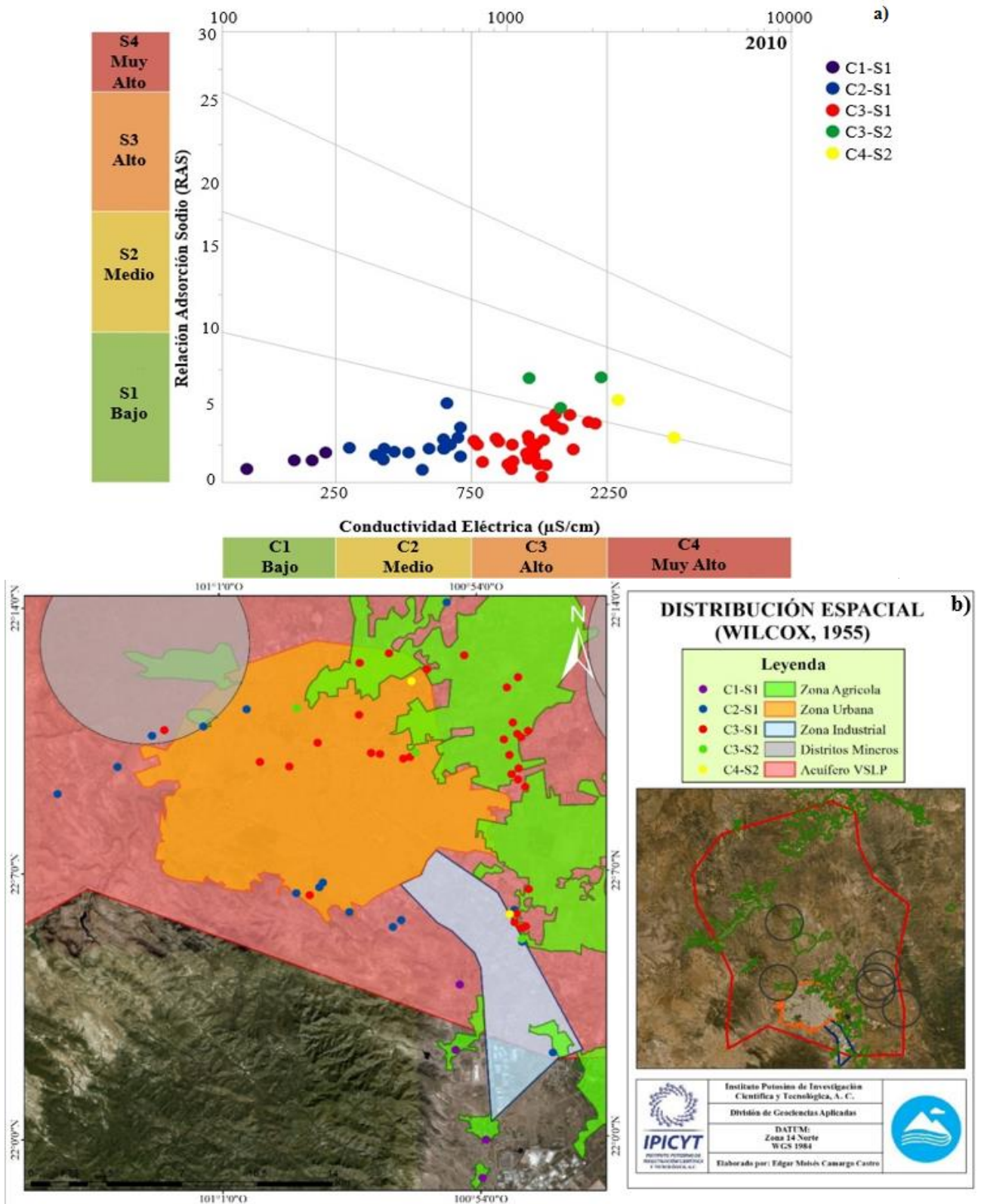


Figura 7. Clasificación de salinidad en el acuífero somero. **a)** Diagrama de Wilcox. **b)** Distribución espacial. Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

El 3.64% se ubica en el cuadrante C4-S2, indicando un tipo de agua con un riesgo de salinidad muy alto (2460 – 3780 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Este tipo de agua se puede usar en suelos muy permeables, que tengan buen drenaje, y sólo en cultivos muy tolerantes a la salinidad. Los pozos con este tipo de agua se localizan en la zona noreste en la zona urbana, muy cercanos a la zona agrícola e industrial; lo que podría explicar el alto riesgo de salinidad encontrados. En investigaciones posteriores se han reportado niveles de salinidad más altos, lo que indica un aumentando (Sarabia et al., 2011; Almanza, 2015).

9.2 Calidad del agua del acuífero somero

Se determinó la calidad del agua del acuífero somero, mediante el cálculo de índices de calidad del agua para consumo humano y uso agrícola, en pozos muestreados en el año 2010. Las recomendaciones para su consumo, se basan en el estudio de Marín et al. (2019).

9.2.1 Índice de calidad del agua para consumo humano

La Figura 8 muestra la distribución de la calidad del agua para consumo humano, en pozos muestreados en el año 2010 en el acuífero somero.

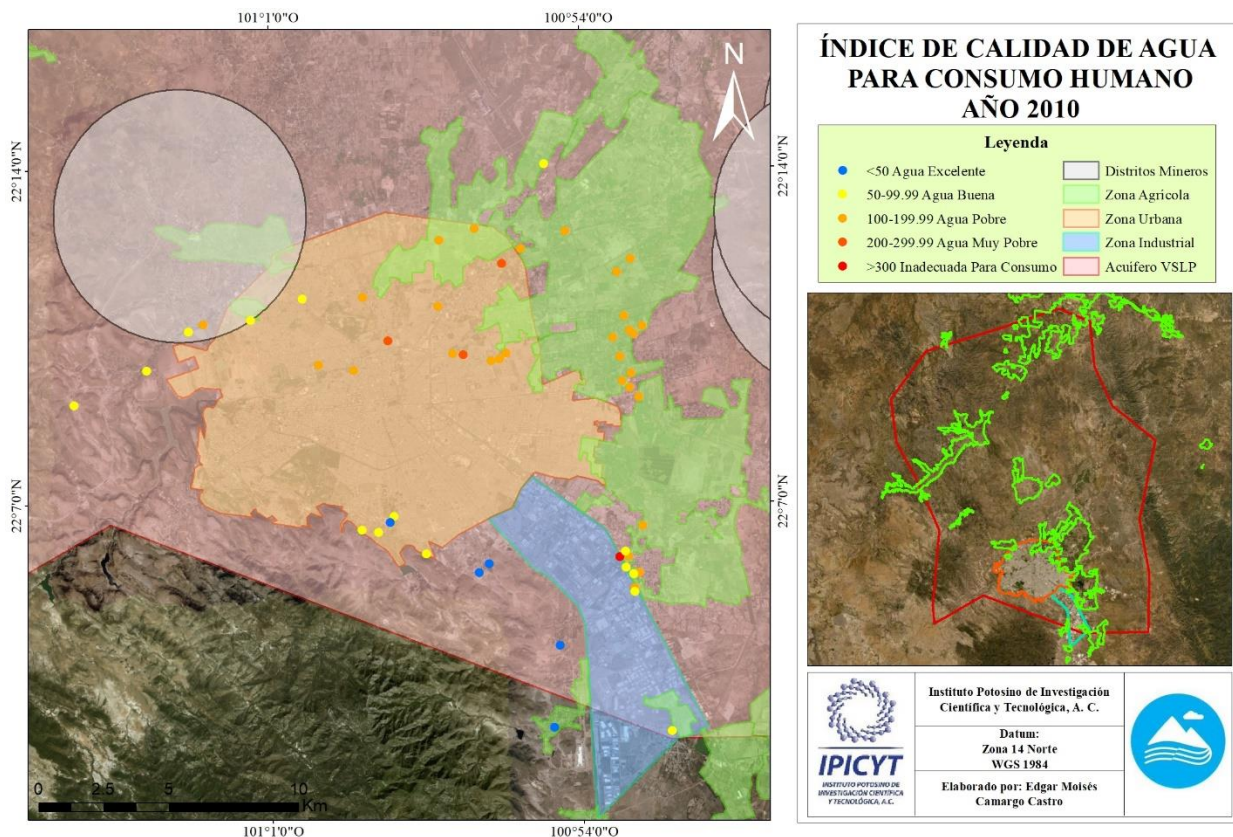


Figura 8. ICA para consumo humano en el acuífero somero en el año 2010.
Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

De acuerdo con los resultados del ICA, en el 2010 la mayoría del agua (52.72%) en el acuífero somero se clasifica como “agua pobre”. Este tipo de agua se localiza al este en la

zona urbana e industrial. La baja calidad del agua ha sido influenciada por las actividades antropogénicas que se desarrollan en esta zona. Esta agua no es adecuada para su consumo, ya que requeriría un tratamiento de purificación muy importante.

El agua clasificada como “agua buena” abarca el 27.27% de los pozos, y se ubica al oeste, en la periferia de la zona urbana, industrial y minera. Esto explicaría que sea agua de buena calidad, ya que los pozos están más cerca a zonas de recarga de la SSM. El agua requiere una purificación en caso de consumirse.

El agua agrupada como “agua excelente” comprende el 12.72% de los pozos, y se localiza en el sur, en los límites de la zona industrial y urbana. Podría decirse que debido a su ubicación es que la calidad del agua conserve como excelente. Esta agua no requiere purificación y es segura para el consumo.

Sólo un pequeño porcentaje (5.45%) de los pozos se clasifican como “agua muy pobre”. Se ubican al noreste de la zona urbana, colindando con la zona agrícola. Las actividades público-urbanas, así como la cercanía a la zona agrícola y a una PTAR, podrían ser fuente de contaminación en estos pozos, por lo que, el agua es dudosa para el consumo.

Finalmente, el agua clasificada “inadecuada para consumo” representa el 1.81% de los pozos, y se localiza al sureste, entre la zona industrial y la zona agrícola. Esto podría indicar que se haya afectado su calidad. Debido a los niveles de calidad tan deficientes, no es aceptable para el consumo. Estos resultados obtenidos coinciden con otros estudios realizados por Almanza (2015), y López-Álvarez et al., (2013b).

9.2.2 Índice de calidad del agua para riego

La Figura 9 muestra la clasificación y distribución de la calidad del agua para riego agrícola, de los pozos someros localizados en el VSLP.

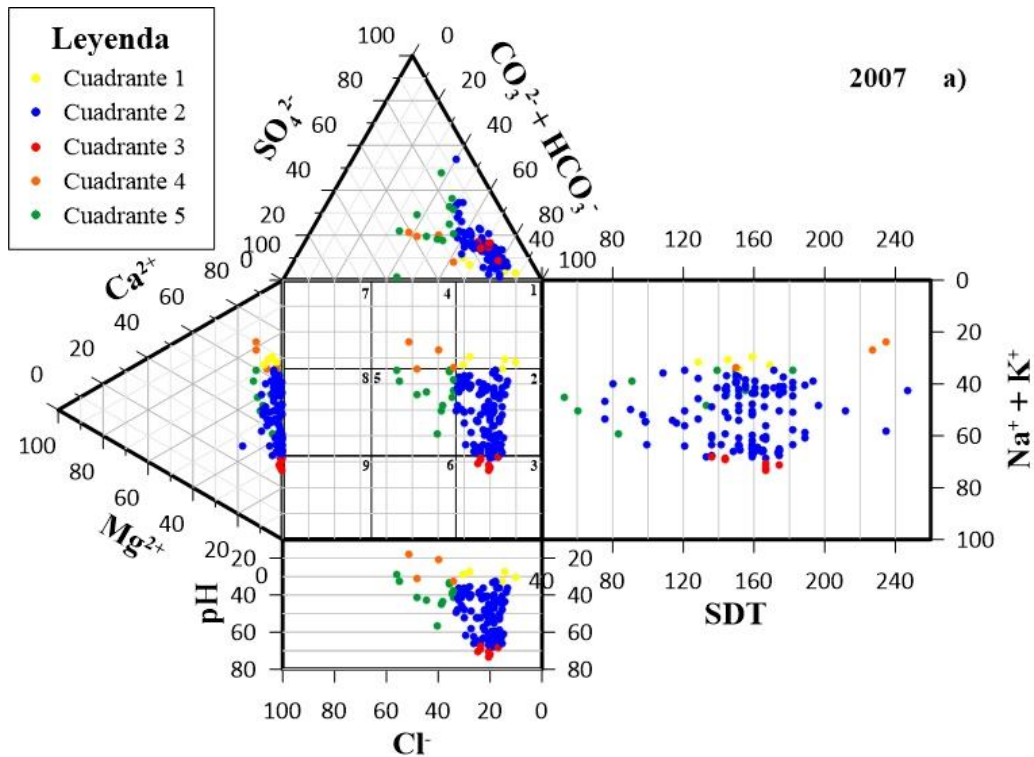
9.3 Caracterización de los procesos hidrogeoquímicos para el acuífero profundo

En esta sección se presentan las interpretaciones de los diagramas hidrogeoquímicos realizados (Durov y Wilcox) y su análisis espacial, para las bases de datos de los años 2007 y 2012 a 2018.

9.3.1 Diagrama de Durov

En la Figura 10a, se muestran los tipos de agua del acuífero profundo en el año 2007, de acuerdo con el diagrama de Durov. En la Tabla 7 se presenta la interpretación de los resultados. En la Figura 10b, se muestra la distribución espacial de los pozos.

El 80.28% de los pozos analizados se localizan en el cuadrante 2, indicando la presencia de HCO_3^- , Ca^{2+} y Na^+ como iones dominantes, y es debido a los procesos de intercambio iónico que podrían suceder. Los pozos se localizan principalmente en la zona urbana y al norte en la zona agrícola. Este tipo de agua podría deberse a la sobreexplotación del acuífero profundo, por la gran demanda de agua para abastecimiento público-urbano y agrícola.



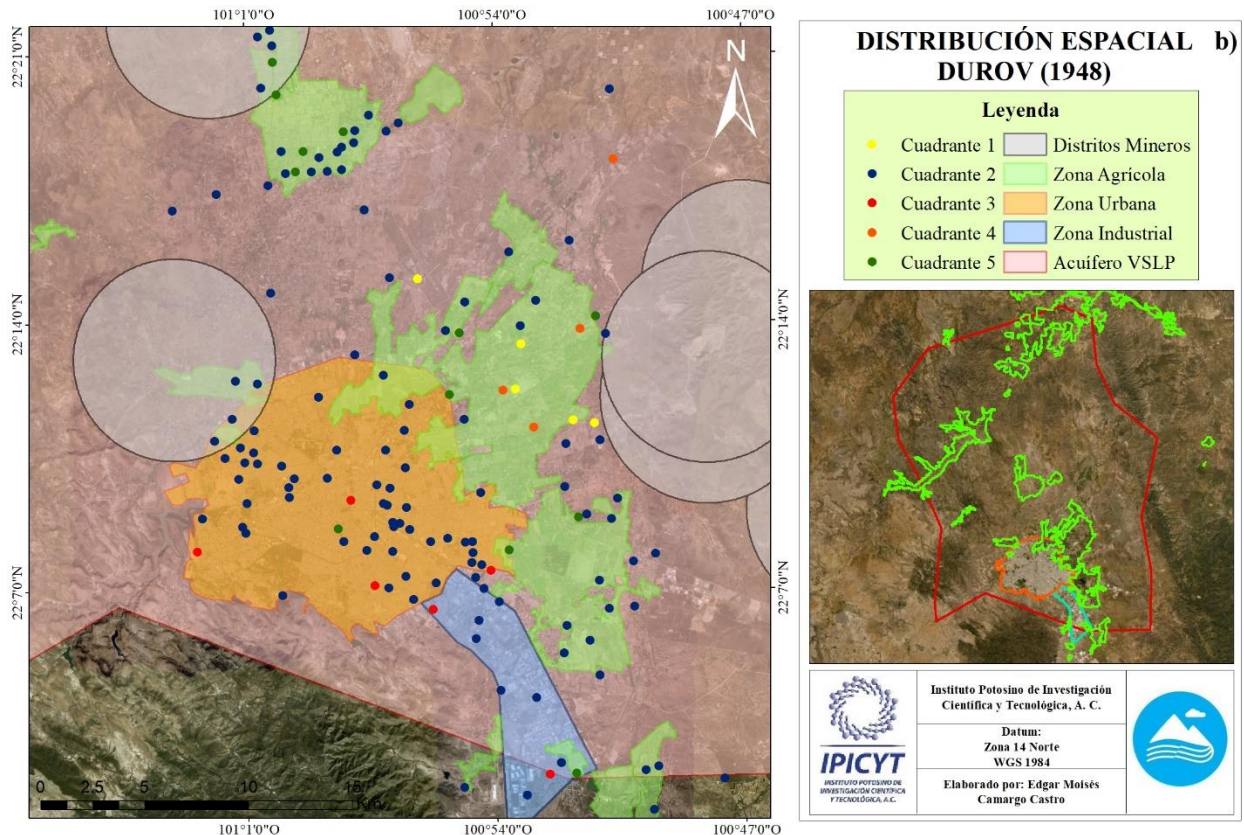
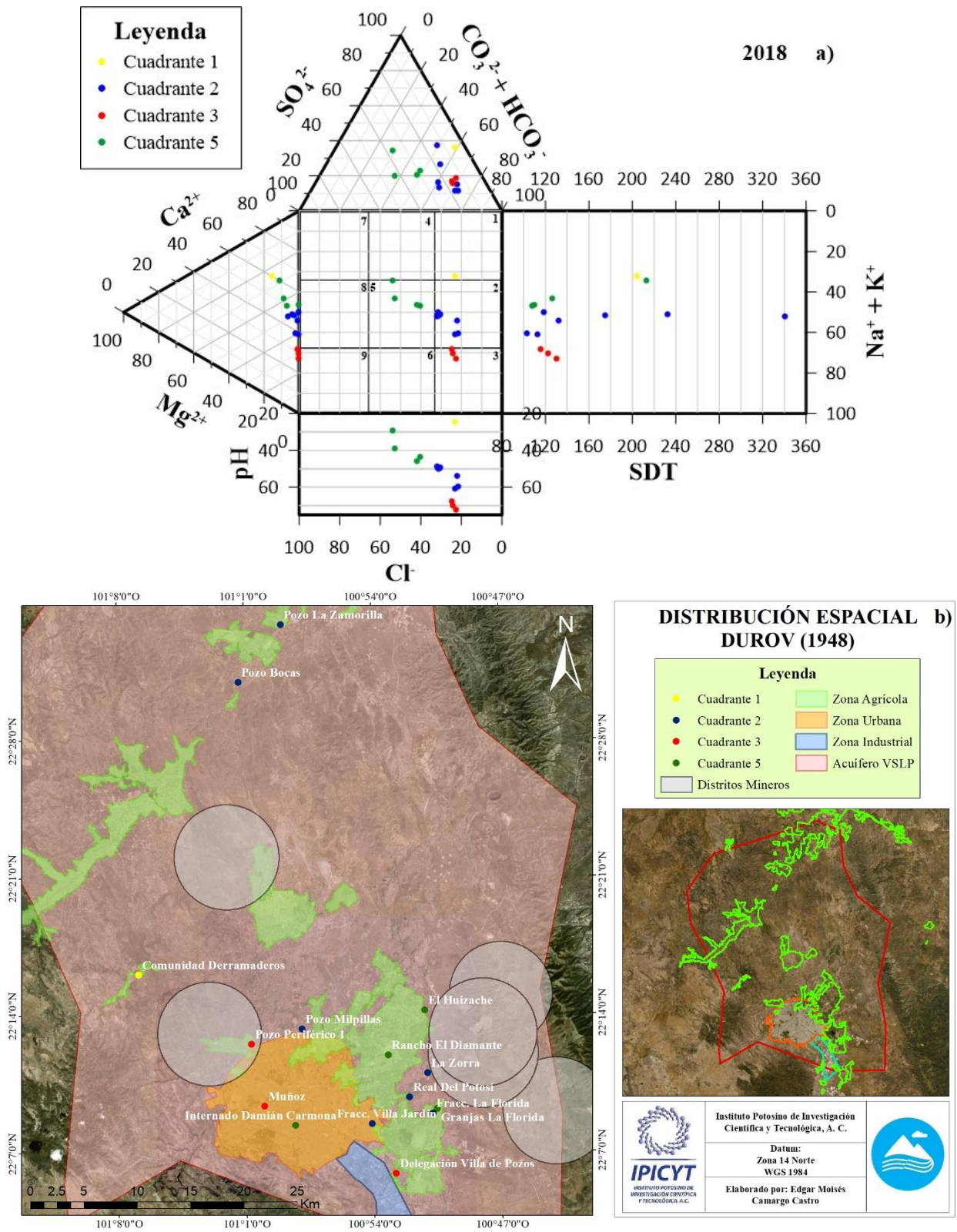


Figura 10. Clasificación del agua en el acuífero profundo. **a)** Diagrama de Durov. **b)** Distribución espacial. Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

El 8.45% de los pozos se encuentran en el cuadrante 5, indicando una mezcla de iones sin ninguna especie dominante, y originada por procesos de disolución. Los pozos se localizan, en el centro en la zona urbana e industrial; y al noroeste, cerca de una minera y la zona agrícola. Las actividades antropogénicas pueden ser el origen de este tipo de agua, favorecido los procesos de disolución. Los diagramas de Durov para las bases de datos de los años 2012 a 2017, no presentan cambios significativos en relación a la base de datos del 2018 (Anexo X).

En la Figura 11a, se muestran los tipos de agua del acuífero profundo, de acuerdo con el diagrama de Durov para la base de datos del año 2018, y en la Tabla 7 se muestra la interpretación de los resultados. En la Figura 11b, se presenta la distribución espacial de los pozos.



El 46.67% de las muestras de agua analizadas se ubicaron en el cuadrante 2, indicando la presencia de HCO_3^- , Ca^{2+} y Na^+ como iones dominantes y procesos de intercambio iónico. Estos pozos se encuentran principalmente en las zonas agrícolas (este y norte). La aplicación de fertilizantes y plaguicidas en podrían estar alterando la composición del agua. Asimismo, las descargas de aguas residuales público-urbanas que contienen altas concentraciones sales y SDT que podrían haber alcanzado el acuífero profundo.

El 26.67% se localizaron en el cuadrante 5, indicando procesos de disolución simple de aniones y cationes. Las descargas continuas de aguas residuales provenientes de la zona urbana podrían explicar la mezcla de iones en el acuífero profundo.

El 20% se ubicaron en el cuadrante 3, indicando la presencia de HCO_3^- y Na^+ como iones. Este tipo de agua presenta un gradiente descendente por procesos de disolución. Los pozos se ubican en tres puntos de la zona urbana: al centro, al norte donde colindan la zona agrícola y el distrito minero; y al sur entre la zona industrial y agrícola. Las actividades público-urbanas, industriales, agrícolas y mineras pueden explicar la dominancia de los iones Na^+ y HCO_3^- , así como la ocurrencia de los procesos de disolución.

9.3.2 Diagrama de Wilcox

En la Figura 12a, muestra la clasificación de la salinidad del agua del acuífero profundo en el año 2007, de acuerdo con el diagrama de Wilcox. En la Tabla 8 se muestra la interpretación de los resultados. En la Figura 12b, se presenta la distribución espacial de los pozos.

El 77.46% de las muestras de agua analizadas se localiza en el cuadrante C2-S1, indicando un riesgo de salinidad medio ($251 - 732 \mu\text{S}/\text{cm}$). Este tipo de agua es apta para regar cultivos tolerantes a la salinidad; se puede utilizar en la mayoría de los cultivos. Esta agua se encuentra en su mayoría en la zona urbana.

El 21.13% se localiza en el cuadrante C1-S1, indicando un tipo de agua con riesgo de salinidad bajo ($93 - 248 \mu\text{S}/\text{cm}$). Este tipo de agua se puede utilizar en todo tipo de cultivos, por sus bajos niveles de sodio. Los pozos se encuentran dispersos en la periferia de la zona urbana, lo que podría explicar su composición baja en sales.

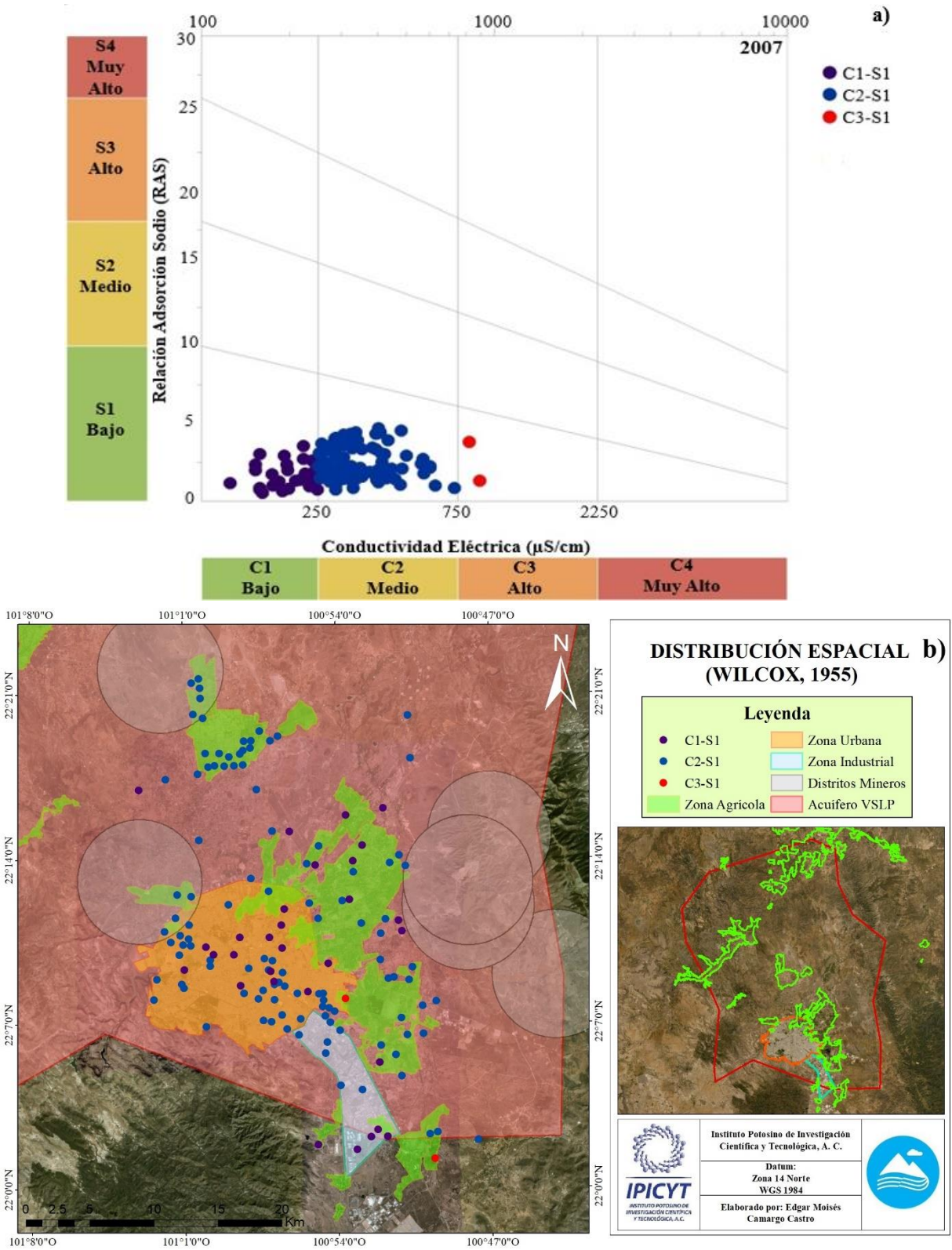


Figura 12. Clasificación de salinidad en el acuífero profundo. **a)** Diagrama de Wilcox. **b)** Distribución espacial. Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

El 1.41% se localiza en el cuadrante C3-S1, indicando un tipo de agua con riesgo de salinidad alto (820 – 889 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Esta agua se puede aplicar en suelos con buena permeabilidad y sólo para cultivos muy tolerantes a la salinidad. El uso de aguas residuales público-urbanas para el riego de cultivos en la zona agrícola, se podría relacionar con las grandes concentraciones de sales encontradas en agua subterránea.

Los diagramas de Wilcox para las bases de datos de 2012 a 2017, no presentaron cambios significativos (Ver Anexo XI).

En la Figura 13a, se muestra la clasificación de la salinidad del agua del acuífero profundo durante el año 2018, de acuerdo con el diagrama de Wilcox. En la Figura 13b, se presenta la distribución espacial de los pozos. La interpretación de los resultados del diagrama Wilcox, son mostrados en la Tabla 8.

El 80% de las muestras de agua se localizan en el cuadrante C2-S1, indicando un tipo de agua con riesgo de salinidad medio (286 – 669 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la cual es apta para el riego, pero debe ser aplicada en exceso y en cultivos tolerantes a la salinidad. Los pozos se encuentran en la zona urbana, y agrícola, y cerca de la zona industrial. Se pudo observar que los niveles de salinidad aumentaron, a diferencia de los encontrados en el 2007.

El 13.33% se localiza en el cuadrante C1-S1, indicando un tipo de agua con riesgo de salinidad bajo (128 – 208.43 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Este tipo de agua se puede usar en todos los cultivos, por sus niveles bajos de sodio. Los pozos se ubican en la periferia de las zonas agrícolas, por lo que significa no ha alterado significativamente la calidad del agua.

El 6.67% se ubica en el cuadrante C3-S1, indicando un tipo de agua con riesgo de salinidad elevado (1315 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Esta agua usarse en suelos con buena permeabilidad y para cultivos tolerantes a la salinidad. Este tipo de agua se ubica al noreste, en la zona agrícola. Los altos niveles de salinidad, pueden asociarse al riego intensivo que se desarrolla en la zona, así lo confirma un estudio previo realizado en el acuífero profundo, donde se encontraron altos niveles de salinidad en la zona agrícola del VSLP (Sarabia et al., 2011).

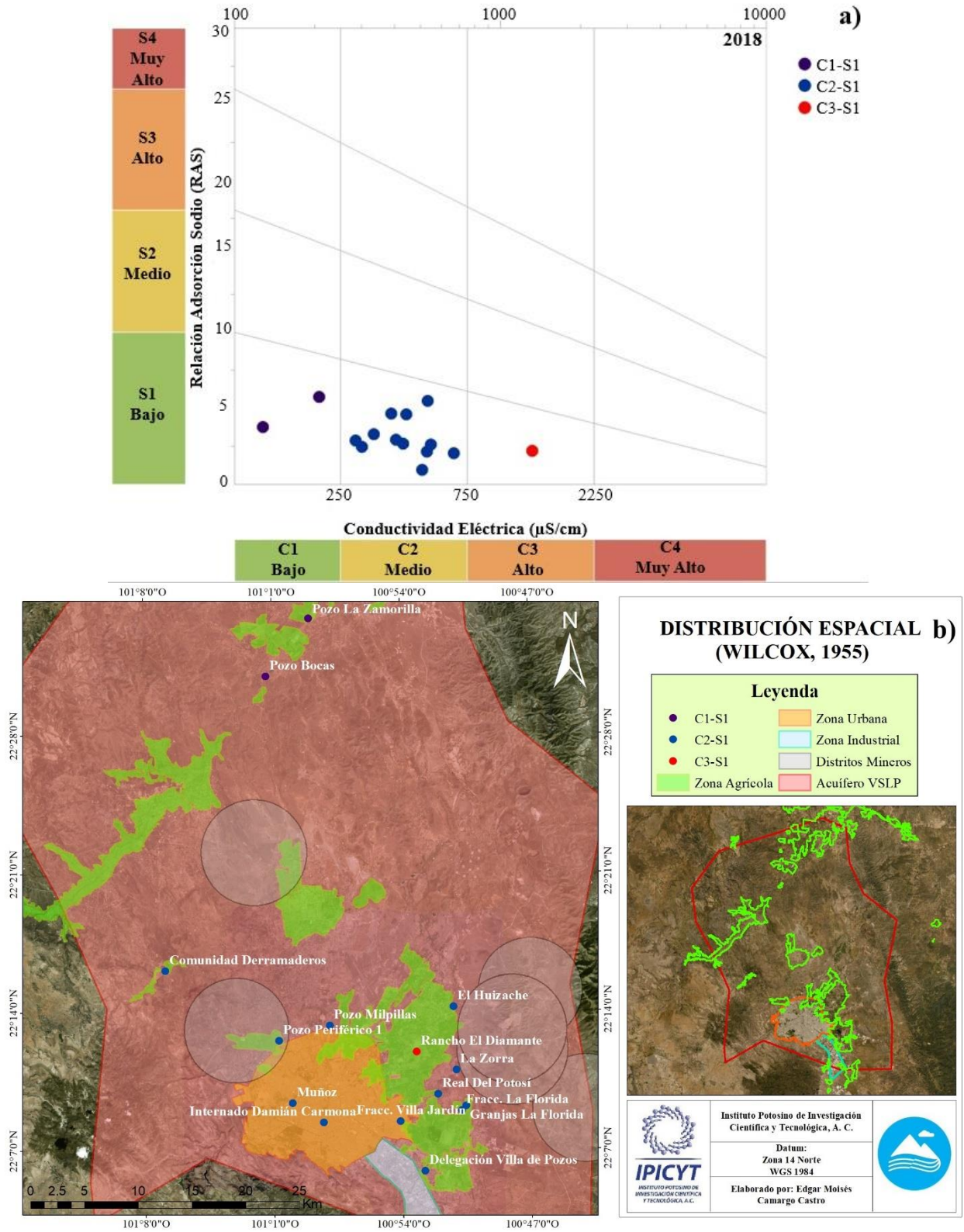


Figura 13. Clasificación de salinidad en el acuífero profundo. **a)** Diagrama de Wilcox. **b)** Distribución espacial. **Fuente:** Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

9.4 Calidad del agua del acuífero profundo

Se determinó la calidad del agua del acuífero profundo, mediante el cálculo de índices de calidad del agua para consumo humano y para uso agrícola, en pozos muestreados en los años 2007 y 2012 a 2018. Las recomendaciones para su consumo, se basan en el estudio de Marín et al. (2019).

9.4.1 Índice de calidad del agua para consumo humano

La Figura 14 muestra la distribución de la calidad del agua para consumo humano, en pozos muestreados en el año 2007 en el acuífero profundo.

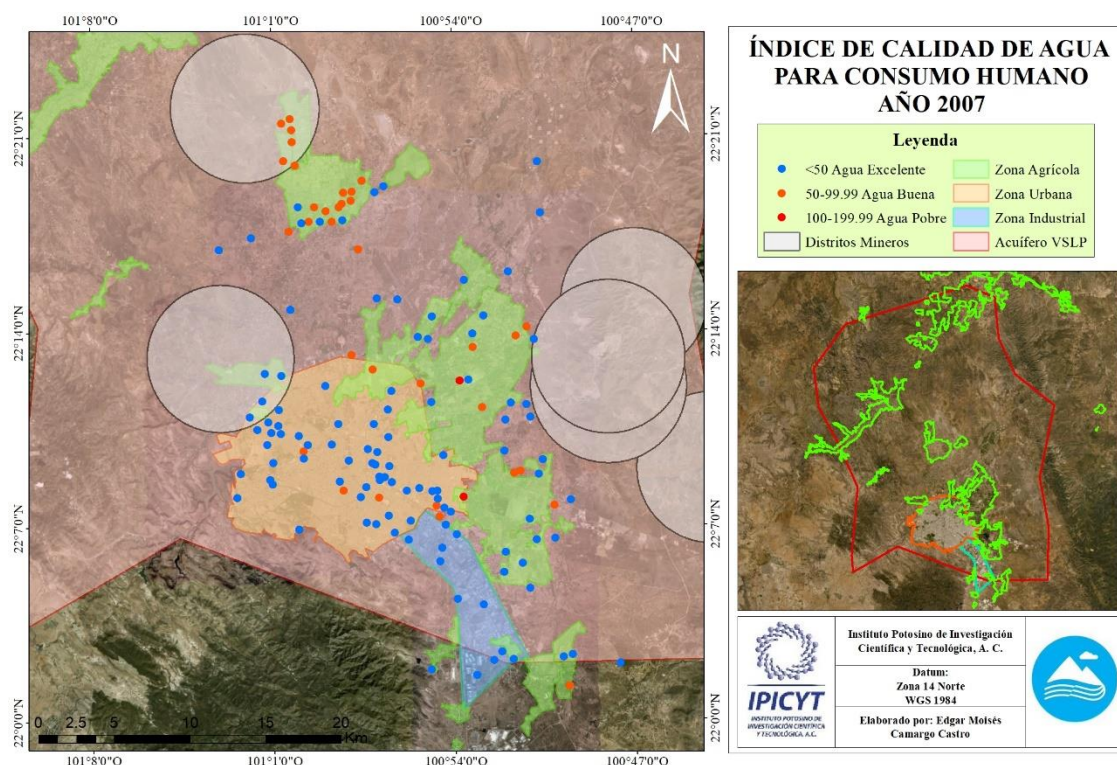


Figura 14. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2007.

Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

De acuerdo con los resultados del ICA, en el 2007 la mayoría del agua (74.64%) en el acuífero profundo se clasifica como “agua excelente”. Estos pozos abarcan la mayor parte del VSLP, excepto la zona agrícola. Por lo tanto, el agua requiere tratamiento de purificación menor y es segura para su consumo.

El agua clasificada como “agua buena” abarca el 23.94% de los pozos, y se ubica principalmente donde se desarrollan las actividades agrícolas. Se observó que las actividades agrícolas no han afectado la calidad del agua de los pozos profundo, por lo que, el agua requiere una purificación menor para su consumo.

El agua clasificada como “agua pobre” comprende el 1.4% de los pozos, y se localiza principalmente al noroeste en la zona agrícola. La baja calidad del agua puede estar asociada a las descargas público-urbanas. Este tipo de agua requeriría de un tratamiento de depuración muy importante para su consumo.

La Figura 15 muestra la distribución de la calidad del agua para consumo humano, en pozos profundos en el 2012.

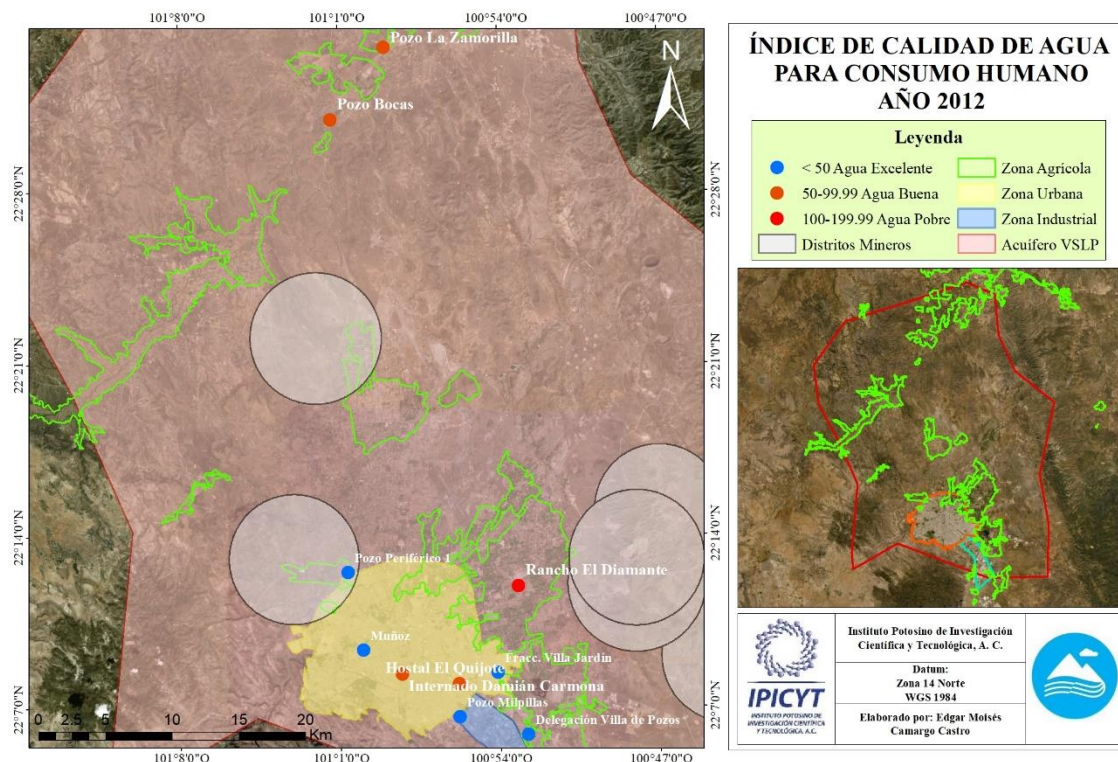


Figura 15. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2012.
Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

De acuerdo con los resultados del ICA, en el 2012 el 50% del agua de los pozos profundos se clasificaban con “agua excelente”, asimismo para los años 2013, y 2014. En el año 2015, se observó que aumentó (55.55%) el agua clasificada como excelente, y posteriormente hubo un aumento mayor (75%) en el 2016. Mientras que, en el año 2017 se observó un deterioro en la calidad del agua excelente (64.28%), y para el año 2018 la calidad del agua bajó a 53.33%. Posiblemente estos cambios en la calidad de agua excelente, se deban a la extracción de agua en nuevos aprovechamientos en niveles de profundidad menores. Este tipo de agua se localiza en el centro y norte de la zona urbana, no requiere purificación y es segura para su consumo.

En el año 2012, la calidad del agua clasificada como “agua buena” comprendió el 40% de los pozos, igualmente para los años 2013 y 2014. En el 2015 se observó que los pozos con agua de calidad buena disminuyeron a 33.33%, de igual manera en el 2016 (16.66%) y 2017 (21.42%), mientras que en el año 2018 aumentó el número de pozos con calidad de agua buena (33.33%). La mayor parte de este tipo de agua se encuentra en las proximidades a

zonas agrícolas, lo que podría estar asociado a las descargas de aguas residuales con altas concentraciones de STD, iones de sodio, calcio, magnesio, potasio, nitratos y sulfatos, también provenientes de la aplicación de fertilizantes en la agricultura y de la disolución de minerales. Por lo tanto, esta agua requeriría una purificación menor para su consumo.

El agua clasificada como “agua pobre” comprendió el 10% de los pozos muestreados en el 2012, igualmente para los años 2013, 2014, 2015 y 2016. Mientras que para los años 2017 y 2018, el número de pozos con agua pobre aumento a 14.28 % y 13.33%, respectivamente. Este tipo de agua se ubica dentro las zonas agrícolas y urbanas, por lo que se podría relacionar con el uso de aguas residuales para riego y los retornos de riego, que podrían haber alcanzado la zona saturadas del acuífero, aumentando la salinidad y los iones contaminantes. Este tipo de agua, necesita de un tratamiento de purificación mayor para su consumo.

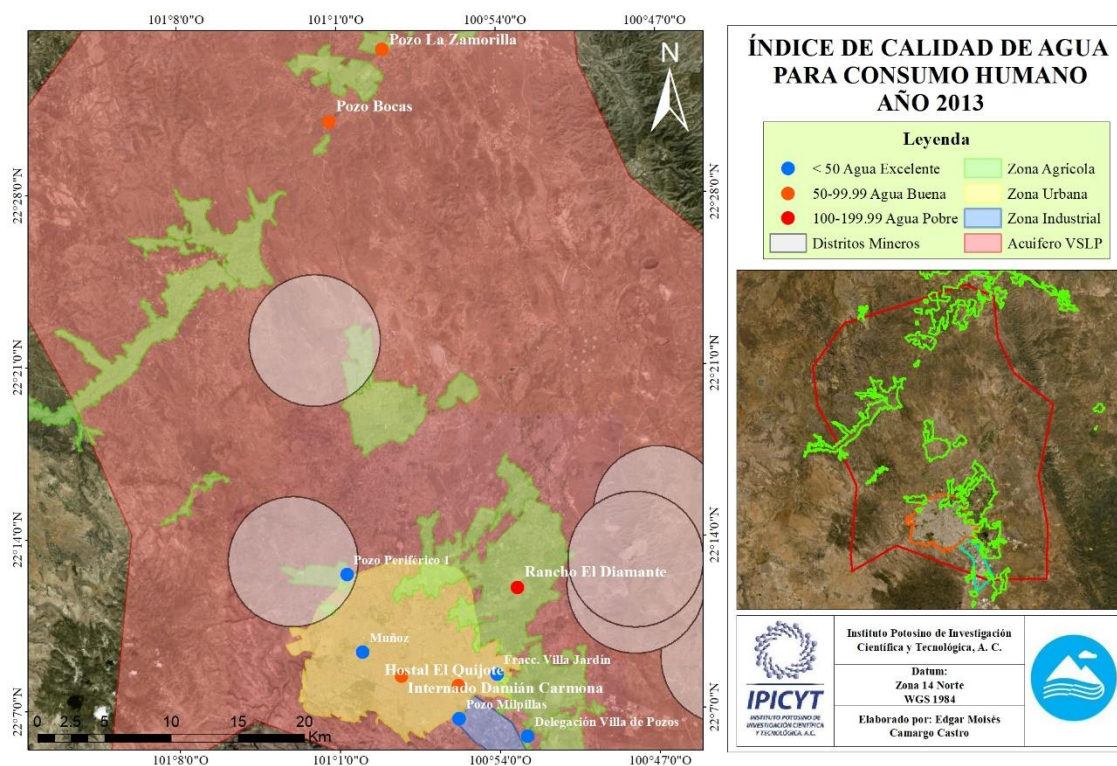


Figura 16. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2013.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

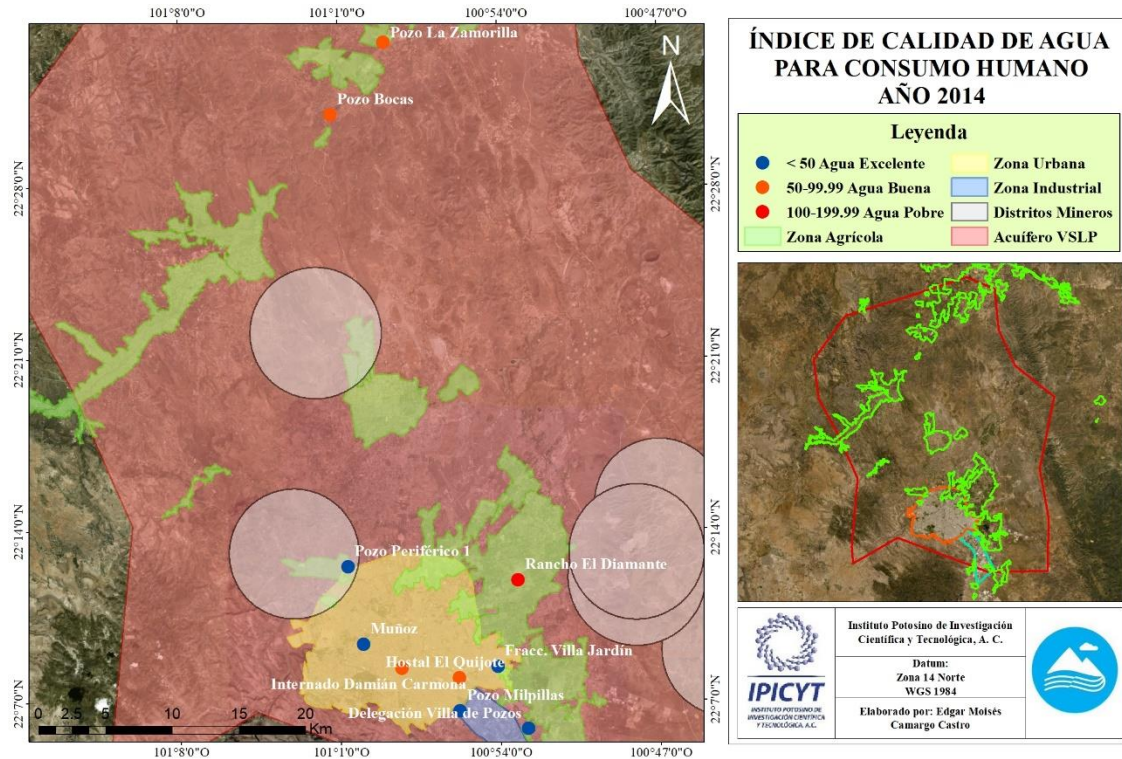


Figura 17. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2014.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

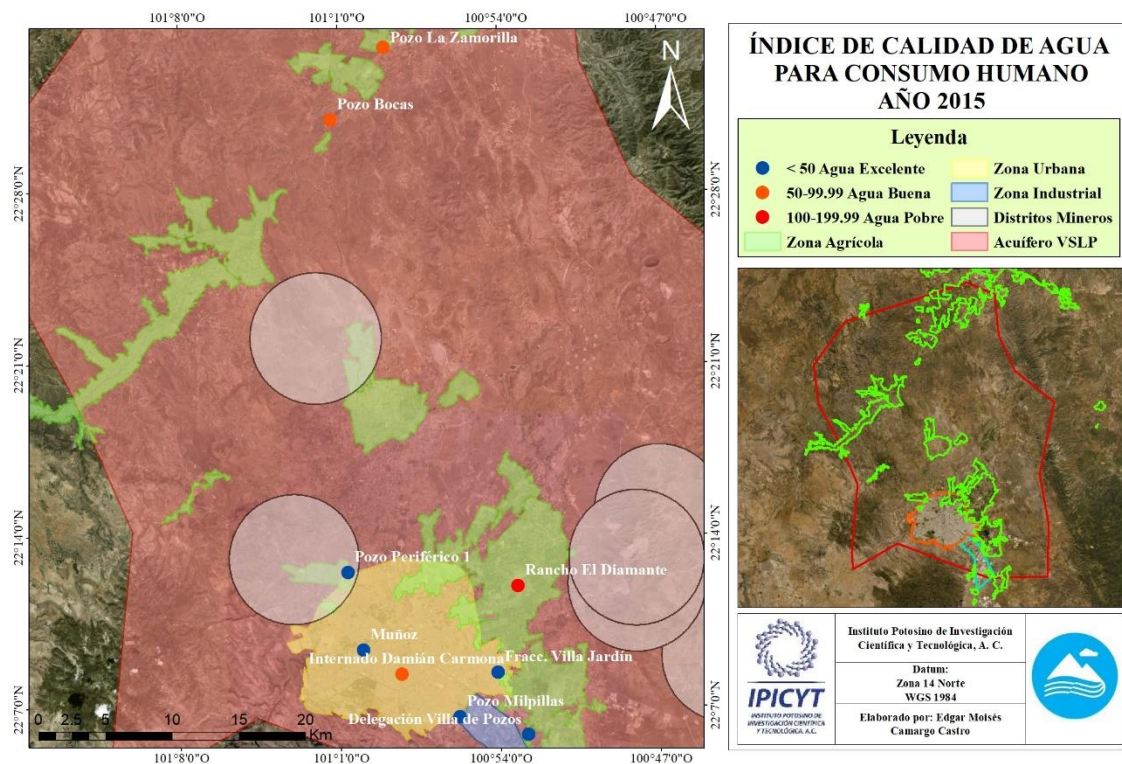


Figura 18. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2015.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

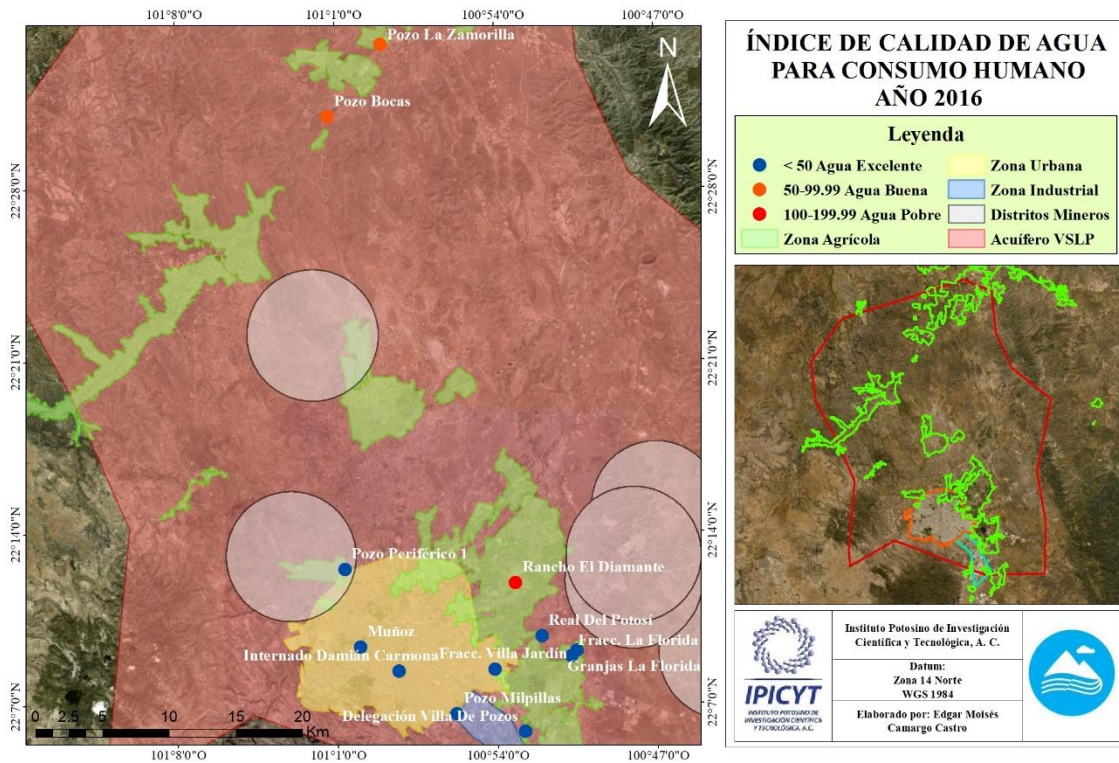


Figura 19. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2016.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

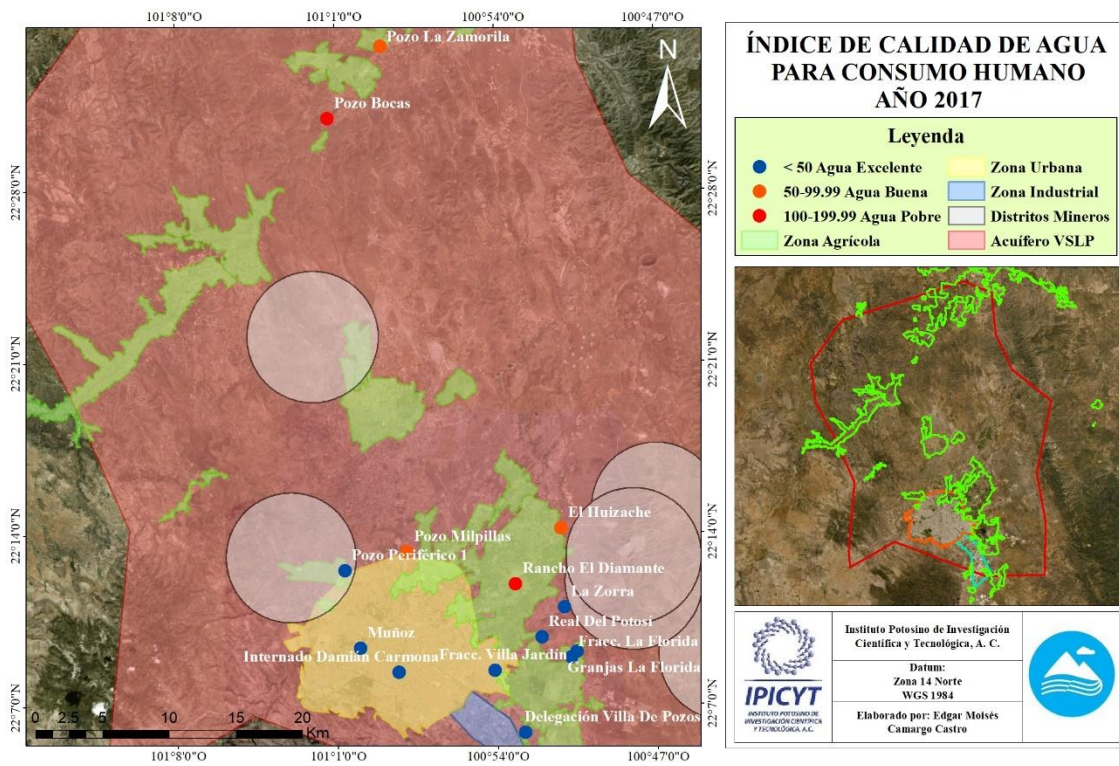


Figura 20. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2017.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

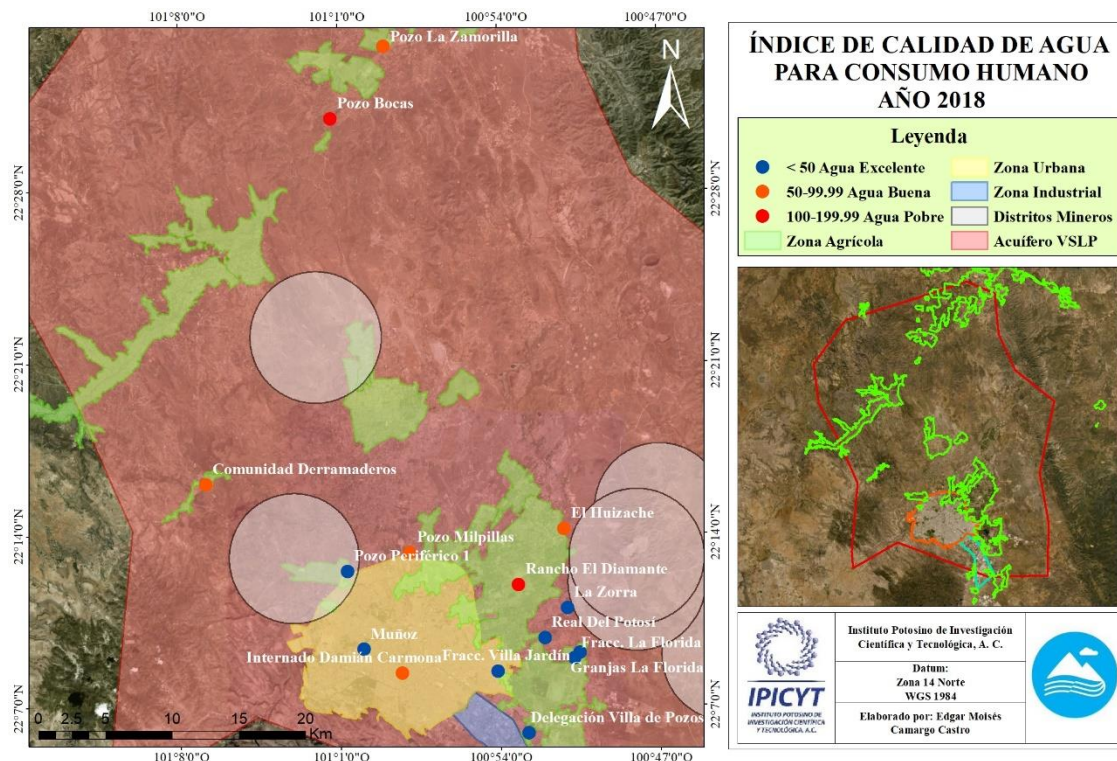


Figura 21. ICA para consumo humano del acuífero profundo en el año 2018.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

La zona de menor calidad se encuentra situada en una sección que atraviesa la Sierra de San Miguelito, zona industrial y una sección de la zona urbana (Almanza, 2015).

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que, el acuífero profundo no ha sufrido cambios significativos con el paso del tiempo, debido a que, las actividades antropogénicas de la región, no han influenciado a los niveles de contaminación estimados en los pozos. Estudios previos en el acuífero profundo de SLP, señalan que la alteración de la calidad del agua en pozos profundos, es de origen natural, principalmente por altos niveles de flúor y arsénico, originados por las rocas volcánicas que forman el acuífero (López-Álvarez et al., 2013).

9.4.2 Índice de calidad del agua para uso agrícola

La Figura 22 muestra la distribución de la calidad del agua para uso agrícola, en pozos profundos muestreados en el 2007, localizados en la zona de estudio.

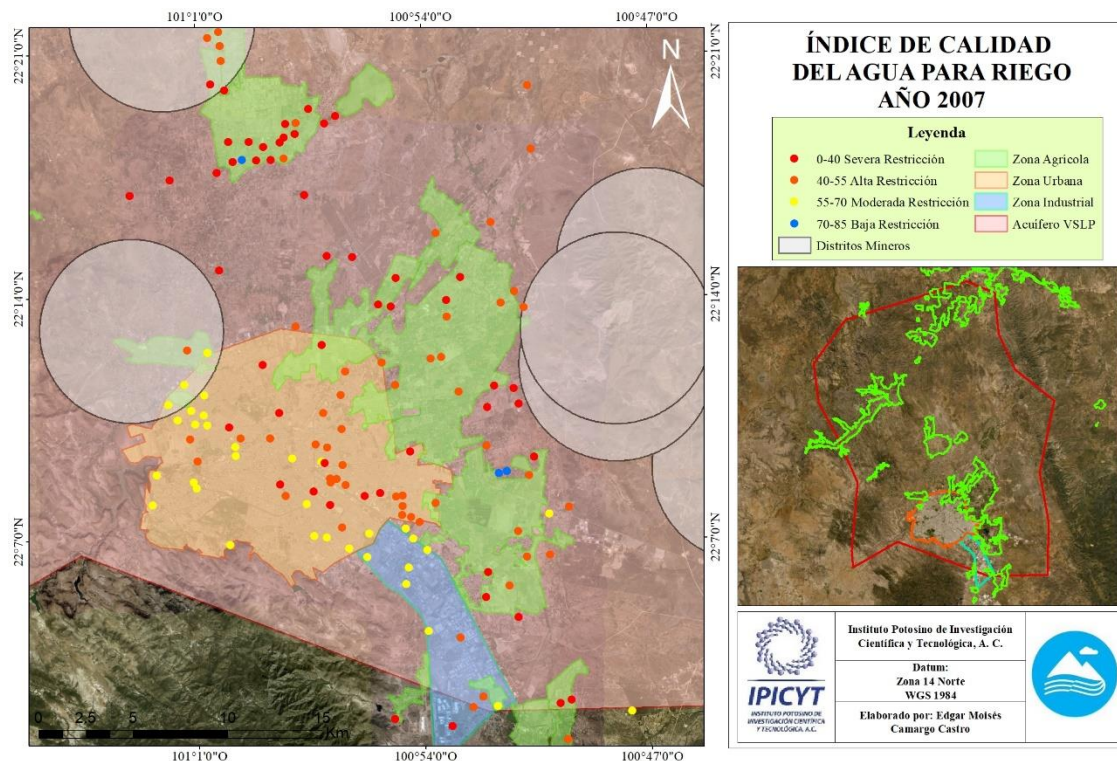


Figura 22. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2007.

Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

De acuerdo con los resultados del ICA para uso agrícola, en el 2007 el 39.42% del agua en el acuífero profundo se clasifica como de “alta restricción”. Estos pozos abarcan la mayor parte del VSLP. Las actividades antropogénicas desarrolladas podrían explicar el deterioro de la calidad del agua, ya que los pozos se ubican en el sector económicamente activo, y por la continua descarga de sus efluentes. Su aplicación es recomendable en suelos muy permeables y en programas de riego de alta frecuencia. Debe considerarse para el riego en cultivos con tolerancia moderada a alta de salinidad, excepto en agua con bajo contenido de Na^+ , Cl^- y HCO_3^- (Ayers & Westcot, 1994; CONAGUA, 2015).

El 35.21% de los pozos se clasifican como “severa restricción”, se encuentran en la zona urbana, agrícola e industrial. La zona más afectada es donde se realizan actividades agrícolas y en sitios donde ocurren procesos naturales, por lo tanto, estos pozos se encuentran afectados por la intensa actividad agrícola, así como por los procesos naturales. Aquellos que se localizan en las zona urbana y agrícola, se encuentran cercanos con otros pozos, por lo que, las descargas continuas de las actividades público-urbanas e industriales que se lleva a cabo, han perjudicado la calidad del agua de estos pozos, si su principal propósito es aplicarlos en las actividades agrícolas. Debe evitarse su uso para el riego en condiciones normales y debe usarse en cultivos con una alta tolerancia a sales (Ayers & Westcot, 1994; CONAGUA, 2015).

El 23.23% de los pozos se clasifican como “moderada restricción”, se ubican al noroeste en la zona urbana y minera, y al sur en la zona industrial. Estos pozos, no han recibido una alteración significativa, lo cual podría explicarse debido a que no existe una infiltración

directa al acuífero profundo de las descargas provenientes de las diferentes actividades antropogénicas que se llevan a cabo, por lo tanto, si estos pozos quieren destinarse a su aplicación agrícola, es recomendable usarse en suelos con moderada a alta permeabilidad y donde se procure una lixiviación moderada de sales para evitar su degradación; además de utilizarse en plantas con una tolerancia moderada a las sales (Ayers & Westcot, 1994; CONAGUA, 2015).

El 2.11% de los pozos se clasifican como “baja restricción”, se ubican al norte y noreste en la zona agrícola, además de colindar con pozos cuya calidad del agua para uso agrícola se encuentra bastante afectada. Es posible que, con el paso del tiempo, esta agua clasificada como de “baja restricción”, modifique su categoría, ya que las intensas actividades agrícolas y su proximidad a los otros pozos, podría alterar significativamente su calidad. Este tipo de agua es recomendable aplicarla en suelos con textura ligera o permeabilidad moderada, con la posibilidad de presentar riesgo elevado para cultivos con sensibilidad a la sal (Ayers & Westcot, 1994; CONAGUA, 2015).

La Figura 23 muestra la distribución de la calidad del agua para uso agrícola, que presentan los pozos profundos muestreados en 2012 y que se localizan en la zona de estudio.

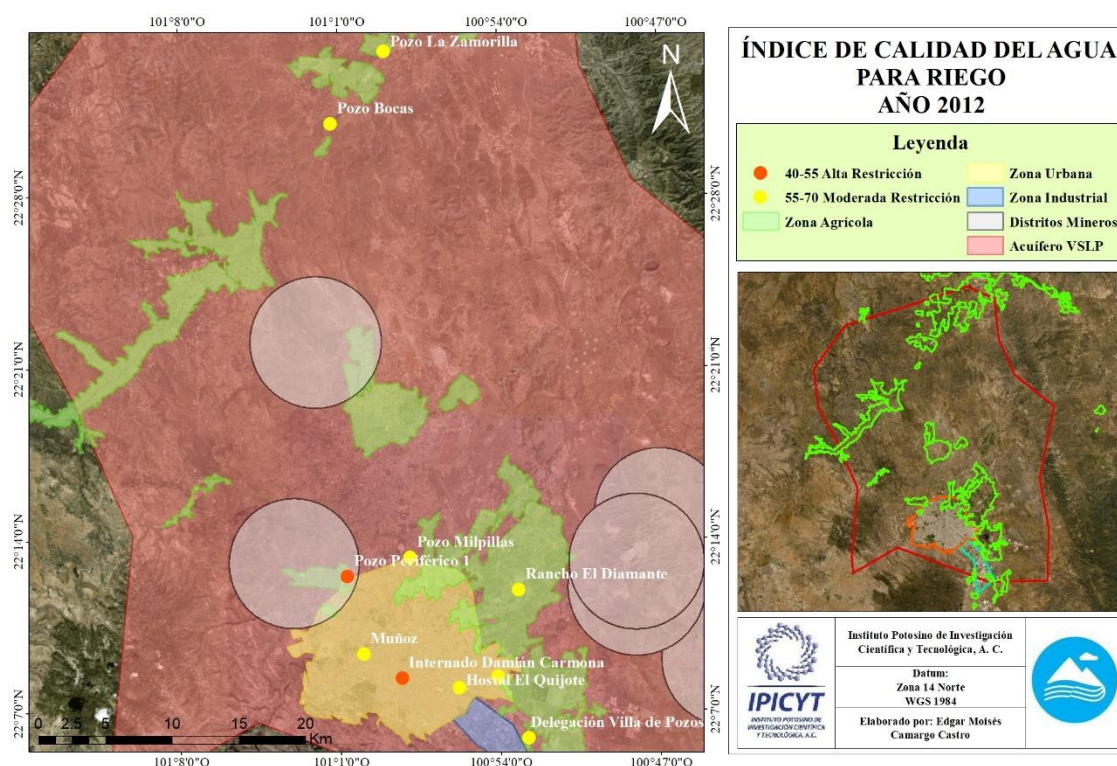


Figura 23. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2012.

Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

Para el año 2012, se observó un mejoramiento en la calidad del agua para la agricultura, el 90% de los pozos se clasificaron como de “moderada restricción”, abarcando la mayor parte del VSLP. Posteriormente para los años 2013, 2014, y 2015, la calidad del agua clasificada en esta categoría para esos pozos bajo a 70%, 60% y 66.66%. En el año 2016 y 2017 se

observó un menor porcentaje de pozos con agua de moderada calidad 25% y 28.57%, respectivamente. Posiblemente muchos de los iones contaminantes y sales contenidos en los efluentes público-urbanos, agrícolas, industriales, y mineros quedaron retenidos en el subsuelo sin llegar al acuífero profundo (Ayers & Westcot, 1994; CONAGUA, 2015).

Mientras que el 10% de los pozos se clasificaron como de “alta restricción”, esta agua se localiza en el centro de la zona urbana. En los siguientes años se encontró un aumento de los pozos clasificados como “alta restricción” de 20%, 30%, 22.22%, 41.66%, y 50% para los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017, respectivamente. La baja calidad del agua en estos pozos, podría ser asociada a fuentes naturales, debido a la sobreexplotación en algunos pozos (Ayers & Westcot, 1994; CONAGUA, 2015).

Cabe señalar que, a partir de los años 2014 (Figura 25), 2015 (Figura 26), 2016 (Figura 27), 2017 (Figura 28) y 2018 (Figura 29), el agua de los pozos analizados se clasificó en una tercera categoría “baja restricción”, abarcando un 10%, 11.11%, 25%, 14.28%, y 13.33%, respectivamente. Mientras que, en los años 2016, 2017 y 2018 la calidad del agua en algunos pozos empeoró, clasificándose en “altamente restrictivo” en un 8.33%, 7.14% y 6.66%, para su uso en la agricultura.

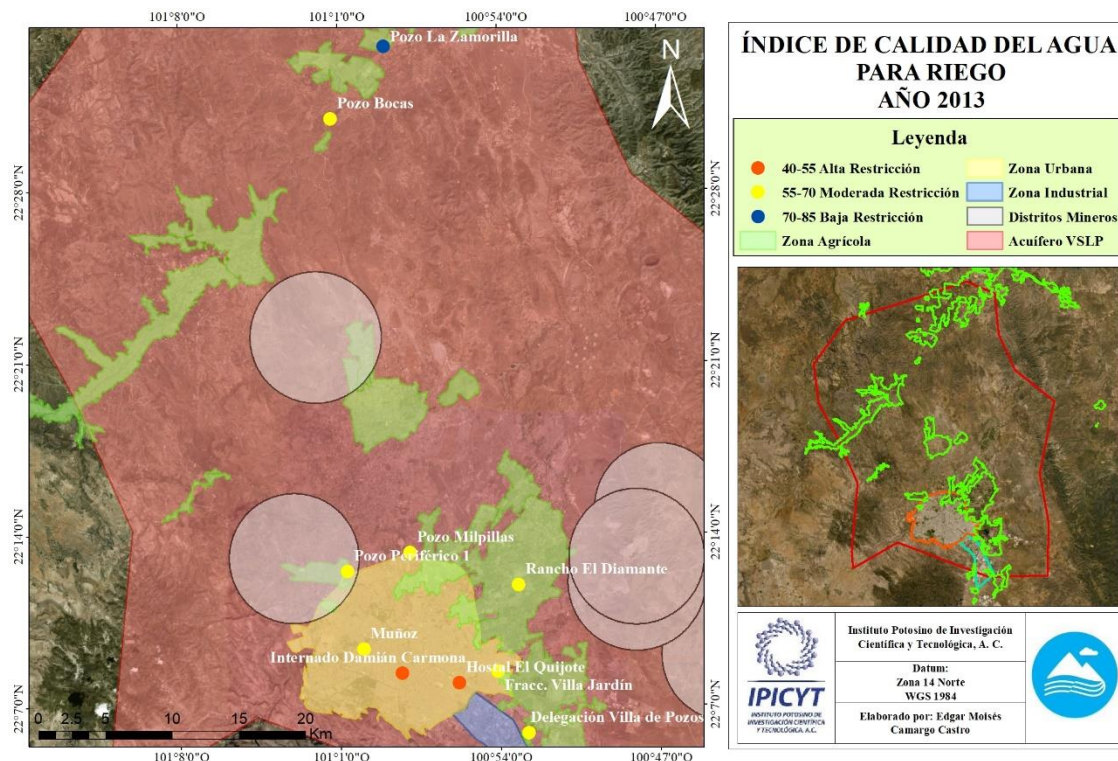


Figura 24. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2013.

Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

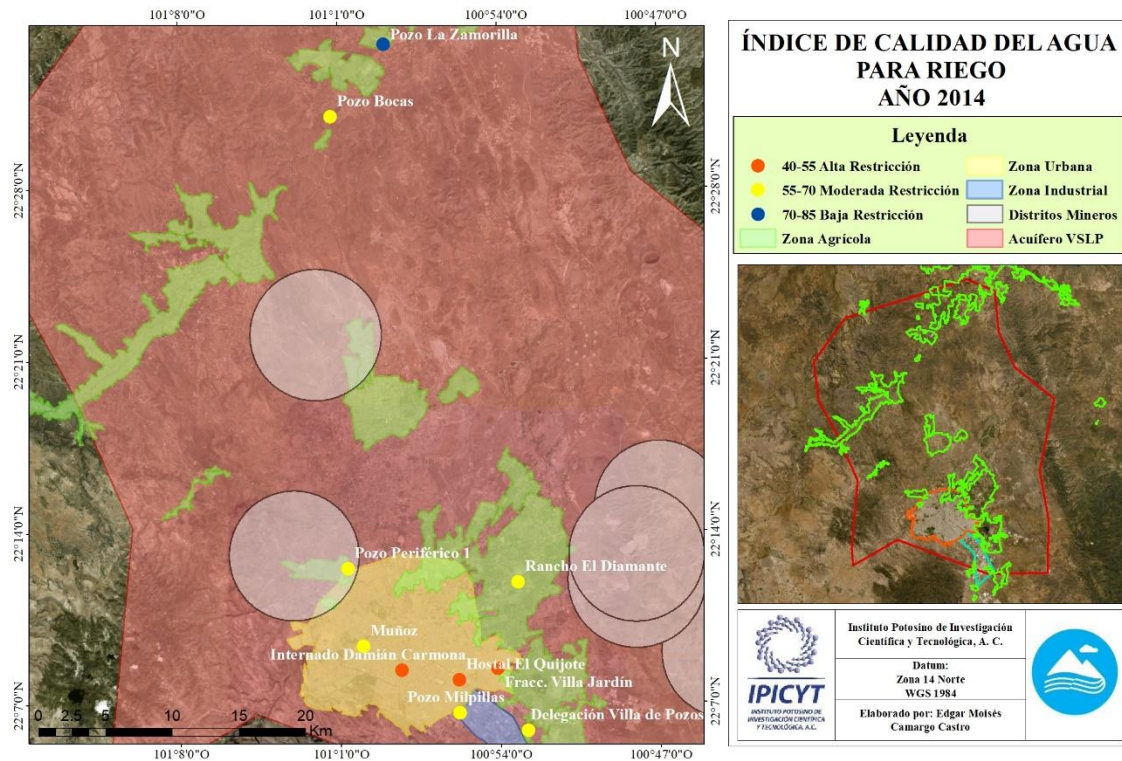


Figura 25. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2014.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

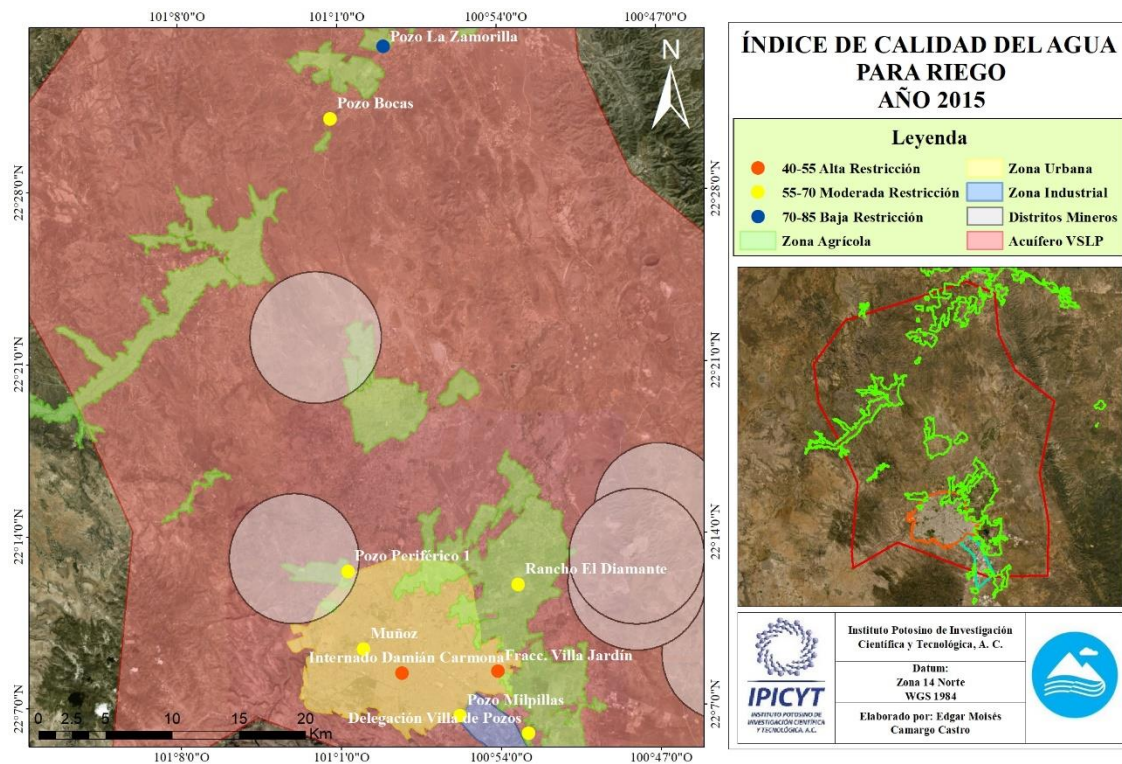


Figura 26. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2015.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

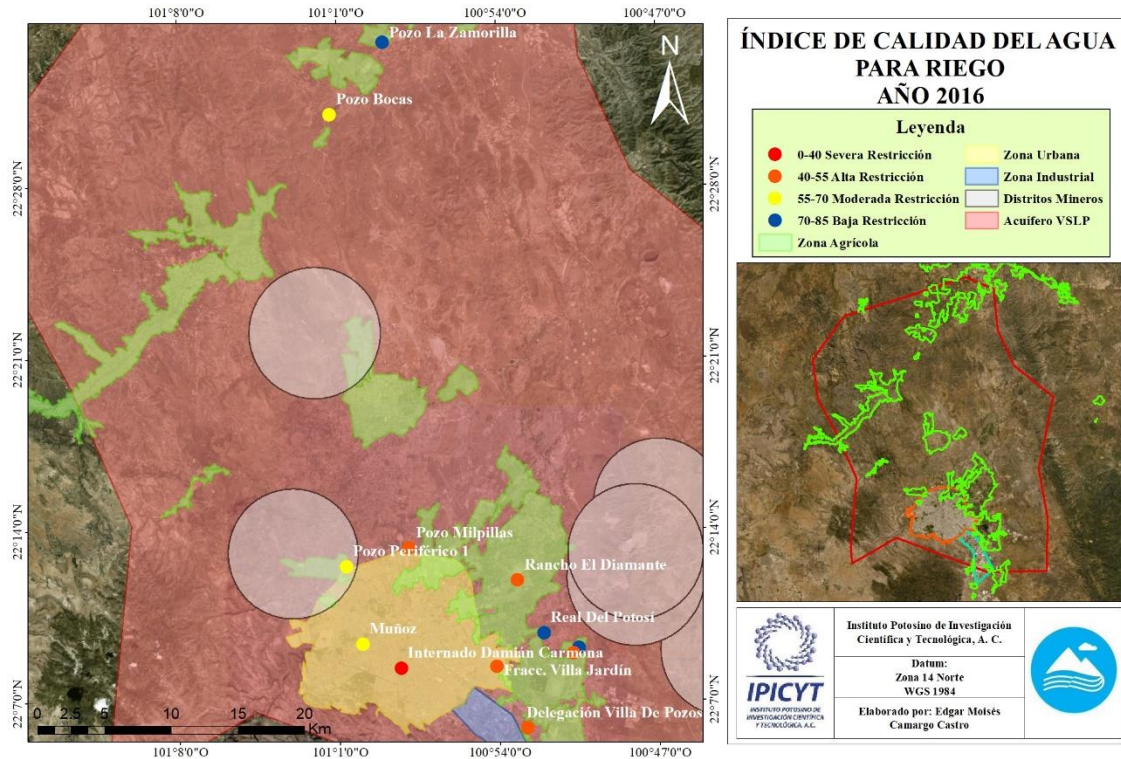


Figura 27. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2016.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

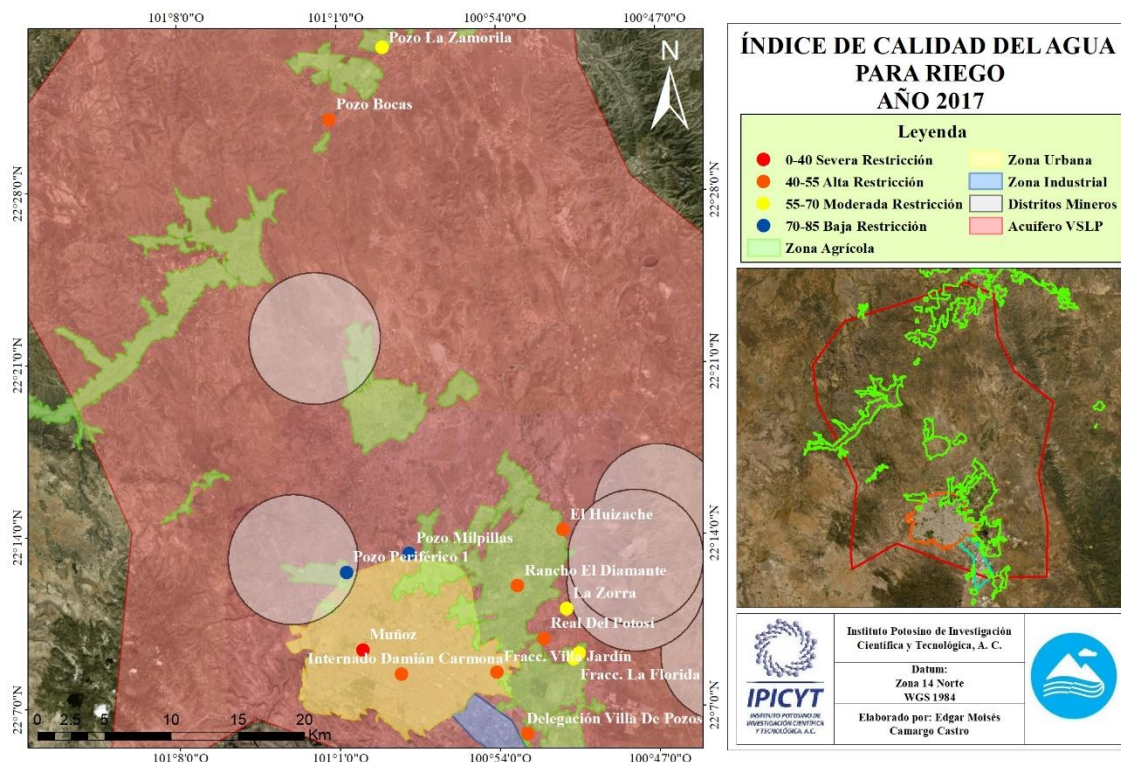


Figura 28. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2017.
 Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

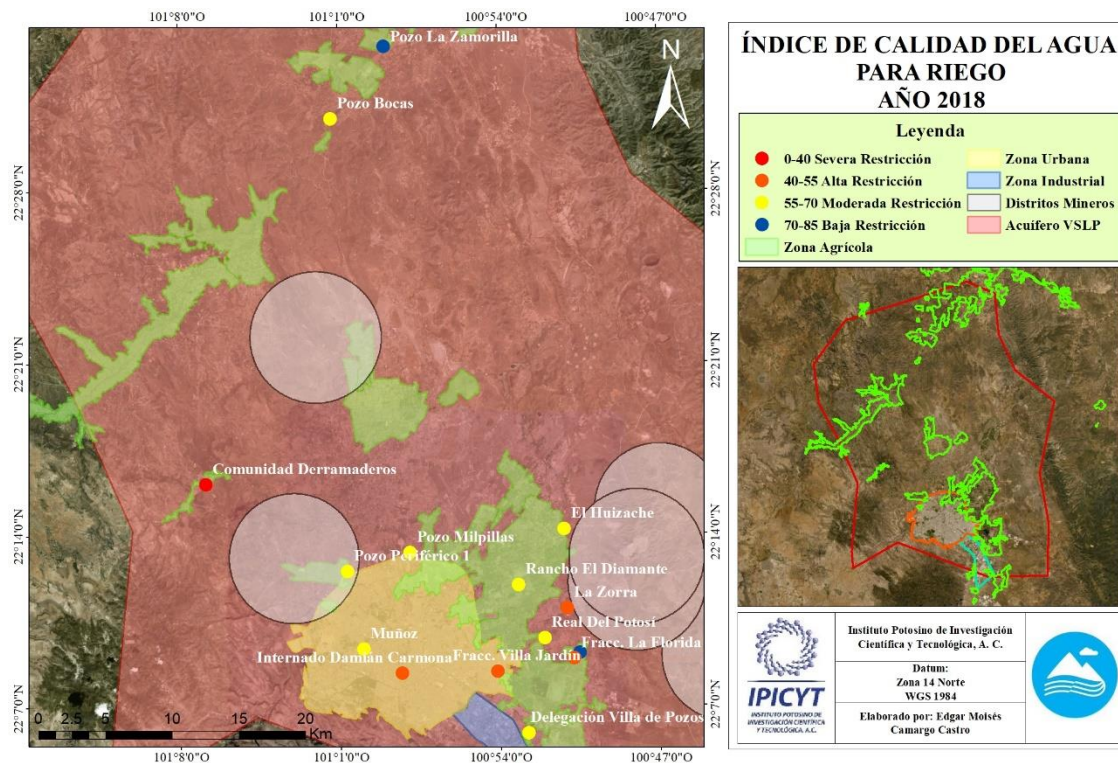


Figura 29. ICA para riego del acuífero profundo en el año 2018.

Fuente: Elaboración propia con datos de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 2016).

9.5 Caracterización de los niveles de arsénico y flúor en el acuífero somero

En el siguiente apartado se muestran los resultados de los análisis de arsénico y flúor en el agua del acuífero somero, muestreados en el año 2010.

9.5.1 Niveles de arsénico en el acuífero somero

En la Figura 30, se muestran las concentraciones de arsénico en pozos someros del VSLP.

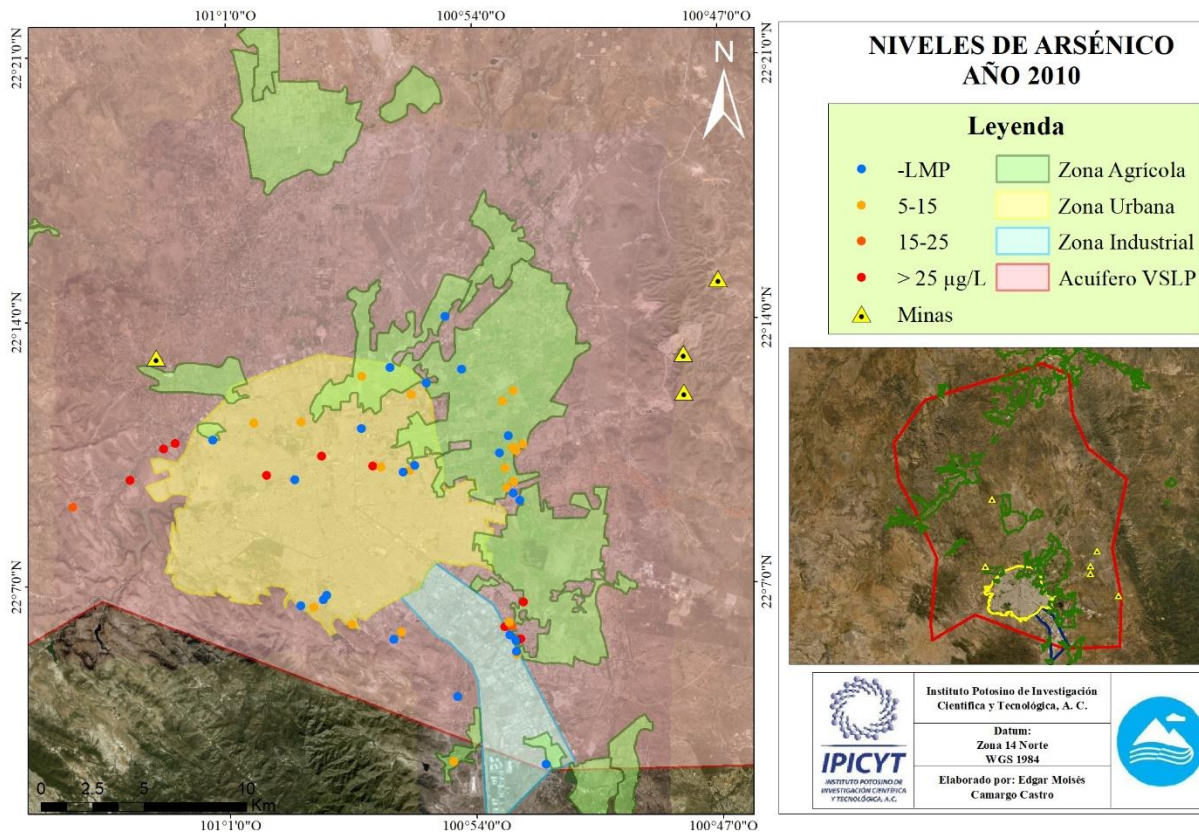


Figura 30. Concentraciones de arsénico del acuífero somero para el año 2010.

Según los resultados de las muestras de agua analizadas, en el año 2010 el 58.92% de los pozos rebasan los LMP establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (5 µg/L). Se encontraron valores que van de 5.1 – 80.3 µg/L. Estos pozos se ubican al este en la zona agrícola, al sureste cercano a la zona industrial, al oeste en las afueras de la zona urbana y en las cercanías de la zona minera, y en el centro de la zona urbana. Esto puede ser asociado a las actividades antropogénicas que se llevan a cabo cerca de estos pozos, las descargas continuas de aguas residuales, y los retornos de riego, que han afectado la calidad del agua y modificando su composición química.

Se observó que en este año el agua de 41.08% de los pozos no sobrepasó los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, se encontraron niveles de arsénico de 1.5 – 4.9 µg/L. Estos pozos se ubican al noreste, sureste y centro del VSLP. A pesar de que, la concentración de arsénico en estos pozos no rebasa los LMP, la influencia que presentan por las actividades antropogénicas es significativa, ya que se ha visto alterada su composición.

9.5.2 Niveles de flúor en el acuífero somero

En la Figura 31, se muestran las concentraciones de flúor, en pozos someros del VSLP.

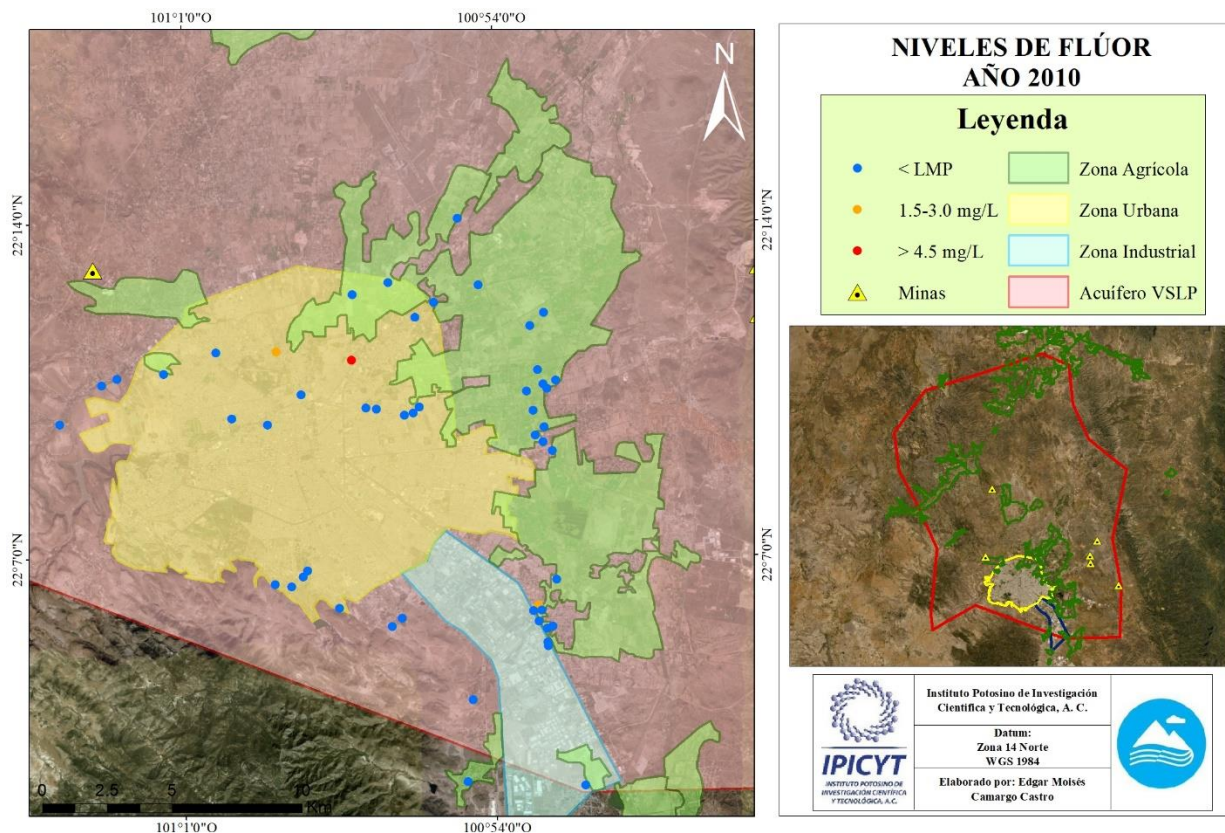


Figura 31. Concentraciones de flúor del acuífero somero para el año 2010.

De acuerdo con el análisis de los resultados, se encontró que el 7.15% de los pozos rebasan los LMP establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (1.5 mg/L), identificándose un valor máximo de 10.55 mg/L, en la zona urbana, y cerca de las la zona agrícola, por lo que, por lo tanto, los altos niveles de flúor pueden estar asociados a fuentes antropogénicas.

La mayoría de los pozos (92.85%) no sobrepasa el LMP de la NOM-127-SSA1-1994, se identificaron valores menores a 1.66 mg/L en pozos ubicados en la mayor parte del VSLP. Por lo tanto, es importante señalar que las actividades antropogénicas no han aportado de manera significativa flúor a los pozos someros.

9.6 Caracterización de los niveles de arsénico y flúor en el acuífero profundo

En la siguiente sección se presentan los resultados de los análisis de arsénico y flúor en el agua del acuífero profundo, durante el año 2007 y para los años 2012 a 2018.

9.6.1 Niveles de arsénico en el acuífero profundo

Cabe mencionar que, en los años 2007 y 2012, no se registraron análisis de concentraciones de arsénico. Por lo tanto, en la Figura 32, se muestran resultados de concentraciones de arsénico para los años 2013 a 2018, en pozos profundos del VSLP.

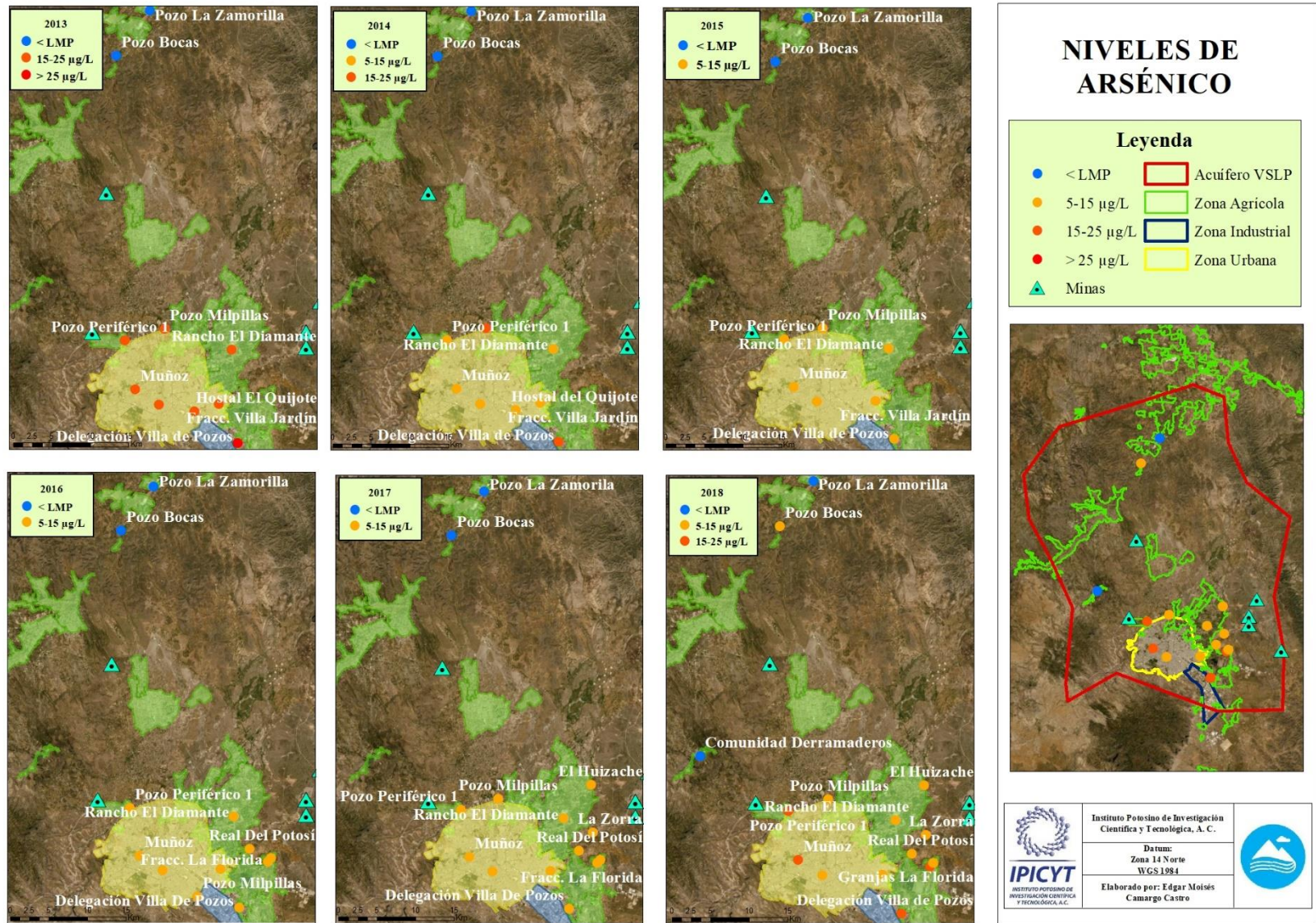


Figura 32. Concentración de arsénico del acuífero profundo de los años 2013 a 2018.

Según los resultados del año 2013, dos pozos (La Zamorilla y Bocas) presentan la menor concentración de arsénico (1.38 µg/L), no rebasando los LMP de la NOM-127-SSA1-1994 (5 µg/L). Asimismo, en los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, se mantienen los niveles de arsénico por debajo de la norma. Estos pozos se ubican en el norte del VSLP, y cerca de la zona agrícola. La presencia de este ion en el acuífero profundo puede estar relacionada a fuentes geogénicas del VSLP.

Por otra parte, se identificaron que cinco pozos (Frac. Villa Jardín, Hostal El Quijote, Internado Damián Carmona, Pozo Periférico y Rancho El Diamante), presentan valores muy altos de arsénico de hasta 15.8 µg/L. Mientras que, dos pozos (Muñoz y Milpillas) muestran concentraciones de 17 y 17.2 µg/L respectivamente, sobrepasando los LMP para arsénico. Todos los pozos se ubican en la zona urbana, excepto un pozo (Rancho El Diamante), ubicado en la zona agrícola. Los altos niveles de arsénico encontrados podrían relacionarse principalmente a la sobreexplotación del acuífero, y en menor medida a las actividades antropogénicas. Finalmente, el pozo “Delegación Villa de Pozos” presenta una concentración de 32.9 µg/L, ubicado al sur se encuentra entre la zona urbana, agrícola e industrial, sin embargo, la sobreexplotación del acuífero podría aportar la mayor cantidad de arsénico al agua y las actividades antropogénicas en menor medida.

De acuerdo con los resultados del año 2014, todos los pozos presentan una disminución en sus valores de concentración, a diferencia de los años anteriores, a excepción de dos pozos (La Zamorilla y Bocas) que mantienen sus niveles. Los demás disminuyeron su concentración hasta 11.6 - 11.8 µg/L, 15 y 15.4 µg/L respectivamente siendo estos últimos los que presentan una disminución poco significativa, sin embargo, aún se encuentran por encima de los LMP de la normativa. Finalmente, el pozo “Delegación Villa de Pozos” es el que presenta una disminución significativa, la cual se encuentra en 15.1 µg/L.

Para el año 2015, la concentración de arsénico en los pozos profundos continúa con la tendencia de disminuir, a excepción de dos pozos (La Zamorilla y Bocas) que se mantienen constantes y el pozo “Muñoz” vuelve a aumentar su concentración (14.7 µg/L). El pozo “Milpillas” presenta una concentración de 14.3 µg/L, siendo las más elevadas junto al pozo “Muñoz”, los pozos “Frac. Villa Jardín”, “Internado Damián Carmona”, “Rancho El Diamante”, “Pozo Periférico” y “Delegación Villa de Pozos” disminuyen de 10.7 a 10.9 µg/L, siendo el último, el que ha mostrado una disminución significativa de arsénico. El pozo “Hostal Del Quijote” desaparece de la base de datos, por lo que no es considerado para años posteriores.

Para el año 2016, se añaden cuatro pozos: “Real del Potosí”, El Huizache”, “Granjas La Florida” y “Frac. La Florida”, les corresponden concentraciones de 9.8 µg/L a los tres primeros, y 11.1 µg/L para el último. Los pozos “Frac. Villa Jardín”, “Internado Damián Carmona”, “Milpillas”, “Periférico” y “Rancho El Diamante” disminuyen su concentración hasta 9.8 µg/L. El pozo “Muñoz” aumenta su concentración (14.8 µg/L). Todos los pozos, siguen presentando niveles por encima de los LMP de la norma, con excepción de los pozos “La Zamorilla” y “Bocas” que no presentan cambios.

Para el año 2017, se agrega un nuevo pozo: “La Zorra”, cuya concentración de arsénico es 10.25 µg/L, los pozos “Real del Potosí”, “El Huizache”, “Fracc. La Florida”, “Fracc. Villa Jardín”, Internado Damián Carmona”, “Pozo Periférico” y “Rancho El Diamante” disminuyeron su concentración (7.1 µg/L), el pozo “Milpillas” presenta una concentración de 7.2 µg/L y el pozo “Granjas La Florida” presenta una concentración de 7.95 µg/L. Finalmente, el pozo “Delegación Villa de Pozos” presenta una disminución poco significativa en comparación con el año anterior (9.7 µg/L), y el pozo “Muñoz” muestra una disminución en comparación con el año anterior (10.4 µg/L). Los pozos aún presentan concentraciones de arsénico por encima de los LMP establecidos en la normativa, con excepción de los pozos “La Zamorilla” y “Bocas”, cuya concentración no varía.

Para el año 2018, se agregó un pozo (Comunidad Derramaderos), con una concentración de 1.38 µg/L, igual a la del pozo “La Zamorilla”. Para los demás pozos (Fracc. Villa Jardín, Granjas La Florida, Internado Damián Carmona, Milpillas y Rancho El Diamante), aumentan sus concentraciones de arsénico hasta 10.2 µg/L, mientras que dos pozos (Real del Potosí y La Zorra) aumentan sus niveles hasta 13.1 µg/L y 14.2 µg/L, respectivamente. Es importante señalar que cuatro pozos (Los pozos Florida, Delegación Villa de Pozos, Muñoz y Periférico) presentaron un aumento significativo de arsénico de 16.2 µg/L, 18.5 µg/L, 22.4 µg/L y 23.1 µg/L respectivamente. De manera general todos los pozos tienen concentraciones de arsénico por arriba de los LMP establecidos en la norma mexicana.

9.6.2 Niveles de flúor en el acuífero profundo

En la Figura 33 se muestra la distribución espacial de concentraciones de flúor para los pozos correspondientes al acuífero profundo de la base de datos de 2007.

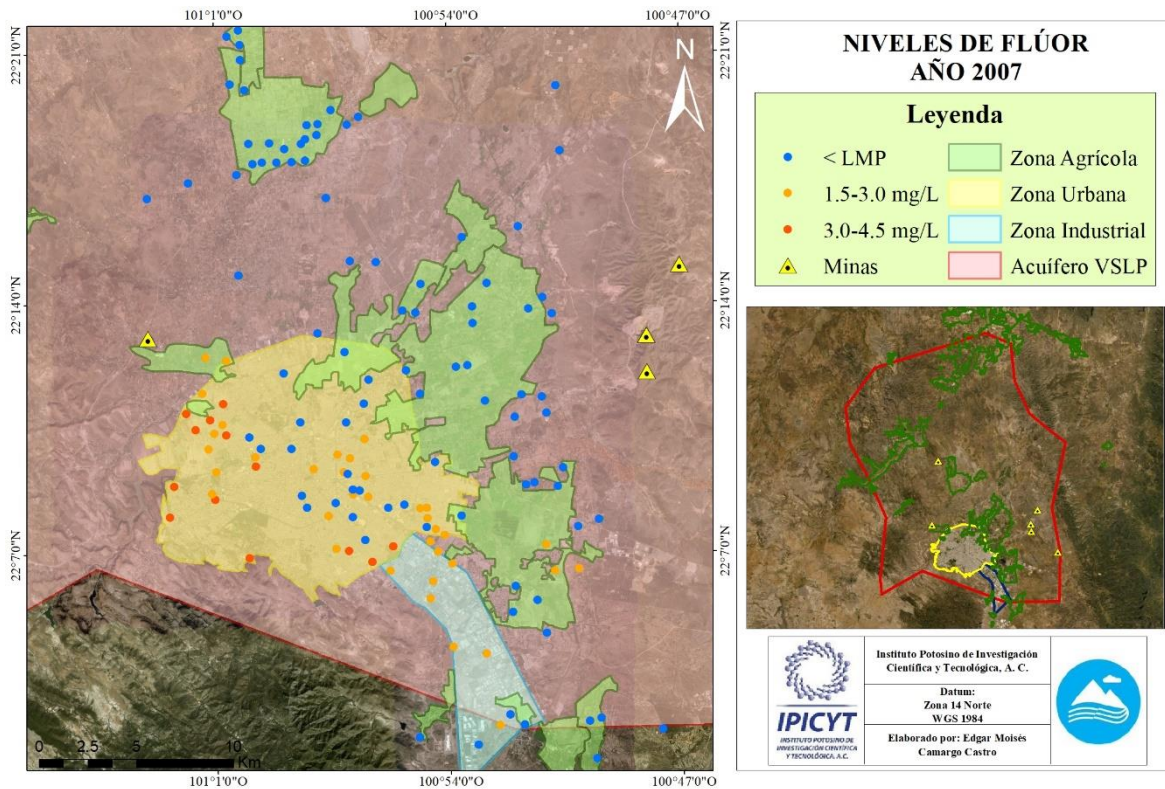


Figura 33. Concentraciones de flúor del acuífero profundo para el año 2007.

El 34.5% de los pozos presenta concentraciones que rebasan (1.6 – 4.3 mg/L) los LMP establecidos en la normativa (1.5 mg/L). Se ubican al oeste de la zona urbana y en la parte central, al sur en la zona industrial, lo que podría indicar que la sobreexplotación a la que se encuentra sometido el acuífero profundo para abastecer a las fuentes de agua potable de la población, ha alterado los niveles de flúor en el agua.

El 65.5% de los pozos presenta concentraciones de flúor por debajo (0.18 – 1.48 mg/L) de los LMP establecidos en la normativa (1.5 mg/L). Se ubican al este y al norte, en la zona agrícola y al sur en la zona industrial. Estos pozos pueden verse influenciados por las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en estos sitios, además, es posible que la sobreexplotación del acuífero profundo no se extienda hasta estas zonas, por lo que, el agua perteneciente a estos pozos, no se ve alterada respecto a su calidad.

La Figura 34 muestra la concentración de flúor de los pozos correspondientes al acuífero profundo, que fueron muestreados en los años de 2012 a 2018.

En el año 2012, un pozo (Muñoz) presenta la concentración más elevada de flúor (4.1 mg/L), seguido de los pozos “Milpillas”, “Periférico”, “Delegación Villa de Pozos”, “Fracc. Villa Jardín” y “Hostal El Quijote”, cuyos valores de concentración se encuentran entre 2.268 y 3.9418 mg/L; se ubican en la zona urbana, en la zona industrial y cercanos a la zona agrícola, siendo los que sobrepasan los LMP de la normativa. La presencia de flúor puede deberse a la sobreexplotación del acuífero, por la geología local y un aporte de las actividades antropogénicas. Los pozos “Bocas”, “Internado Damián Carmona”, “La Zamorilla” y

“Rancho El Diamante” no sobrepasa los LMP, se encuentran en un rango de 0.399 a 0.7821 mg/L, se ubican al este y al norte en la zona agrícola, con excepción del pozo “Internado Damián Carmona” ubicado al centro de la zona urbana. Al encontrarse alejados de la zona urbana, es posible que no presenten sobreexplotación, y los niveles de flúor que presentan se originen por los procesos de disolución de los minerales.

Para el año 2013, el pozo “Muñoz” presenta la mayor concentración de flúor (4.713 mg/L) aumentando en comparación con el año anterior. Los pozos “Milpillitas”, “Delegación Villa de Pozos”, “Periférico” y “Fracc. Villa Jardín” presentan concentraciones que rebasan los LMP (1.864 y 4.047 mg/L) por lo que no varía con respecto al año anterior. El pozo “Hostal El Quijote” disminuye su concentración significativamente (1.444 mg/L) pues no rebasa los LMP. Los pozos “Bocas”, “Zamorilla”, “Internado Damián Carmona” y “Rancho El Diamante” mantiene su concentración entre 0.346 y 0.8382 mg/L, por lo que no hay un aporte considerable de flúor a estos pozos en comparación con el año anterior.

Para el año 2014, el pozo “Muñoz” continúa con la concentración más elevada (4.195 mg/L), el pozo “Hostal El Quijote” aumenta su concentración hasta 1.555 mg/L, sobrepasando los LMP, al igual que los pozos “Milpillitas”, “Delegación Villa de Pozos”, “Periférico” y “Fracc. Villa Jardín” que continúan con concentraciones por encima de los LMP (1.994 – 3.546 mg/L). Los pozos “Bocas”, “Internado Damián Carmona”, “La Zamorilla” y “Rancho El Diamante” se mantienen por debajo de lo establecido en la normativa (0.345 – 0.79 mg/L).

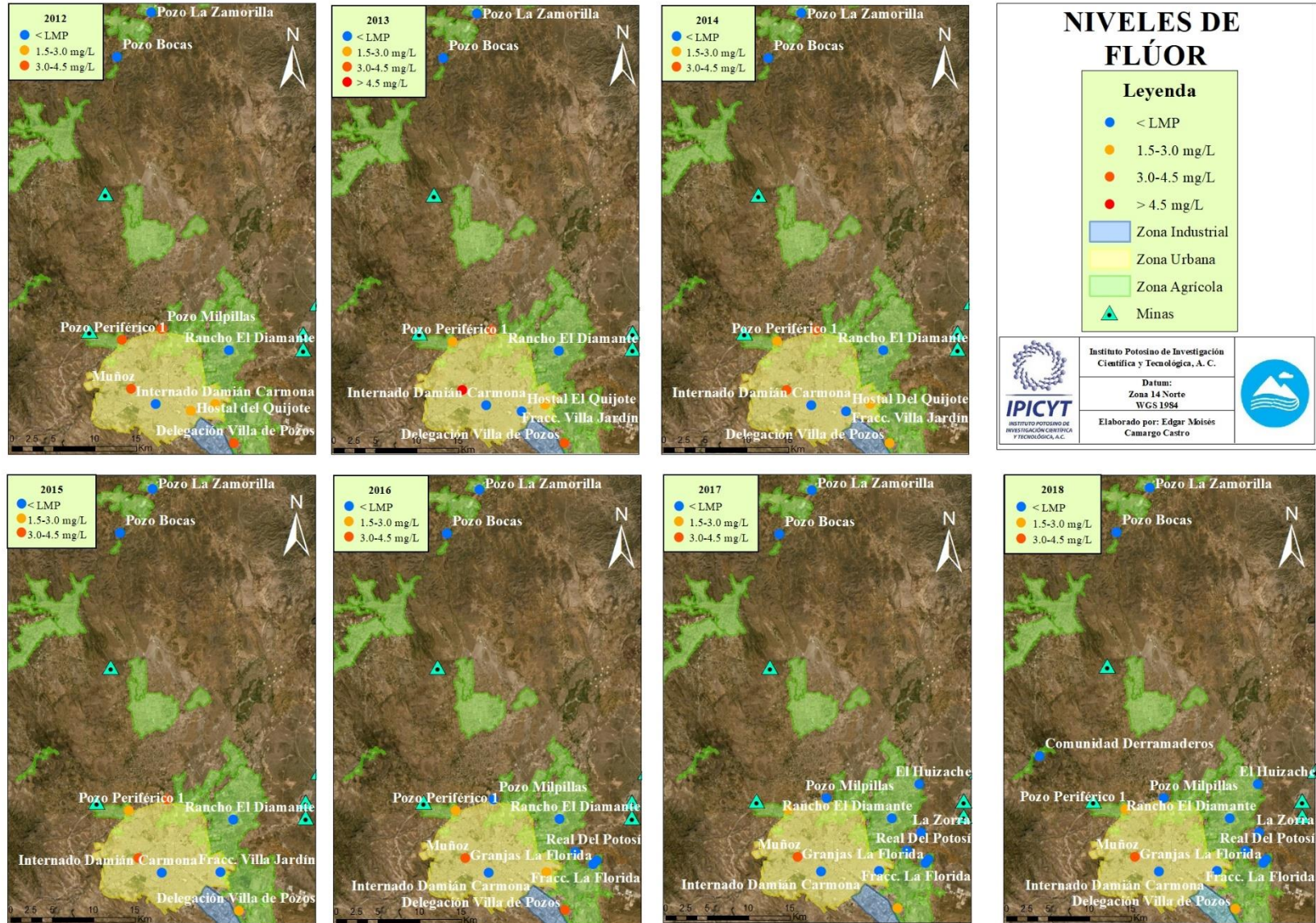


Figura 34. Concentración de flúor del acuífero profundo de los años 2012 a 2018.

En el año 2015 desaparece el pozo “Hostal El Quijote”, por lo que no se toma en cuenta para años posteriores. El pozo “Muñoz” continúa con la concentración más elevada de flúor (3.5262 mg/L). Los pozos “Milpillás”, “Delegación Villa de Pozos” y “Periférico” se mantienen con concentraciones por encima de lo permitido. El pozo “Fracc. Villa Jardín”, disminuye considerablemente su concentración respecto a los años anteriores (0.9297 mg/L) presentando junto a los pozos “Bocas”, “La Zamorilla”, “Internado Damián Carmona” y “Rancho El Diamante”, concentraciones de flúor por debajo del LMP (0.3497 – 0.75319 mg/L).

En el año 2016 se añaden tres pozos nuevos: “Fracc. La Florida”, “Real Del Potosí” y “Granjas La Florida”, cuyas concentraciones de flúor son 1.4112 mg/L, 1.1562 mg/L y 0.7109 mg/L respectivamente. Se ubican al este en la zona agrícola e industrial, por lo que es posible que, la geología de la región sea la que esté aportando las concentraciones de flúor en estos pozos, además, ninguno de ellos rebasa los LMP establecidos. El pozo “Muñoz” continúa con la concentración más elevada de flúor (4.2327 mg/L) aumentando en comparación con el año anterior. Los pozos “Delegación Villa de Pozos” y “Periférico” continúan con concentraciones que rebasan los LMP (3.0748 mg/L y 2.4239 mg/L respectivamente), el pozo “Fracc. Villa Jardín” incrementa su concentración (2.0741 mg/L) con respecto al año anterior. Los pozos “Bocas”, “Internado Damián Carmona”, “La Zamorilla” y “Rancho El Diamante” mantienen su valor (0.312 – 0.7906 mg/L) por debajo de los límites aceptables. El pozo “Milpillás” muestra un decremento significativo en su concentración de flúor respecto a los años anteriores (1.1186 mg/L).

En el año 2017 se añaden dos nuevos pozos: “La Zorra” y “El Huizache”, cuya concentración de flúor es 0.789 mg/L y 0.4339 mg/L respectivamente, se ubican al este en la zona agrícola, por lo que, es probable que el aporte de flúor al agua sea por la geología del acuífero. Los pozos “Periférico”, “Delegación Villa de Pozos” y “Muñoz”, se mantienen con la mayor concentración (2.2143 – 4.339 mg/L) rebasando los LMP, mientras que, los pozos restantes no varían su valor con respecto a los años anteriores (0.2747 – 1.2415 mg/L). Sin embargo, el pozo “Fracc. Villa Jardín” muestra un decremento significativo con respecto al año anterior (0.7075 mg/L).

En el año 2018 se agrega un nuevo pozo: “Comunidad Derramaderos”, se ubica al noroeste cercano a las actividades agrícolas y cuya concentración es 0.6346 mg/L, el cual puede originarse de forma natural por la geología del lugar. Al igual que el año anterior, los pozos “Periférico”, “Delegación Villa de Pozos” y “Muñoz”, se mantienen como los de mayor concentración para este año (2.4964 – 3.2651 mg/L) rebasando los LMP, mientras que, los pozos restantes no varían su valor con respecto a los años anteriores (0.2747 - 1.4678 mg/L).

9.7 Análisis de la variación temporal de la calidad del agua

Se determinaron las variaciones temporales de parámetros que sobrepasaron los LMP establecidos por la NOM-SSA1-1994, durante los años de años de 2007, 2010, y 2012-2018 en el acuífero somero y profundo de SLP.

9.7.1 Patrones temporales de los niveles de arsénico

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua de pozos norias en el VSLP, se observó que los niveles de arsénico rebasaron los límites máximos permisibles (LMP) de la NOM-127-SSA1-1994. En la Figura 35, se muestra el análisis de las variaciones de arsénico en los pozos muestreados en el año 2010.

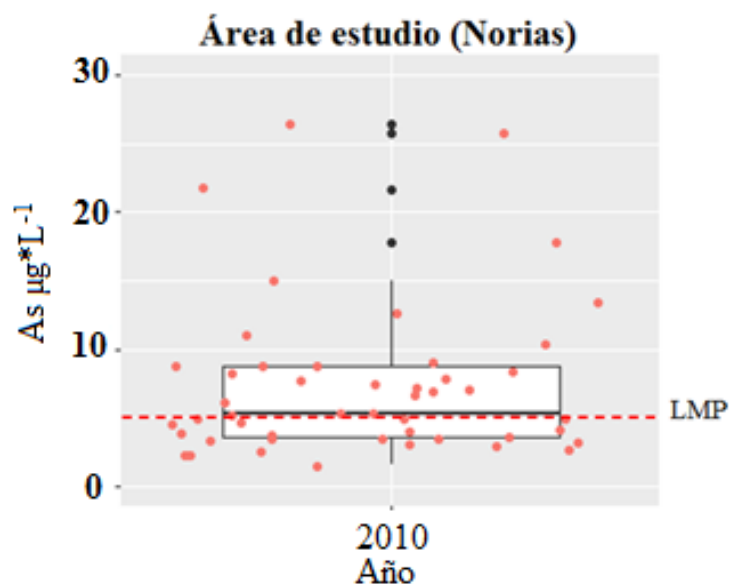


Figura 35. Variación de los niveles de arsénico en el acuífero somero.

El diagrama de caja muestra que más del 50% de los pozos analizados rebasan el LMP de concentración de arsénico, con niveles son mayores de 5 µg/L. Se observaron concentraciones típicas de 2.5 a 15 µg/L de arsénico. También se encontraron valores muy altos (> 25 µg/L) en algunos pozos. Posiblemente estos valores atípicos podrían estar relacionados a fuentes de contaminación puntual como: mayor volumen de aguas residuales descargadas. Asimismo, mayor empleo de aguas residuales en la agricultura, aplicación de agroquímicos y retornos de riego con grandes cantidades de sales y iones contaminantes en las zonas agrícolas.

Respecto a los datos de 2007, cabe mencionar que en este año no se analizaron concentraciones de arsénico, por lo que solo se presentan resultados para los años 2012-2018. En la Figura 36, se muestra el análisis de la variación temporal de las concentraciones de arsénico en pozos del acuífero profundo, muestreados en el periodo de años de 2012 a 2018.

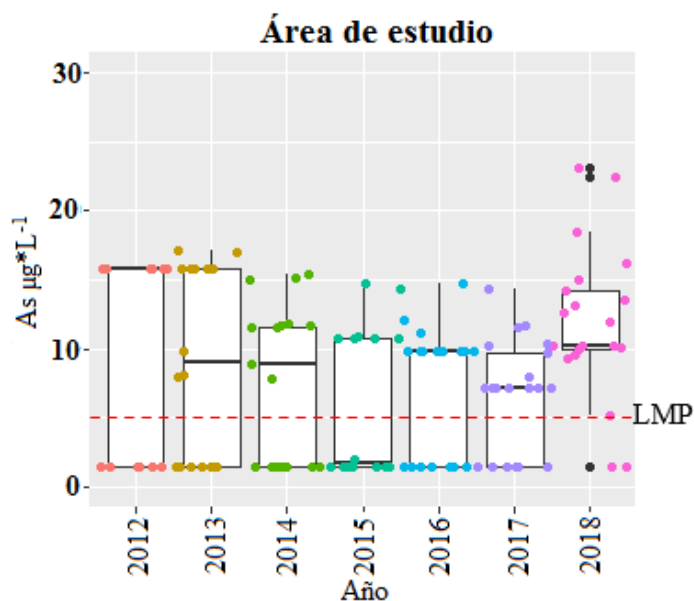


Figura 36. Variaciones temporales de arsénico en el período de años 2012 a 2018.

Respecto al análisis de las variaciones temporales de los niveles de arsénico durante el período de años de 2012 -2018, cabe mencionar lo siguiente: en el año 2012 y 2013 se observaron concentraciones mínimas y máximas de arsénico entre 1 $\mu\text{g/L}$ y 16 $\mu\text{g/L}$. Se encontró que el 50% de los pozos presentó concentraciones promedio mayores a 5 $\mu\text{g/L}$, rebasando los LMP de la NOM-127-SSA1-1994. Asimismo, cabe mencionar que en el año 2013 se encontraron 2 valores atípicos de 17.5 $\mu\text{g/L}$, los cuales están relacionados a la contaminación puntual de dos pozos de riego agrícola. Si bien en el año 2014, el 50% de los pozos muestreados presentaban niveles de arsénico mayores a 5 $\mu\text{g/L}$, no así para el año 2015, pues se encontraron niveles muy por debajo de los LMP de la norma. También se observó que para ambos años los niveles máximos fueron menores a los años anteriores, posiblemente el período de muestreo fue en temporada de lluvia por lo que hubo mayor dilución de las concentraciones de arsénico. Para el año 2016 y 2017 aumentaron notablemente los niveles de arsénico, se observó más el 50% de los pozos analizados tenían niveles de 10 y 7.5 $\mu\text{g/L}$ muy por arriba de los LMP de la NOM-127-SSA1-1994 (5 $\mu\text{g/L}$). Sin embargo, cabe mencionar que para el año 2018 la mayoría de los pozos muestreados presentaban concentraciones muy altas de 10 hasta 24 $\mu\text{g/L}$, excepto tres pozos que tenían niveles menores a 5 $\mu\text{g/L}$. De acuerdo con el análisis de las variaciones temporales se observó que una tendencia al aumento de los niveles de arsénico, a partir de los años 2016, 2017 y 2018.

9.7.2 Patrones temporales de los niveles de flúor

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua de pozos noria en el acuífero somero de SLP, se observó que los niveles de flúor en la mayoría de los pozos, no rebasan los LMP de la NOM-127-SSA-1994 (1.5 mg/L) en agua de consumo. En la Figura 37, se muestra el análisis de las variaciones de las concentraciones de flúor en los pozos muestreados en el año 2010.

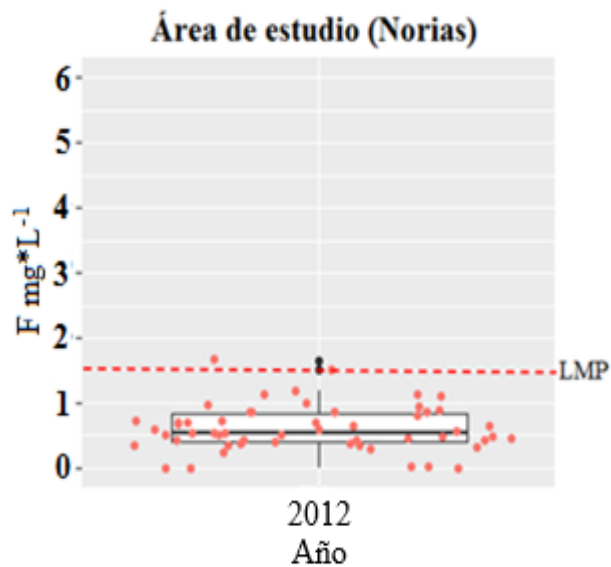


Figura 37. Variación de los niveles de flúor en el acuífero somero.

El Diagrama de caja muestra que el 50% de los pozos analizados tienen niveles de flúor por arriba de 0.5 mg/L. Esto se puede explicar porque son pozos someros, pues en estudios previos en el VSLP, se ha reportado que altos niveles de flúor se encuentran en capas más profundas del acuífero, y dato que su fuente es natural es muy común encontrarla en grandes concentraciones en pozos sobreexplotados. También se pudo detectar valores atípicos leves en dos pozos, y podría estar asociado a los efluentes de minería y/o de industria que son vertidos y empleados en el riego agrícola.

Dado que en el año 2007 no se hicieron análisis de flúor en el acuífero profundo, sólo se presentan resultados del período de años 2012-2018. En la Figura 38, se muestra las variaciones temporales de flúor en los pozos analizados en este período de años. Es importante señalar que, en el año 2012, la mitad de los pozos analizados tenían concentraciones de flúor muy por debajo de los LMP (1.5 mg/L) de la NOM-127-SSA-1994 de agua para consumo humano. Mientras que el resto presentaban niveles de hasta 4 mg/L. Esto puede estar relacionado a su localización, pues muchos de los pozos se encuentran alejados de la zona urbana y de las zonas mineras e industrial.

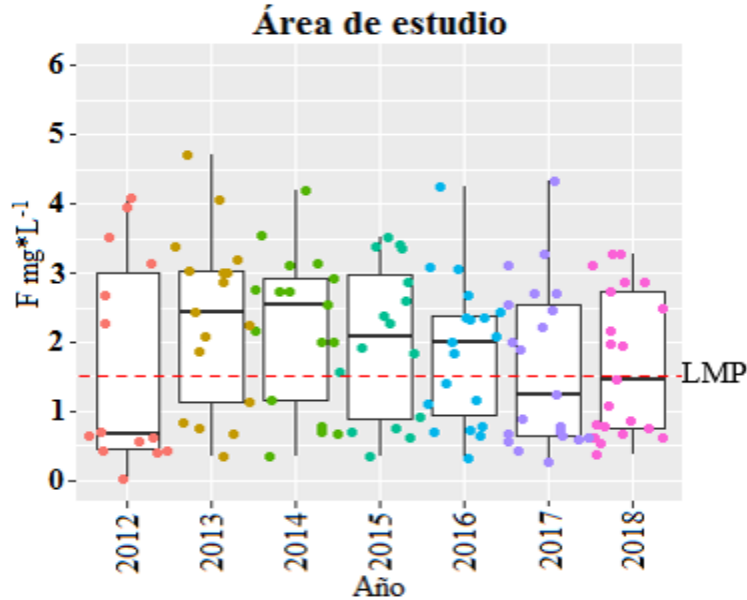


Figura 38. Variaciones temporales de flúor en el periodo de años 2012 a 2018.

En los años 2013 y 2014 se encontró un aumento considerable con rangos de 0.5 a 4.5 mg/L en los niveles de flúor, donde la mayor parte de los pozos tenían niveles muy por arriba de los LMP (1.5 mg/L) de la norma oficial mexicana. Esto podría ser explicado por el crecimiento de la zona urbana e industrial que conllevó al aumento de los efluentes y con ello un mayor volumen en el uso de aguas residuales para el riego agrícola. Si bien, en los años 2015 y 2016 los niveles de flúor del 50% de los pozos analizados seguían por arriba de los LMP de la norma mexicana, se pudo apreciar que los rangos máximos fueron menores que en años anteriores. Esto puede ser explicado porque el muestreo probablemente se realizó en la temporada de lluvias, por lo que hay mayor dilución del contaminante. Respecto a los años 2017 y 2018, se pudo observar que el 50% los pozos se encontraban ligeramente por debajo del LMP (1.5 mg/L). Mientras que los rangos fueron menores a 3.5 mg/L, a diferencia de los años anteriores. Posiblemente estos pozos fueron muestreados en temporada húmeda y/o en estos años se haya empezado a extraer agua en otros pozos nuevos cercanos, lo que pudo haber equilibrado los volúmenes de extracción en estos pozos que presentaron niveles más bajos de flúor. Por lo tanto, se requieren de más estudios que confirmen si la tendencia es a la baja o si pudo haber influido la temporada de muestreo.

9.7.3 Análisis de los niveles de arsénico según la zona de ubicación de los pozos

Previamente al análisis de los niveles de arsénico y flúor por ubicación de cada pozo, se realizó una clasificación de los pozos que se localizaban en la zona urbana, en la zona agrícola y en la zona industrial. Los resultados del análisis permitieron identificar lo siguiente:

Se pudo observar claramente que los niveles de arsénico en todos los pozos de la zona urbana tenían concentraciones muy altas por arriba de 16 $\mu\text{g/L}$ en los años 2012 y 2013, y en general en los siguientes años por arriba de los LMP de la NOM-127-SSA-1994. Mientras que los pozos ubicados en zonas agrícolas presentaban niveles más bajos con rangos máximos de aproximadamente 15.5 $\mu\text{g/L}$ en todo el periodo de años, y todos por arriba de los LMP. No

obstante, para todos los años los pozos en zonas rurales tenían niveles mínimos de 1.5 µg/L, muy por debajo de los LMP (5 µg/L) de la NOM-127-SSA-1994, y sólo algunos pozos tenían niveles de aproximadamente 15 µg/L (Figura 39).

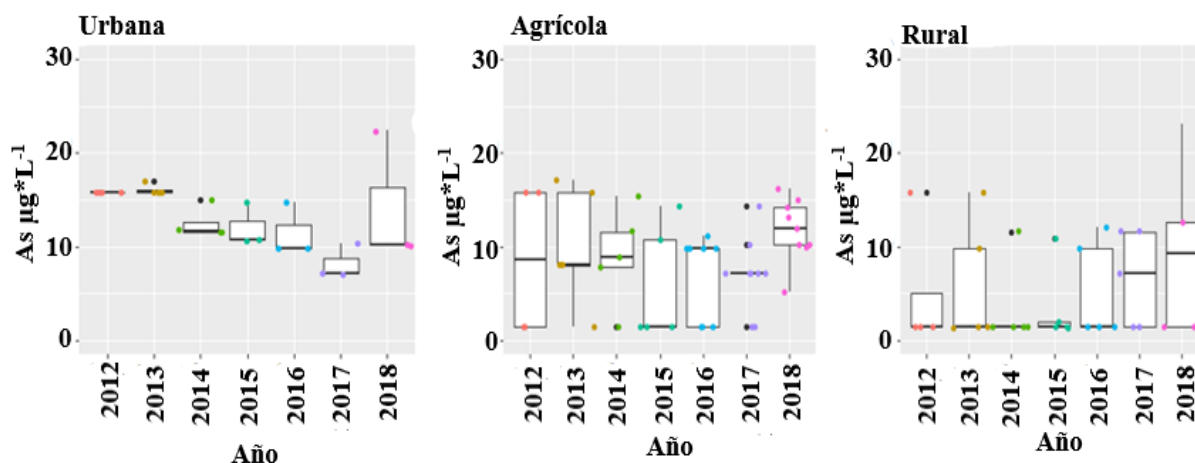


Figura 39. Concentración de arsénico por zonas en el periodo de años 2012 a 2018.

El análisis espacial mostró que las zonas con mayores niveles de arsénico son las zonas urbanas y agrícolas, lo que podría confirmar que actividades antropogénicas como la sobreexplotación son una principal fuente de contaminación por arsénico en el VSLP. Esto es porque en muchos pozos sobreexplotados de la zona urbana se extrae agua a grandes profundidades, y es donde se encuentran altas concentraciones de arsénico de forma natural. Asimismo, las aguas residuales urbanas e industriales empleadas para riego explican las altas concentraciones de arsénico en zonas agrícolas, así lo han confirmado otros estudios (Jiménez, 1982; Landín, 2006).

9.7.4 Análisis de los niveles de flúor según la zona de ubicación de los pozos

De acuerdo con los resultados del análisis de los niveles de flúor por ubicación de cada pozo, se puede afirmar lo siguiente:

Se encontró que el año 2012 los niveles de flúor fueron más altos en pozos de la zona urbana, todos los pozos tenían niveles de 2.4 mg/L, por arriba de los LMP (1.5 mg/L) de la NOM-127-SSA-1994, excepto un pozo. Asimismo, cabe señalar que los pozos de las zonas rurales también presentaron niveles similares a los pozos de zonas agrícolas, con rangos mínimos de aproximadamente 0.4 mg/L y de hasta 3.5 mg/L. Los pozos ubicados en zonas agrícolas, presentaron niveles mínimos de 0.1 mg/L y hasta 4 mg/L, muy por arriba de LMP de la norma mexicana.

En los siguientes años, se pudo observar los pozos de zonas urbanas se mantienen con niveles similares al año anterior, no así para los pozos en zonas agrícola que presentaron aumentos en sus niveles de flúor en un 50% de los pozos muestreados en los años 2013, 2014, y 2015. En los años siguientes se observaron niveles más bajos de flúor, en los cuales pudo haber influido la temporada de muestreo. Respecto a los pozos ubicados en zonas rurales, cabe

señalar que los niveles de flúor se encuentran por arriba de los LMP (1.5 mg/L) de la NOM-127-SSA-1994 para todos los años siguientes (Figura 40).

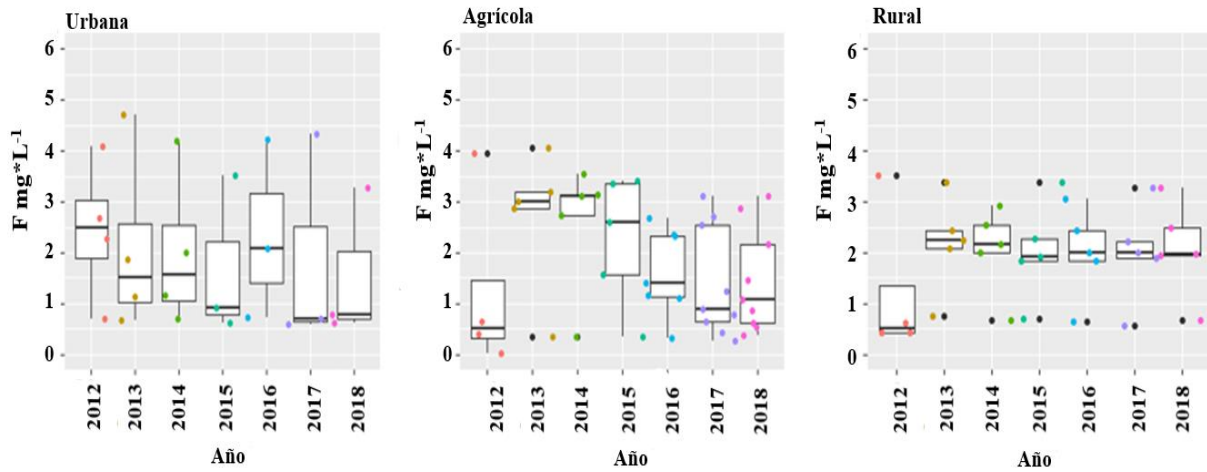


Figura 40. Concentración de flúor por zonas en el periodo de años 2012 a 2018.

Los resultados antes señalados confirman que la contaminación por flúor en agua de pozos profundos, no solo vienen de fuentes antropogénicas, dado que en zonas rurales también se encontraron altos niveles de flúor que vienen de fuentes geogénicas, así lo han confirmado estudios previos realizados en el VSLP (Carrillo & Armenta, 1989; Landín, 2006).

10. CONCLUSIONES

Los procesos hidrogeoquímicos que predominan en el acuífero somero, son mezclas o disoluciones de iones y sales, que podrían ser relacionadas a las diferentes descargas público-urbanas, agrícolas, industriales y mineras; seguido de procesos de intercambio iónico entre Na^+ y HCO_3^- , relacionado a las aguas residuales empleadas en el riego agrícola que tienen altos niveles de STD; finalmente, dominancia de iones SO_4^{2-} y Ca^{2+} , que podrían venir de la interacción entre la geología local y las zonas de recarga del VSLP.

Los niveles de salinidad y de sodio en el acuífero somero han aumentado y se espera continúen aumentando, ya que sigue incrementando la población y las actividades industriales y agrícolas, los cuales generan grandes volúmenes de aguas residuales.

Se observó que las concentraciones promedio de As, F⁻, K⁺, CE, SDT y coliformes totales mostrados en las bases de datos de 2007, 2010 y 2012 a 2018, rebasan los LMP establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, del agua para consumo humano.

La calidad del agua en el acuífero somero se clasificó en más de la mitad (52.72%) de los pozos como “agua pobre”; seguido de un 27.27% como “agua de buena calidad”; mientras que el 12.72% clasificada como “agua de excelente calidad” y, el 5.45% como “agua muy pobre” por lo que no es apta para consumo humano.

La calidad del agua para riego en el acuífero somero se clasificó como de alta restricción para su uso en el 45.45% de los pozos, por lo que debe usarse en cultivos con moderada a alta tolerancia a la sal; el 36.36% como “moderada restricción”, por lo que debe usarse en cultivos con moderada tolerancia a sales; el 10.9% como “severa restricción”, debe usarse en cultivos con alta tolerancia a sales y, el 7.27% como “baja restricción”, recomendado para el riego en la mayoría de los cultivos.

Los procesos hidrogeoquímicos que se observaron en el acuífero profundo en el año 2007, son procesos de disolución e intercambio iónico entre Na^+ y HCO_3^- , el cual podría ser de origen geogénico, y favorecido por los altos niveles de sodio en aguas residuales para riego agrícola que han alcanzado la zona saturada del acuífero. En los años 2012 a 2018, no se observaron variaciones significativas en los procesos hidrogeoquímicos, excepto en algunos pozos, predominando los procesos de disolución y de intercambio iónico entre Na^+ y HCO_3^- .

No se observaron cambios significativos en los niveles de salinidad en la mayoría de los pozos analizados del acuífero profundo en el periodo 2012 a 2018, excepto para los pozos cerca, y dentro de la zona agrícola, donde algunos pozos analizados del año 2007, presentaban niveles de salinidad menores que los reportados en el año 2018.

En el año 2007, la calidad del agua para consumo humano en el acuífero profundo, se clasificó en 74.64% de los pozos como “agua excelente”, en la mayor parte del VSLP, excepto en la zona agrícola; 23.94% como “agua buena”, ubicada en zonas agrícolas; 1.4% como “agua pobre” localizada en el noroeste. En el año 2012, la calidad del agua se clasificó como “agua excelente” en 50% de los pozos, asimismo para los años 2013, y 2014. En el año

2015, se observó que aumentó (55.55%) el agua clasificada como excelente, y posteriormente hubo un aumento mayor (75%) en el 2016. En el año 2017 se observó un deterioro en la calidad del agua excelente (64.28%), y para el año 2018 la calidad del agua bajó a 53.33%. La calidad del agua clasificada como “agua buena” comprendió el 40% de los pozos en los años 2012, 2013 y 2014, y en el 2015, 2016 y 2017 se observó una disminución de 33.33%, 16.66% y 33.33%, respectivamente. La mayor parte de este tipo de agua se encuentra en las proximidades a zonas agrícolas. El agua clasificada como “agua pobre” abarcó el 10% de los pozos muestreados en el año 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016. Mientras que en el 2017 y 2018, hubo un aumento en el número de pozos de 14,28 % y 13.33%, respectivamente. Este tipo de agua se ubica dentro las zonas agrícolas y urbanas.

En el año 2007, la calidad del agua para uso agrícola se clasificó como “agua de alta restricción” en 39.42% de los pozos, 35.21% en “severa restricción”, 23.23% “moderada restricción”, y 2.11% “baja restricción”. Para el año 2012, se observó que la calidad del agua de “moderada restricción”, aumentó en el 90% de los pozos, abarcando la mayor parte del VSLP. Posteriormente para los años 2013, 2014, y 2015, la calidad del agua disminuyó a 70%, 60% y 66.66%, y en 2016 y 2017 se observó una disminución mayor de 25% y 28.57%, respectivamente. En el año 2012, el agua clasificada como “alta restricción” para riego, fue en 10% de los pozos, después aumentó a 20%, 30%, 22.22%, 41.66%, y 50% para los años 2014, 2015, 2016 y 2017, respectivamente. Por otro lado, el agua de “baja restricción”, abarcó un 10%, 11.11%, 25%, 14.28%, y 13.33% de los pozos en los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, respectivamente. Mientras que, en los años 2016, 2017 y 2018 la calidad del agua en algunos pozos disminuyó a “altamente restrictivo” en un 8.33%, 7.14% y 6.66% de los pozos.

El análisis de las variaciones temporales indicó una tendencia al aumento de los niveles de arsénico, a partir de los años 2016, 2017 y 2018. El análisis espacial mostró que las zonas con mayores niveles de arsénico son las zonas urbanas y agrícolas. Esto es porque en muchos pozos sobreexplotados de la zona urbana se extrae agua a grandes profundidades, y es donde se encuentran altas concentraciones de arsénico de forma natural. Asimismo, las aguas residuales urbanas e industriales empleadas para riego explican las altas concentraciones de arsénico en zonas agrícolas.

El análisis de las variaciones temporales de los niveles de flúor, durante los años 2012 a 2018, mostró una tendencia al aumento. En algunos pozos disminuyeron ligeramente los niveles de flúor. Esto puede ser explicado porque el muestreo probablemente se realizó en la temporada de lluvias, por lo que hubo mayor dilución del contaminante. El análisis espacial mostró que los mayores niveles de flúor se localizan en zonas urbanas y rurales. Por lo tanto, los altos niveles de flúor encontrados, no solo vienen por la extracción de agua a grandes profundidades, sino más bien se encuentra de forma natural en los estratos geológicos del acuífero, dado que en zonas rurales también se encontraron altos niveles de flúor.

11. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de salinidad para años posteriores y observar la tendencia que presentan para determinar las afectaciones en los acuíferos somero y profundo del valle.
- Profundizar en los estudios estadísticos para determinar la tendencia que siguen los niveles de arsénico y flúor, así como, realizar una mayor cobertura de los pozos que se encuentran en el acuífero.
- Realizar estudios que confirmen el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 sobre los LMP de las descargar de aguas residuales usadas en la agricultura, pues, su continua aplicación podría explicar las alteraciones que se presentan en la calidad del agua del acuífero.
- Con base en los estudios que se han realizado sobre la calidad del agua en el acuífero del VSLP, mejorar los planes del manejo de agua en el acuífero, para gestionar de forma correcta el recurso hídrico y aprovecharlo de la mejor manera posible, asignando su uso de acuerdo a sus características para evitar tratamientos adicionales y un mejor aprovechamiento.
- Realizar acuerdos entre los centros de investigación y CONAGUA para permitir el acceso libre a la información de los datos de calidad del agua para aquellos que deseen consultarlas y trabajarlas.
- Debe considerarse la variabilidad estacional en los diseños de muestreo, dado que el análisis temporal mostró que en el 2018 los niveles de arsénico aumentaron significativamente y de forma inversa los niveles de flúor disminuyeron, por lo tanto, se requieren de más estudios que lo confirmen.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., & Alimohammadi, M. (2018). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human Ecol Risk Assess An Int J*, 25, 988-1005. doi: 10.1080/10807039.2018.1458596
- Almanza, O. G. (2015). *Índices de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí*. (Maestría), Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C., San Luis Potosí, S. L. P.
- Almodaresi, S. A., Mohammadrezaei, M., Dolatabadi Maryam, & Nateghi Mohammad Reza. (2019). Qualitative Analysis of Groundwater Quality Indicators Based on Schuler and Wilcox Diagrams: IDW and Kriging Models. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 4(4), 903-912. doi: 10.18502/jehsd.v4i4.2023
- ANZECC, & ARMCANZ. (2000). *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*. Australia.
- Armstrong-Altrin, J. S., Nagarajan, R., Madhavaraju, J., Rosalez-Hoz, L., Lee, Y. I., Balaram, V., . . . Avila-Ramírez, G. (2013). Geochemistry of the Jurassic and Upper Cretaceous shales from the Molango Region, Hidalgo, eastern Mexico: Implications for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Comptes Rendus Geoscience*, 345(4), 185-202. doi: 10.1016/j.crte.2013.03.004
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1994). Water Quality for Agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 29.
- Balan, I. N., Shivakumar, M., & Kumar, P. D. M. (2012). An assessment of groundwater quality using water quality index in Chennai, Tamil Nadu, India. *Chronicles Young Scient.*, 3(2), 146-150.
- Balmaseda, C., Ponce de León, D., Martín, N. J., & Vargas, A. H. (2006). *Compendio de Suelo*. La Habana, Cuba.
- Bhattacharya, T., Chakraborty, S., & Neha, T. (2012). Physicochemical Characterization of ground water of Anand district. *International Research Journal of Environment Sciences*, 1(1), 28-33.
- Benhamiche, N., Sahi, L., Tahar, S., Bir, H., Madani, K., & Laignel, B. (2016). Spatial and temporal variability of groundwater quality of an Algerian aquifer: the case of Soummam Wadi. *Hydrological Sciences Journal*, 61:4, 775-792. doi: 10.1080/02626667.2014.966723
- Bortolini, L., Maucieri, C., & Borin, M. (2018). A Tool for the Evaluation of Irrigation Water Quality in the Arid and Semi-Arid Regions. *Agronomy*, 8, 23. doi: 10.3390/agronomy8020023
- Bosshard, T., Carambia, M., Goergen, K., Kotlarski, S., Krahe, P., Zappa, M., & Schär, C. (2013). Quantifying uncertainty sources in an ensemble of hydrological climate-impact projections. *Water Resources Research*, 49(3), 1523-1536. doi: 10.1029/2011wr011533
- Bravo, J. C. (1971). The Valles-San Luis Potosi Platform. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroletos*.
- Briseño-Ruiz, J. V., Escolero-Fuentes, O., Mendoza-Cázares, E. Y., & Gutiérrez-Ojeda, C. (2017). Infiltración de Agua de Tormenta al Acuífero de San Luis Potosí, México:

- Colector Salk *Manejo de la Recarga de Acuíferos: Un Enfoque Hacia Latinoamérica* (pp. 159-189). México.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). *A Water Quality Index-Do we dare?* Paper presented at the National Symposium on Data and Instrumentation for Water Quality Management, University of Wisconsin, Madison.
- Cardona, A. B., Carrillo, J. J. R., & Armienta, M. A. H. (1993). Elemento traza: contaminación y valores de fondo en aguas subterráneas de San Luis Potosí, SLP, México. *Geofísica Internacional*, 32, 277-286.
- Cardona, A. B., Carrillo, J. J. R., Castro, G. J. L., & Graniel, E. H. C. (2007). Combined use of indicators to evaluate waste-water contamination to local flow system in semi-arid regions: San Luis Potosí, México. In C. Press (Ed.), *Groundwater flow understanding: from local to regional scale* (Vol. 12, pp. 85-102). London, UK.
- Cardona, A. B., Carrillo, J. J. R., Herrera, G. Z., & López-Álvarez, B. (2010). La contaminación del agua subterránea en México *Calidad del Agua: Un enfoque multidisciplinario* (pp. 55-78). México.
- Cardona, A. (1990). *Caracterización físico-químico y origen de los sólidos disueltos en el agua subterránea del valle de San Luis Potosí; su relación con el sistema de flujo.* (Maestría), Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Carrillo, J. J. R., & Armienta, M. A. (1989). Diferenciación de la contaminación inorgánica en las aguas subterráneas del valle de la Ciudad de San Luis Potosí, S. L. P., México. *Geofísica Internacional*, 28, 763-783.
- Carrillo, J. J. R., & Cardona, A. B. (2016). Control of Deteriorating Water Quality in Extracted Boreholes by Flow Systems Definition. In N. J. Raju (Ed.), *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment: Challenges, Processes and Strategies* (pp. 327-332).
- Carrillo, J. J. R., Varsányi, I., Kovács, L., & Cardona, A. B. (2007). Tracing Groundwater Flow Systems with Hydrogeochemistry in Contrasting Geological Environments. *Water, Air, and Soil Pollution*, 184(1-4), 77-103. doi: 10.1007/s11270-007-9400-6
- Carrizales, A. A.; Sánchez, J. A. G. (2004). *Inventario Físico de los Recursos Minerales del Municipio San Luis Potosí, S. L. P.* San Luis Potosí, S. L. P.
- Chang, H. (2005). Spatial and Temporal Variations of Water Quality in the Han River and Its Tributaries, Seoul, Korea 1993–2002. *Water Air Soil Pollut*, 161, 267-284. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-005-4286-7>
- Chowdhury, R. M., Muntasir, S. Y., & Hossain, M. M. (2012). Water quality index of water bodies along Faridpur-Barisal road in Bangladesh. *Glob. Eng. Tech. Rev.*, 2(3), 1-8.
- Comans, R. N. J., Van Der Weijden, C. H., & Vriend, S. P. (1987). Geochemical Studies in the Drainage Basin of the Rio Vouga, Portugal. IV. Impact of Land Use on the Hydrogeochemistry of Natural Waters in the Vouzela Region. *Environ Geol Water Sci*, 9, 119-128. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02449943>
- CONAGUA. (2007). *Estadísticas del Agua en México.* México.
- CONAGUA. (2015). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego: Año Agrícola 2013-2014.* México.
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México.* Ciudad de México.
- CONAGUA. (2018). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero San Luis Potosí (2411), Estado de San Luis Potosí.* San Luis Potosí, S. L. P.

- Contreras, C. S., & Galindo, M. G. M. (2008). Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México. *Revista Colombiana de Geografía*, 17, 127-137. doi: <https://doi.org/10.15446/rcdg.n17.10923>
- Crites, R. W., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales, para Núcleos Pequeños y Decentralizados*. New York.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1976). *Hidrología subterránea*. (Vol. 2). Barcelona.
- Dagnino, J. S. (2014). Análisis de Varianza. *Rev Chil Anest*, 43, 306-310.
- Díaz Rosales, P. (2010). *Estimación de la fracción fácilmente biodegradable de la demanda química de oxígeno en aguas residuales municipales por el método de desconvolución de espectros*. (Maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Dinius, S. H. (1987). Design of an index of water quality. *Water Resou. Bull.*, 23(5), 833-843.
- Dozier, M. C., & McFarland, M. (2006). *Estándares del agua potable*. Texas, U. S. A.
- Dunnette, D. A. (1979). A geographically variable water quality index used in Oregon. *J. Water Pollu. Cont. Fed.*, 51(1), 53-61.
- Durov, S. A. (1948). Classification of natural waters and graphical representation of their composition. *Dokl Akad Nauk SSRR*, 59, 87-90.
- Enderlein, U. S., Enderlein, R. E., & Williams, W. P. (1997). Water Quality Requirements. In R. H. I. Hespanhol (Ed.), *Water Pollution Control - A Guide to the Use of Water Quality Management Principles* London. Weinheim. New York. Tokyo. Melbourne. Madras: United Nations Environment Programme, Water Supply & Sanitation Collaborative Council, World Health Organization
- Escobar, R. (1996). *Evaluación cualitativa sobre la calidad del agua en el estado de San Luis Potosí*. (Licenciatura), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Esteller, M. V., Rodriguez, R., Cardona, A., & Padilla, L. S. (2012). Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico. *Environ Monit Assess*, 184(9), 5725-5741. doi: 10.1007/s10661-011-2376-0
- Estrada, F. (2013). *El agua en San Luis Potosí: contaminación y saneamiento*. (Licenciatura), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P. .
- Fatema, K., Wan Maznah, W. O., & Isa, M. M. (2015). Spatial variation of water quality parameters in a mangrove estuary. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12, 2091-2102. doi: 10.1007/s13762-014-0603-2
- García-Serna, J., Sanchez-Andreu, J., Juarez, M., & Mataix, J. (1988). Incidencia de la salinidad del agua de riego en la mineralización del nitrógeno orgánico en suelos calizos del Sureste Español. *Anal.Edaf.Agrobiol.*, 47, 669-682.
- Giuntoli, I., Vidal, J.-P., Prudhomme, C., & Hannah, D. M. (2015). Future hydrological extremes: the uncertainty from multiple global climate and global hydrological models. *Earth Syst. Dynam.*, 6, 267–285. doi: <https://doi.org/10.5194/esd-6-267-2015>
- González, Z. I. A., Padilla, D. A. R., & Ramos-Leal, J. A. (2016). Quality assessment of irrigation water related to soil salinization in Tierra Nueva, San Luis Potosí, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33, 271-285.

- Guevara, V. A. (2007). *Distribución espacial y abastecimiento del agua para uso humano, en el área metropolitana de la Ciudad de San Luis Potosí: problemática, implicaciones y alternativas*. (Maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Hedberg, H. D. (1980). *Guía Estratigráfica Internacional: guía para la clasificación, terminología y procedimientos estratigráficos*.
- Heim, A. (1926). Notes on the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental, México): *Eclogae Geologicae Helveticae*, 20, 84-87.
- Hergt, T., Castro, J. L., Cardona, A. B., & Carrillo, J. J. R. (2009). Análisis multivariado en la definición de sistemas de flujo de agua subterránea en San Luis Potosí, México. *Ingeniería Hidráulica en México*, 24, 37-54.
- Hernández, N. A. (2020). *Evaluación de la disponibilidad y demanda de agua, en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí*. (Maestría), Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C., San Luis Potosí, S. L. P.
- Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. *J. Water Pollu. Cont. Fed.*, 37(3), 300-305.
- Imlay, R. W. (1936). Part IV. Geology of the western part of the Sierra de Parras. *Bulletin of the Geological Society of America*, 47, 1091-1152.
- INEGI. (1997) Estadísticas del medio ambiente. México. México.
- INEGI. (2002). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí*. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI. (2009). Pronuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Mexquitic de Carmona y Cerro de San Pedro en el estado de San Luis Potosí. INEGI (Ed.): Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INTERAPAS. (2020). Informe anual 2020. San Luis Potosí, S. L. P., México.
- IPICYT. (2007). Estudio hidrogeológico de la porción oriental del Valle de San Luis Potosí (pp. 73). San Luis Potosí, S. L. P.: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- Jiménez, M. d. L. (1982). *Determinación de la cantidad de arsénico presente en las diferentes fuentes de aguas disponibles en la Ciudad de San Luis Potosí, tanto pozos profundos como freáticos*. (Licenciatura), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Khanoranga, K. S. (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *J Geochem Explor*, 197, 14-26. doi: 10.1016/j.gexplo.2018.11.007
- Kozak, M., & Tartanus, M. (2017). What Story Does The Durov Diagram Tell? *Colloquium Boimetricum*, 47, 41-48.
- Kumar, D., & Alappat, B. (2009). NSF-Water Quality Index: Does It Represent the Experts' Opinion? *Pract. Period. Hazard. Toxic Radioact. Waste Manage*, 13(1), 75-79.
- Labarthe-Hernández, G., & Jiménez-López, L. S. (1993). Geología del Domo Cerro Grande, Sierra de San Miguelito, S.L.P.: Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Vol. 117): Instituto de Geología.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., & Aranda-Gómez, J. J. (1982). Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estado de San Luis Potosí:

- Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Vol. 85): Instituto de Geología y Metalurgia.
- Landín, L. E. (2006). *Parámetros fisicoquímicos y concentración de flúor y arsénico en el agua de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí y zona conurbada. Alternativa de tratamiento: adsorción de flúor y arsénico en la interfase Al₂O₃ activada/solución acuosa.* (Maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Lazarova, V., & Bahri, A. (2004). *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes and Turf Grass*: CRC Press.
- Lingaswamy, M., & Saxena, P. R. (2015). Water Quality of Fox Sagar Lake, Hyderabad, Telangana State, India, Its Suitability for Irrigation Purpose. *Int. J. Adv. Res. Sci. Technol.*, 4(8), 490-494.
- López-Álvarez, B., Ramos-Leal, J. A., Moran-Ramírez, J., Cardona, A. B., & Hernández, G. G. (2013a). Origen de la calidad del agua del acuífero colgado y su relación con los cambios de uso de suelo en el Valle de San Luis Potosí. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65, 9-26. doi: 10.18268/BSGM2013V65N1A2
- López-Álvarez, B., Ramos-Leal, J. A., Santacruz, G., Morán-Ramírez, J., Carranco, S. E. L., Noyola-Medrano, M. C., & Pineda, L. F. M. (2013b). Cálculo del índice de pobreza del agua en zonas semiáridas: Caso Valle de San Luis Potosí. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 29, 249-260. doi: 10.21696/rcsl102120201176
- López, M. F. (2018). *Análisis multitemporal del uso y aprovechamiento del agua en el Valle de San Luis Potosí.* (Maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Lloyd, J. A., & Heathcote, J. A. (1985). *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater: An introduction.* New York.
- Machiwal, D., & Jha, M. K. (2015). Identifying sources of groundwater contamination in a hard-rock aquifer system using multivariate statistical analyses and GIS-based geostatistical modeling techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 80-110. doi: 10.1016/j.ejrh.2014.11.005
- Mallucci, S., Majone, B., & Bellin, A. (2019). Detection and attribution of hydrological changes in a large Alpine river basin. *Journal of Hydrology*, 575, 1214-1229. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.06.020
- Marín Celestino, A. E., Ramos Leal, J. A., Martínez Cruz, D. A., Tuxpan Vargas, J., De Lara Bashulto, J., & Morán Ramírez, J. (2019). Identification of the Hydrogeochemical Processes and Assessment of Groundwater Quality, Using Multivariate Statistical Approaches and Water Quality Index in a Wastewater Irrigated Region. *Water*, 11(8), 1702. doi: 10.3390/w11081702
- Martínez, D. A. C., Chávez, J. M., Bustamante, A. G., & Palacios, O. L. V. (2016). Variación espacial de la calidad del agua para uso agrícola del acuífero costero del Valle del Mayo, Sonora, México. *Hidrobiológica*, 26, 109-119. doi: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n1/Martinez>
- Martinez, S., Escolero, O., & Kralisch, S. (2010). Water Management in San Luis Potosí Metropolitan Area, Mexico. *International Journal of Water Resources Development*, 26(3), 459-475. doi: 10.1080/07900627.2010.489292
- Martinez, S. E., Escolero, O., & Wolf, L. (2010). Total Urban Water Cycle Models in Semiarid Environments—Quantitative Scenario Analysis at the Area of San Luis

- Potosí, Mexico. *Water Resources Management*, 25(1), 239-263. doi: 10.1007/s11269-010-9697-6
- Martínez, V. (1988). Condiciones geohidrológicas actuales del Valle de San Luis Potosí. In UASLP (Ed.), *Folleto Técnico n.º 15* (Vol. 15). San Luis Potosí, S. L. P.: Inst. Geol. Metal.
- Meireles, A., Andrade, E., Chaves, L., Frischkorn, H., & Crisostomo, L. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Rev Ciênc Agron*, 41, 349-357. doi: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300005>
- Méndez, K. R. (2017). *Estimación del uso y aprovechamiento del agua en el estado de San Luis Potosí a través de un modelo de distribución espacial*. (Maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Naik, P. K., Tambe, J. A., Dehury, B. N., & Tiwari, A. N. (2008). Impact of urbanization on the groundwater regime in a fast growing city in central India. *Environ Monit Assess*, 146, 339–373. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0084-6>
- NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" (1994). Recuperado de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>. [22 de Febrero de 2020].
- NOM-001-SEMARNAT-1996 "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales" (1996). Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>. [15 de Octubre de 2019].
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos *Ing USBMed*, 3, 62-68. doi: <https://doi.org/10.21500/20275846.265>
- Noyola-Medrano, M. C., Ramos-Leal, J. A., Domínguez-Mariani, E., Pineda-Martínez, L. F., López-Loera, H., & Carbajal, N. (2009). Factores que dan origen al minado de acuíferos en ambientes áridos: caso Valle de San Luis Potosí. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26, 395-410.
- Ofungwu, J. (2014). Applications of hypothesis tests: comparing populations, analysis of variance *Statistical applications for environmental analysis and risk assessment* (pp. 201-244). United States of America: Wiley.
- OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua potable*. Geneva, Switzerland.
- Peña, Y. H., Santacruz de León, G., & Charcas, H. S. (2012). Calidad del agua en pozos de la red de monitoreo del acuífero del Valle de San Luis Potosí, México. *Aqua-LAC*, 4, 49-59.
- Qadir, A., Malik, R. N., & Husain, S. Z. (2008). Spatio-temporal variations in water quality of Nullah Aik-tributary of the river Chenab, Pakistan. *Environ Monit Assess*, 140, 43-59. doi: 10.1007/s10661-007-9846-4
- Rajesh, R., Brindha, K., Murugan, R., & Elango, L. (2012). Influence of hydrogeochemical processes on temporal changes in groundwater quality in a part of Nalgonda district, Andhra Pradesh India. *Environ Earth Sci*, 65, 1203–1213. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1368-2>
- Ramírez, S. (1886). *Litología: introducción al estudio de las rocas*.

- Ramos-Leal, J. A., López-Álvarez, B., Santacruz-De León, G., Almanza-Tovar, O., Morán-Ramírez, J., Padilla-Reyes, D. A., & González-Acevedo, Z. I. (2016). Quality indices of groundwater for agricultural use in the region of Tierra Nueva, San Luis Potosí, Mexico. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(19). doi: 10.1007/s12517-016-2758-2
- Rodríguez Jaume, M. J., & Mora Catalá, R. (2001). Análisis de varianza simple (o con un factor), factorial y multivariable *Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS* (pp. 179-211). San Vicente de Raspeig, España: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Rojas, A., Equihua, L., & Lazarova, V. (2014). Sustainable water management with multi-quality recycled water production: the example of San Luis Potosí in Mexico. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 4(1), 18-24. doi: 10.2166/wrd.2013.006
- Rojas, A. R. (2011). *Experiencia del reuso del agua tratada en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí*. San Luis Potosí, S. L. P.
- Sajil, P. J. K. (2019). Hydrogeochemical and multivariate statistical appraisal of pollution sources in the groundwater of the lower Bhavani River basin in Tamil Nadu. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(1), 40-51. doi: 10.1080/24749508.2019.1574156
- Saleh., A., Al-Ruwaih., F., & Shehata., M. (1999). Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. *J Arid Environ*, 42, 195-209.
- Santacruz De León, G. (2006). *Generación y tratamiento de agua residual en la Zona Metropolitana de la ciudad de San Luis Potosí*. San Luis Potosí, S. L. P.
- Sarabia, I. F., Cisneros, R., Aceves, J. D. A., Durán, H. M. G., & Castro, J. L. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 27, 103-113.
- Shaw, R. G., & Mitchell-Olds, T. (1993). Anova for Unbalanced Data: An Overview. *Ecology*, 74, 1638-1645. doi: doi:10.2307/1939922
- Shrestha, S., Kazama, F., & Nakamura, T. (2008). Use of principal component analysis, factor analysis and discriminant analysis to evaluate spatial and temporal variations in water quality of the Mekong River. *Journal of Hydroinformatics*, 10(1), 43-56. doi: <https://doi.org/10.2166/hydro.2008.008>
- Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (s. f.). Avances de Siembras y Cosechas. Resumen por Cultivo. [18 de septiembre de 2020]. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do
- Singh, A. K., & Kumar, S. R. (2015). Quality assessment of groundwater for drinking and irrigation use in semi-urban area of Tripura, India. *Eco Env & Cons*, 21, 97-108.
- Singhal, B. B. S., & Gupta, R. P. (2010). Groundwater Quality. In Springer (Ed.), *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. New York.
- Soleimani, H., Nasri, O., Ojaghi, B., Pasalari, H., Hosseini, M., Hashemzadeh, B., . . . Feizabadi, G. K. (2018). Data on drinking water quality using water quality index (WQI) and assessment of groundwater quality for irrigation purposes in Qorveh&Dehgolan, Kurdistan, Iran. *Data in brief*, 20, 375-386. doi: 10.1016/j.dib.2018.08.022
- Soltani, S., Moghaddam, A. A., Barzegar, R., Kazemian, N., & Tziritis, E. (2017). Hydrogeochemistry and water quality of the Kordkandi-Duzdudan plain, NW Iran: application of multivariate statistical analysis and PoS index *Environ Monit Assess*, 189. doi: 10.1007/s10661-017-6171-4

- Sridhar, S. G. D., Kanagaraj, G., Mahalingam, S., & Amaladas, P. (2013). Hydrochemical analysis of Groundwater between Sadras and Chinnakuppam, Kancheepuram District, Tamil Nadu, India. *Journal of Academia and Industrial Research*, 2(3), 160-166. doi: 10.33564/IJEAST.2019.v04i04.025
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). Water Quality Assessment in Terms of water quality index. *Am J Water Res*, 1, 34-38. doi: doi:10.12691/ajwr-1-3-3
- Ustaoğlu, F., & Tepe, Y. (2019). Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 47-56. doi: 10.1016/j.iswcr.2018.09.001
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., & Taş, B. (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 113. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815
- Vargas Olvera, M. d. C. (1999). *Especiación de metales pesados en suelos regados con aguas residuales industriales*. (Maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S. L. P.
- Vetter, T., Reinhardt, J., Flörke, M., van Griensven, A., Hattermann, F., Huang, S., . . . Krysanova, V. (2016). Evaluation of sources of uncertainty in projected hydrological changes under climate change in 12 large-scale river basins. *Climatic Change*, 141(3), 419-433. doi: 10.1007/s10584-016-1794-y
- Vidal, J.-P., Hingray, B., Magand, C., Sauquet, E., & Ducharne, A. (2016). Hierarchy of climate and hydrological uncertainties in transient low-flow projections. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 3651–3672. doi: https://doi.org/10.5194/hess-20-3651-2016
- Vincent, B., Wu, J., Vidal, A., Yang, J., Bouarfa, S., & Tong, J. (2006). *The environmental evolvement of the Hetao irrigation district: an equilibrium between the combat facing irrigation induced soil salinity and the respect of the receiving media*. Paper presented at the 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, USA.
- Wallace, J. S., & Batchelor, C. H. (1997). Managing Water Resources for Crop Production. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Science*, 352, 937-947. doi: https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0073
- Warren, C. E. (1971). Biology and water pollution control. *W. B. Saunders, Philadelphia*. doi: https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1971.tb05033.x
- White, D. E., & González, R. J. (1946). San José Antimony Mines near Wadley, State of S. L. P. *U. S. Geological Survey*, 946-E.
- Wilcox, L. V. (1955). *Classification and Used Irrigation Waters*. Crc, Washington D.C.
- Wilson, B. W., Hernández, J. P., & Meave, T. E. (1955). Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del Estado de Querétaro. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 18, 1-10.
- Wu, J., Wang, L., Wang, S., Tian, R., Xue, C., Feng, W., & Li, Y. (2017). Spatiotemporal variation of groundwater quality in an arid area experiencing long-term paper wastewater irrigation, northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 76(13). doi: 10.1007/s12665-017-6787-2
- WWAP. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, Francia.

- WWAP. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No Dejar a Nadie Atrás*. París, Francia.
- Zahedi, S. (2017). Modification of expected conflicts between Drinking Water Quality Index and Irrigation Water Quality Index in water quality ranking of shared extraction wells using Multi Criteria Decision Making techniques. *Ecological Indicators*, 83, 368-379. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.08.017
- Zhang, Q., Wang, L., Wang, H., Zhu, X., & Wang, L. (2020). Spatio-Temporal Variation of Groundwater Quality and Source Apportionment Using Multivariate Statistical Techniques for the Hutuo River Alluvial-Pluvial Fan, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17.

13. ANEXOS

ANEXO I. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2007.

ID	Clave	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	CNA 389	1.57	0.40	2.05	0.09	4.10	0.53	0.52	2.72	0.07	3.84	3.27
2	CNA 399	1.39	0.32	2.50	0.09	4.30	0.65	0.85	2.37	0.14	4.02	3.39
3	CNA 392	1.30	0.37	2.70	0.08	4.45	0.73	0.83	2.55	0.10	4.21	2.85
4	CNA 398	1.30	0.24	2.65	0.07	4.26	0.75	0.65	2.37	0.07	3.84	5.24
5	CNA 397	1.22	0.39	3.10	0.14	4.84	0.93	1.10	2.28	0.08	4.40	4.85
6	CNA 391	1.00	0.36	2.35	0.12	3.82	0.71	0.63	2.46	0.05	3.85	-0.39
7	CNA 393	1.22	0.42	2.55	0.10	4.28	0.80	0.71	2.46	0.09	4.05	2.73
8	CNA 379	1.30	0.29	2.30	0.06	3.95	0.55	0.48	2.90	0.05	3.97	-0.24
9	CNA 914	1.22	0.24	1.90	0.03	3.39	0.37	0.31	2.64	0.08	3.39	0.00
10	CNA 381	1.43	0.31	2.45	0.06	4.25	0.63	0.94	2.64	0.10	4.30	-0.56
11	CNA 383	1.35	0.33	2.40	0.08	4.16	0.65	0.88	2.55	0.08	4.15	0.05
12	CNA 385	1.30	0.37	2.70	0.09	4.46	0.96	0.92	2.46	0.07	4.41	0.54
13	CNA 384	1.26	0.36	2.40	0.08	4.10	0.66	0.79	2.55	0.06	4.06	0.50
14	CNA 382	1.43	0.33	3.00	0.11	4.87	1.01	1.13	2.90	0.04	5.08	-2.14
15	CNA 390	1.17	0.36	2.40	0.09	4.03	0.70	0.83	2.46	0.06	4.05	-0.25
16	CNA 394	2.13	0.44	3.30	0.34	6.20	1.98	1.85	2.37	0.19	6.39	-1.50
17	xx1	1.13	0.21	2.10	0.05	3.49	0.53	0.54	2.46	0.06	3.60	-1.48
18	CNA 370	1.35	0.36	3.20	0.11	5.01	0.91	1.67	2.46	0.07	5.11	-0.96
19	CNA 373	1.74	0.39	2.90	0.10	5.13	0.86	1.60	2.55	0.07	5.09	0.36
20	CNA 376	1.78	0.37	2.85	0.07	5.08	0.85	1.63	2.90	0.08	5.45	-3.56
21	CNA 375	1.74	0.31	2.90	0.07	5.02	0.81	1.27	2.72	0.08	4.89	1.34
22	CNA 374	1.78	0.32	2.95	0.07	5.12	0.90	1.48	2.81	0.08	5.27	-1.47
23	CNA 371	1.61	0.35	3.10	0.12	5.17	0.78	1.74	2.64	0.08	5.24	-0.69

24	CNA 402	0.91	0.28	1.70	0.12	3.01	0.37	0.25	2.28	0.05	2.95	0.92
25	CNA 388	0.87	0.43	2.50	0.14	3.94	0.42	0.35	2.81	0.06	3.64	4.00
26	CNA 416	1.22	0.32	2.20	0.09	3.83	0.35	0.38	2.99	0.05	3.76	0.94
27	CNA 405	0.30	0.37	1.05	0.14	1.87	0.30	0.10	1.32	0.05	1.77	2.75
28	CNA 174	1.09	0.46	2.60	0.62	4.76	1.81	0.96	1.49	0.11	4.37	4.30
29	CNA 696	1.00	0.22	2.45	0.10	3.77	1.16	0.33	2.46	0.04	4.00	-2.96
30	CNA 254	1.48	0.46	3.95	0.44	6.33	2.14	1.13	2.46	0.11	5.84	4.02
31	CNA 430	1.13	0.47	2.10	0.38	4.08	0.45	0.98	2.72	0.09	4.24	-1.98
32	CNA 666	1.22	0.29	2.05	0.04	3.60	0.46	0.44	2.37	0.10	3.37	3.28
33	CNA 882	2.00	0.50	3.40	0.14	6.04	0.66	0.77	4.04	0.16	5.63	3.45
34	CNA 822	1.39	0.29	1.50	0.06	3.24	0.43	0.27	2.38	0.06	3.14	1.55
35	CNA 137	1.13	0.38	2.45	0.23	4.20	0.30	0.23	3.17	0.08	3.78	5.19
36	CNA 662	1.70	0.33	0.95	0.03	3.01	0.30	0.38	2.18	0.05	2.90	1.82
37	CNA 248	1.39	0.39	1.95	0.35	4.09	1.16	0.73	2.18	0.06	4.13	-0.53
38	CNA 229	0.74	0.44	2.60	0.33	4.11	1.03	0.42	2.77	0.07	4.29	-2.13
39	CNA 403	0.52	0.34	1.60	0.11	2.56	0.30	0.15	1.78	0.06	2.29	5.76
40	CNA 415	0.57	0.30	2.10	0.21	3.17	0.30	0.10	2.38	0.05	2.83	5.64
41	xx9	0.74	0.38	1.10	0.19	2.41	0.30	0.23	1.98	0.06	2.57	-3.17
42	CNA 412	0.52	0.35	0.80	0.16	1.84	0.20	0.13	1.58	0.04	1.95	-2.95
43	CNA 49	2.30	0.15	1.25	0.02	3.73	0.63	0.52	2.43	0.06	3.64	1.11
44	CNA 48	2.35	0.14	1.35	0.03	3.87	0.61	0.54	2.66	0.05	3.86	0.04
45	CNA 45	2.35	0.13	1.30	0.02	3.80	0.60	0.56	2.66	0.04	3.86	-0.75
46	CNA 50	2.48	0.15	1.35	0.03	4.01	0.63	0.60	2.70	0.05	3.98	0.37
47	CNA 43	1.09	0.45	1.25	0.17	2.96	0.61	0.44	1.90	0.07	3.02	-1.11
48	CNA 4	1.39	0.27	0.95	0.08	2.70	0.49	0.56	1.63	0.04	2.72	-0.51
49	CNA 5	2.48	0.14	1.35	0.02	3.99	0.40	0.63	2.70	0.05	3.78	2.71
50	CNA 1A	2.48	0.13	1.30	0.02	3.93	0.63	0.60	2.85	0.04	4.12	-2.44

51	CNA 103	0.70	0.35	1.05	0.20	2.29	0.55	0.27	1.48	0.04	2.35	-1.16
52	CNA 114	1.70	0.37	1.30	0.12	3.48	0.40	0.40	2.70	0.06	3.56	-1.19
53	CNA 68	1.96	0.12	1.10	0.01	3.18	0.40	0.33	2.50	0.03	3.26	-1.22
54	CNA 8	2.39	0.19	1.30	0.06	3.94	0.61	0.63	2.62	0.05	3.91	0.38
55	CNA 9	2.35	0.24	1.35	0.07	4.02	0.40	0.60	2.70	0.07	3.78	2.99
56	CNA 870	1.91	0.22	1.20	0.10	3.43	0.58	0.58	2.32	0.05	3.53	-1.42
57	CNA 249	1.22	0.28	1.25	0.12	2.86	0.35	0.35	1.61	0.07	2.39	9.10
58	xx6	0.96	0.32	1.08	0.13	2.48	0.35	0.13	1.86	0.07	2.41	1.56
59	xx5	0.39	0.31	1.54	0.07	2.31	0.19	0.08	2.11	0.02	2.40	-1.88
60	CNA 152	1.26	0.57	7.25	1.23	10.31	3.98	2.14	3.84	0.12	10.08	1.17
61	x11	1.04	0.36	2.11	0.13	3.64	0.33	0.31	3.10	0.05	3.79	-1.98
62	CNA 129	2.22	0.15	1.38	0.02	3.77	0.31	0.52	2.98	0.04	3.84	-0.97
63	CNA 117	1.83	0.15	1.13	0.02	3.12	0.38	0.29	2.48	0.03	3.18	-0.93
64	CNA 115	2.52	0.13	1.28	0.01	3.94	0.42	0.52	2.85	0.03	3.83	1.36
65	CNA 56	1.04	0.43	1.95	0.17	3.60	0.54	0.58	2.60	0.04	3.77	-2.35
66	CNA 16	2.26	0.18	1.78	0.04	4.26	0.59	0.71	2.98	0.05	4.32	-0.67
67	CNA 14	0.78	0.32	1.10	0.24	2.44	0.38	1.27	0.99	0.02	2.66	-4.14
68	CNA 65	1.61	0.25	1.25	0.04	3.15	0.42	0.40	2.23	0.07	3.12	0.43
69	CNA 64	1.91	0.14	1.25	0.02	3.32	0.40	0.38	2.60	0.04	3.41	-1.47
70	CNA 81	1.65	0.45	3.12	0.22	5.44	0.66	1.90	2.85	0.05	5.46	-0.20
71	CNA 23	2.35	0.34	1.10	0.05	3.83	0.61	0.71	2.73	0.04	4.09	-3.23
72	CNA 24	2.26	0.39	1.01	0.03	3.69	0.42	0.63	2.73	0.04	3.81	-1.63
73	CNA 22	1.48	0.38	1.85	0.10	3.80	0.54	0.67	2.85	0.03	4.09	-3.60
74	CNA 19	2.35	0.19	1.15	0.02	3.70	0.42	0.58	2.73	0.05	3.78	-1.07
75	xx3	2.30	0.31	0.95	0.02	3.57	0.45	0.63	2.73	0.04	3.84	-3.60
76	CNA 76	2.22	0.17	1.28	0.02	3.68	0.45	0.60	2.85	0.04	3.95	-3.56
77	CNA 304	1.74	0.26	1.92	0.03	3.94	0.54	0.60	2.98	0.07	4.19	-3.06
78	CNA 305	2.13	0.21	3.08	0.02	5.45	1.81	1.04	2.48	0.06	5.39	0.56

79	CNA 307	2.22	0.27	2.68	0.02	5.19	1.27	1.04	3.22	0.03	5.56	-3.50
80	CNA 295	1.26	0.18	1.85	0.02	3.31	0.42	0.35	2.73	0.05	3.55	-3.60
81	CNA 317	2.04	0.22	3.52	0.02	5.80	0.80	2.01	2.98	0.07	5.85	-0.45
82	x14	1.78	0.31	1.11	0.04	3.23	0.40	0.42	2.60	0.04	3.46	-3.42
83	CNA 280	1.52	0.56	4.30	0.84	7.22	3.63	0.11	2.98	0.18	6.89	2.33
84	CNA 880	1.87	0.32	1.42	0.08	3.69	0.42	0.52	2.73	0.05	3.72	-0.35
85	CNA 342	1.43	0.15	2.25	0.07	3.90	0.52	0.63	2.73	0.05	3.92	-0.20
86	CNA 348	1.17	0.21	1.93	0.09	3.40	0.47	0.69	2.48	0.04	3.68	-4.00
87	CNA 861	2.39	0.25	1.05	0.07	3.76	0.49	0.58	2.85	0.04	3.97	-2.72
88	CNA 13	1.39	0.37	1.70	0.22	3.68	0.78	0.63	2.36	0.05	3.81	-1.76
89	CNA 112	1.70	0.11	1.26	0.01	3.07	0.35	0.19	2.36	0.03	2.93	2.40
90	CNA 90	1.39	0.12	0.98	0.01	2.50	0.26	0.23	2.23	0.03	2.75	-4.87
91	CNA 37	2.35	0.50	2.00	0.52	5.37	0.49	1.17	3.84	0.05	5.56	-1.75
92	CNA 40	1.20	0.41	0.88	0.15	2.64	0.35	0.31	1.98	0.05	2.70	-1.17
93	CNA 261	1.44	0.36	0.84	0.13	2.77	0.33	0.33	2.23	0.03	2.93	-2.75
94	CNA 53	2.17	0.13	1.02	0.01	3.34	0.52	0.50	2.36	0.04	3.41	-1.09
95	CNA 860	1.75	0.45	1.08	0.72	4.01	0.49	0.31	2.48	0.05	3.34	9.14
96	CNA 869	1.48	0.39	1.59	0.13	3.59	0.56	0.54	2.48	0.09	3.67	-1.08
97	CNA 83	1.74	0.13	1.27	0.01	3.14	0.42	0.29	2.60	0.04	3.35	-3.25
98	CNA 88	2.00	0.18	1.00	0.04	3.22	0.52	0.48	2.36	0.05	3.40	-2.80
99	CNA 084	1.78	0.16	1.25	0.02	3.21	0.38	0.25	2.48	0.04	3.15	1.02
100	CNA 89	2.04	0.15	1.10	0.02	3.31	0.24	0.46	2.60	0.05	3.34	-0.43
101	CNA 337	2.09	0.15	1.05	0.02	3.31	0.33	0.42	2.60	0.04	3.39	-1.24
102	CNA 475	2.43	0.28	1.90	0.07	4.68	0.75	1.04	3.10	0.08	4.97	-3.05
103	CNA 338	0.52	0.25	1.50	0.10	2.37	0.35	0.13	1.98	0.04	2.50	-2.58
104	CNA 872	1.65	0.17	0.85	0.01	2.68	0.33	0.25	2.23	0.03	2.85	-2.95
105	x10	1.13	0.25	1.20	0.10	2.68	0.31	0.21	2.11	0.03	2.65	0.44
106	CNA 434	1.43	0.20	1.60	0.04	3.28	0.45	0.40	2.48	0.04	3.36	-1.26

107	CNA 436	2.09	0.31	1.20	0.10	3.69	0.45	0.48	2.85	0.04	3.82	-1.66
108	CNA 80	2.26	0.16	1.55	0.02	4.00	0.54	0.54	3.10	0.05	4.23	-2.77
109	CNA 340	1.30	0.30	1.08	0.13	2.81	0.80	0.50	1.36	0.05	2.71	1.83
110	xx4	1.00	0.14	0.95	0.06	2.15	0.24	0.15	1.61	0.02	2.02	3.21
111	x15	2.35	0.15	2.30	0.02	4.83	0.47	0.90	2.60	0.04	4.01	9.21
112	CNA- 46	2.17	0.16	1.15	0.02	3.50	0.42	0.58	2.60	0.04	3.65	-2.10
113	CNA 47	2.09	0.15	1.20	0.04	3.48	0.42	0.52	2.60	0.04	3.59	-1.54
114	CNA 063	1.00	0.41	1.75	0.12	3.28	0.38	0.29	2.48	0.04	3.18	1.42
115	CNA 62	1.22	0.23	1.55	0.06	3.06	0.40	0.31	2.48	0.04	3.23	-2.74
116	CNA 87	1.78	0.14	1.10	0.02	3.05	0.35	0.29	2.60	0.02	3.27	-3.45
117	CNA 86	1.52	0.41	1.90	0.15	3.98	0.73	0.60	2.60	0.06	4.00	-0.31
118	CNA 85	1.74	0.16	1.10	0.03	3.03	0.33	0.31	2.48	0.04	3.16	-2.16
119	CNA 401	1.04	0.22	1.75	0.09	3.10	0.35	0.33	2.36	0.07	3.11	-0.22
120	CNA 881	2.09	0.13	1.25	0.04	3.51	0.35	0.52	2.60	0.05	3.52	-0.16
121	CNA 408	0.39	0.33	0.90	0.21	1.82	0.26	0.67	0.87	0.04	1.83	-0.31
122	CNA 407	1.26	0.19	1.85	0.07	3.37	0.33	0.23	2.85	0.05	3.46	-1.30
123	CNA 934	2.35	0.17	1.30	0.05	3.86	0.28	0.50	2.85	0.04	3.68	2.49
124	CNA 91	0.87	0.37	1.30	0.21	2.75	0.26	0.25	2.23	0.05	2.79	-0.66
125	CNA 866	2.13	0.15	1.45	0.02	3.75	0.35	0.52	2.73	0.03	3.64	1.52
126	CNA- 116	1.00	0.37	1.05	0.18	2.61	0.33	0.25	1.98	0.04	2.61	-0.03
127	CNA 108	0.48	0.22	0.60	0.10	1.39	0.21	0.04	1.24	0.02	1.51	-3.99
128	CNA 109	0.48	0.22	0.80	0.07	1.57	0.28	0.04	1.24	0.02	1.58	-0.52
129	CNA 887	0.65	0.31	1.60	0.09	2.65	0.38	0.04	2.11	0.03	2.55	1.94
130	CNA 273	0.70	0.32	2.00	0.08	3.10	0.33	0.21	2.48	0.04	3.06	0.63
131	xx8	1.35	0.50	5.85	1.05	8.75	2.12	1.48	3.72	0.13	7.45	8.03
132	CNA 319	1.61	0.27	1.45	0.06	3.38	0.42	0.42	2.73	0.04	3.61	-3.25
133	CNA 330	1.17	0.37	1.95	0.14	3.64	0.38	0.25	2.36	0.06	3.05	8.87
134	CNA 332	0.91	0.37	1.55	0.12	2.95	0.31	0.19	2.11	0.03	2.63	5.74

135	x12	1.48	0.14	2.00	0.04	3.66	0.40	0.52	2.98	0.04	3.93	-3.60
136	CNA 79	2.09	0.17	1.30	0.02	3.57	0.42	0.56	2.23	0.04	3.26	4.60
137	CNA 876	4.26	0.56	4.80	0.16	9.79	0.40	4.69	3.47	0.12	8.68	6.00
138	x13	1.13	0.37	1.95	0.11	3.56	0.42	0.23	2.85	0.03	3.53	0.40
139	CNA 724	1.43	0.15	1.75	0.02	3.36	0.42	0.54	2.60	0.04	3.61	-3.65
140	CNA 299	1.43	0.20	1.55	0.01	3.19	0.42	0.38	2.60	0.04	3.44	-3.76
141	CNA 274	0.78	0.27	1.80	0.07	2.92	0.38	0.27	2.48	0.03	3.16	-3.89
142	CNA 272	0.61	0.33	2.35	0.16	3.46	0.89	0.25	2.60	0.05	3.79	-4.66

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO II. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2010.

ID	Localidad	Na	K	Ca	Mg	Suma caciones	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Acapulco 306 Col. Morelos	4.00	1.36	6.38	1.74	13.49	4.50	3.52	4.57	0.34	12.93	2.09
2	Ángel Cisneros Cuevas	2.87	0.72	8.75	1.61	13.95	2.53	2.29	7.35	0.21	12.38	5.96
3	Bodega de Pozos - Suacero	6.74	1.51	18.58	1.58	28.41	2.48	3.48	0.91	4.31	11.18	43.52
4	Cándido Vargas	2.78	0.51	4.00	0.79	8.08	1.19	2.97	4.16	0.13	8.45	-2.19
5	Capilla del Desierto	1.43	0.63	1.20	0.44	3.70	0.34	2.00	0.83	0.04	3.21	7.04
6	Capulines	2.09	0.83	2.55	0.87	6.33	0.70	2.92	1.99	0.08	5.69	5.40
7	Capulines	3.52	1.00	4.50	1.21	10.23	1.89	4.38	2.53	0.10	8.89	6.99
8	Carretera 57 a Matehuala	11.48	0.90	14.75	2.79	29.91	6.19	11.98	7.89	0.17	26.23	6.57
9	Cerritos	0.96	0.29	0.75	0.19	2.19	0.73	0.63	0.73	0.06	2.14	1.19
10	Comunidad La Cantera	0.57	0.23	0.50	0.11	1.40	0.14	0.79	0.54	0.01	1.49	-2.94
11	Concepción Mtz. (Barrio Santiago)	3.39	1.03	5.00	1.18	10.59	1.19	4.58	3.32	0.14	9.23	6.86
12	Deportivo Los Gómez	2.13	0.86	10.20	1.74	14.93	4.63	5.63	3.32	0.11	13.69	4.34
13	Don Valente	7.17	1.99	8.72	1.52	19.41	3.78	5.02	6.02	0.54	15.36	11.64
14	El Aguaje	1.09	0.44	0.65	0.23	2.41	0.28	0.44	1.66	0.02	2.40	0.24
15	El Aguaje	1.22	0.43	1.30	0.49	3.43	0.28	0.83	2.07	0.06	3.25	2.77
16	El Gato	0.35	0.15	0.55	0.07	1.13	0.07	0.25	0.73	0.04	1.08	2.02
17	El Morro	6.17	0.82	7.34	1.55	15.89	2.58	3.39	7.68	0.24	13.88	6.73
18	Esc. San José del Barro	1.78	0.77	6.00	1.00	9.55	0.68	0.68	7.06	0.15	8.57	5.42
19	Establo La Providencia	7.83	1.00	14.25	1.68	24.75	5.16	6.25	8.52	0.48	20.41	9.63
20	Estrella de Dimas	11.09	0.91	8.00	2.00	22.00	4.81	10.00	5.65	0.10	20.56	3.37
21	Ex - Hacienda El Jaralito	2.17	0.62	7.85	1.18	11.82	1.72	1.93	6.23	0.15	10.03	8.20
22	General I. Martínez	1.87	0.59	3.25	1.27	6.97	0.56	3.70	2.28	0.03	6.56	3.03
23	Huerta Santa Úrsula	1.39	0.68	8.11	1.37	11.54	3.08	4.38	4.98	0.12	12.56	-4.21
24	Huerta Los Olivos	3.61	0.74	8.72	1.32	14.39	5.50	2.71	6.85	0.20	15.26	-2.96
25	J. Fernando Rdz. (Gas Vip)	3.87	0.69	1.83	0.30	6.70	1.02	1.77	4.36	0.06	7.21	-3.70
26	Juan Castillo Martínez	3.65	0.67	7.27	1.00	12.58	1.67	1.51	7.27	0.26	10.72	8.02
27	La Pila	2.04	0.65	2.50	0.75	5.95	1.18	1.48	1.99	0.21	4.86	10.01
28	Lázaro Núñez	2.35	0.60	2.95	0.46	6.36	0.60	0.63	3.32	0.32	4.86	13.34
29	Leobardo Romero	6.13	0.92	7.04	1.42	15.50	3.67	4.06	7.69	0.24	15.66	-0.52

30	Leos peña - Los Gómez	4.35	0.77	8.00	1.54	14.65	3.23	2.88	6.65	0.13	12.89	6.41
31	Los Medina (Col. Santa Rosa)	3.48	0.47	3.00	0.55	7.50	0.69	1.46	4.36	0.05	6.55	6.76
32	Los Terreros	0.70	0.35	0.78	0.14	1.96	0.14	0.79	1.08	0.01	2.02	-1.33
33	Mario Lucio López	3.04	0.74	8.00	1.25	13.04	2.43	1.56	7.27	0.19	11.45	6.47
34	Metalcon - Los Gómez	1.96	0.77	9.50	1.80	14.03	4.80	1.46	7.27	0.03	13.56	1.69
35	Mezquital	1.91	0.62	2.10	0.81	5.44	0.68	2.50	1.60	0.04	4.82	6.00
36	Ofelia Lara (Col. La Tuna)	7.61	0.97	3.75	1.02	13.35	1.89	3.54	6.23	0.04	11.70	6.58
37	Pozos - Chiqueros	6.65	1.01	10.58	1.79	20.03	2.62	5.73	9.35	0.08	17.78	5.95
38	Quinta Consuelo	7.13	0.85	8.24	1.52	17.74	3.26	4.17	7.57	0.22	15.21	7.67
39	Rancho El Diamante	1.74	0.68	7.00	1.19	10.61	2.67	2.31	4.77	0.10	9.85	3.72
40	Rancho El Diamante	4.00	0.81	8.76	1.36	14.92	3.15	4.73	4.98	0.21	13.07	6.62
41	Rancho El Sacrificio	4.48	0.60	15.80	1.06	21.93	5.01	7.29	6.16	0.26	18.73	7.89
42	Rancho La Esperanza	0.87	0.52	3.57	0.58	5.54	0.86	1.44	3.53	0.10	5.93	-3.35
43	Rancho La Providencia	7.30	1.18	10.80	2.38	21.66	3.44	6.51	8.31	0.40	18.66	7.44
44	Rancho San Isidro	7.13	0.97	6.70	1.50	16.30	3.44	4.69	6.53	0.26	14.92	4.41
45	Residencial El Cortijo	3.91	1.76	5.50	0.86	12.02	1.89	6.25	2.90	0.02	11.06	4.20
46	Rosalio Rodríguez	2.96	0.59	7.95	1.33	12.83	2.09	4.67	4.00	0.24	11.00	7.70
47	Rosendo Fraga A.	2.91	0.69	3.50	0.90	8.00	1.12	2.88	2.91	0.03	6.93	7.17
48	Sabas Ramírez. Col El Zapote	5.65	0.81	8.25	1.86	16.57	3.26	3.52	7.48	0.43	14.69	6.01
49	San José de Buena Vista	1.39	0.80	1.20	0.72	4.10	0.34	2.29	1.66	0.02	4.32	-2.54
50	Tanque Santa María	2.43	0.73	7.85	1.47	12.49	3.34	2.81	4.35	0.18	10.68	7.80
51	Tierra Blanca	2.57	0.52	2.50	0.63	6.22	0.97	2.40	2.17	0.07	5.61	5.18
52	Tierra Blanca	2.91	0.53	3.00	0.78	7.23	1.14	2.14	3.32	0.05	6.65	4.14
53	Víctor Rosales	1.17	0.42	1.67	0.63	3.90	0.29	0.58	3.11	0.03	4.01	-1.45
54	Vivero Municipal	1.48	0.62	1.40	0.63	4.13	0.28	0.63	2.91	0.04	3.85	3.46
55	Yesera - Los Gómez	0.70	0.60	14.00	0.96	16.26	3.10	9.25	1.99	0.11	14.45	5.91

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO III. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2012.

ID	Nombre del Sitio	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO₄	HCO₃	NO₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Delegación Villa de Pozos	2.27	0.19	1.05	0.14	3.64	0.54	0.49	1.88	0.02	2.93	10.78
2	Fracc. Villa Jardín	2.27	0.20	1.06	0.14	3.67	0.66	0.34	1.73	0.02	2.74	14.48
3	Hostal del Quijote	2.78	0.48	1.65	0.14	5.04	0.55	0.56	2.12	0.04	3.27	21.27
4	Internado Damián Carmona	1.98	0.52	2.28	0.34	5.11	0.83	0.69	1.87	0.10	3.48	18.96
5	Muñoz	3.01	0.17	1.11	0.34	4.62	0.38	0.47	2.15	0.02	3.02	20.92
6	Pozo Bocas	5.38	0.29	5.52	0.91	12.10	1.54	7.42	5.31	0.08	14.34	-8.46
7	Pozo La Zamorilla	4.07	0.30	4.25	0.38	9.00	1.16	2.37	3.72	0.09	7.34	10.14
8	Pozo Milpillás	3.07	0.24	1.20	0.14	4.65	0.42	0.46	2.03	0.02	2.93	22.64
9	Pozo Periférico 1	2.19	0.19	1.05	0.34	3.77	0.38	0.37	2.15	0.02	2.92	12.68
10	Rancho El Diamante	3.74	1.07	9.25	1.81	15.86	4.34	3.64	3.41	0.44	11.83	14.54

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO IV. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2013.

ID	Nombre del Sitio	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO₄	HCO₃	NO₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Delegación Villa de Pozos	2.34	0.09	1.19	0.01	3.63	0.38	0.28	2.31	0.02	2.99	9.65
2	Fracc. Villa Jardín	2.01	0.08	1.14	0.03	3.26	0.37	0.30	1.92	0.02	2.62	11.01
3	Hostal del Quijote	1.92	0.52	2.33	0.18	4.96	0.75	0.74	2.39	0.07	3.95	11.26
4	Internado Damián Carmona	1.76	0.35	2.67	0.24	5.02	0.89	0.67	1.99	0.10	3.64	15.93
5	Muñoz	3.33	0.09	1.13	0.24	4.79	0.41	0.42	2.26	0.02	3.11	21.24
6	Pozo Bocas	5.03	0.25	3.79	0.85	9.91	1.44	4.82	5.29	0.09	11.64	-8.03
7	Pozo La Zamorilla	3.48	0.23	5.18	0.32	9.22	1.10	2.13	3.72	0.07	7.02	13.53
8	Pozo Milpillas	2.76	0.11	1.24	0.11	4.22	0.40	0.44	2.15	0.02	3.01	16.69
9	Pozo Periférico 1	2.36	0.14	1.13	0.24	3.86	0.38	0.29	2.20	0.03	2.89	14.37
10	Rancho El Diamante	2.85	0.76	9.55	1.80	14.95	3.95	4.62	3.70	0.36	12.63	8.43

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO V. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2014.

ID	Nombre del Sitio	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO₄	HCO₃	NO₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Delegación Villa de Pozos	2.05	0.13	0.90	0.52	3.61	0.35	0.43	1.90	0.02	2.70	14.38
2	Fracc. Villa Jardín	1.87	0.14	0.84	0.52	3.38	0.84	0.29	1.73	0.02	2.88	7.97
3	Hostal del Quijote	1.88	0.57	2.02	0.22	4.69	0.67	0.83	2.28	0.06	3.84	10.00
4	Internado Damián Carmona	1.85	0.42	2.50	0.39	5.15	0.78	0.77	1.90	0.10	3.56	18.33
5	Muñoz	2.98	0.10	1.17	0.03	4.28	0.33	0.55	2.11	0.02	3.01	17.46
6	Pozo Bocas	5.27	0.31	5.45	0.82	11.84	1.50	3.77	5.60	0.08	10.95	3.92
7	Pozo La Zamorilla	3.38	0.25	3.62	0.20	7.45	1.20	1.71	3.78	0.07	6.76	4.82
8	Pozo Milpillás	2.81	0.14	1.11	0.03	4.09	0.32	0.57	2.03	0.03	2.94	16.37
9	Pozo Periférico 1	2.32	0.14	1.14	0.03	3.62	0.33	0.44	2.15	0.02	2.95	10.20
10	Rancho El Diamante	2.90	0.85	9.10	1.80	14.65	3.74	3.81	3.30	0.39	11.24	13.17

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO VI. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2015.

ID	Nombre del Sitio	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Delegación Villa de Pozos	2.51	0.14	0.97	0.01	3.64	0.32	0.31	1.95	0.02	2.60	16.65
2	Fracc. Villa Jardín	1.83	0.13	1.02	0.02	2.99	0.28	0.22	1.76	0.02	2.27	13.57
3	Internado Damián Carmona	1.78	0.41	2.19	0.35	4.72	0.85	0.65	2.00	0.10	3.60	13.53
4	Muñoz	3.51	0.11	1.02	0.02	4.66	0.38	0.53	2.16	0.02	3.08	20.44
5	Pozo Bocas	5.15	0.21	5.05	0.67	11.07	1.40	4.49	5.76	0.07	11.73	-2.86
6	Pozo La Zamorilla	2.31	0.17	2.64	0.22	5.34	1.06	1.89	3.85	0.06	6.87	-12.51
7	Pozo Milpillas	2.33	0.14	0.97	0.02	3.46	0.38	0.44	2.11	0.02	2.95	7.95
8	Pozo Periférico 1	2.87	0.16	1.20	0.04	4.26	0.35	0.40	2.17	0.02	2.94	18.37
9	Rancho El Diamante	3.85	1.05	9.68	1.85	16.43	3.92	4.56	3.61	0.42	12.51	13.53

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO VII. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2016.

ID	Nombre del Sitio	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO₄	HCO₃	NO₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Real Del Potosí	2.15	0.25	2.07	0.04	4.51	1.04	0.51	2.24	0.02	3.80	8.53
2	Delegación Villa De Pozos	1.85	0.11	0.87	0.00	2.82	0.32	0.48	2.05	0.01	2.86	-0.63
3	El Huizache	2.12	0.55	3.57	0.00	6.24	2.38	0.47	2.19	0.08	5.11	9.95
4	Fracc. La Florida	1.57	0.15	1.13	0.04	2.88	1.04	0.28	1.91	0.01	3.24	-5.78
5	Fracc. Villa Jardín	1.64	0.11	0.83	0.00	2.58	0.32	0.40	1.89	0.01	2.62	-0.88
6	Granjas La Florida	2.09	0.19	2.67	0.03	4.98	1.04	0.67	1.89	0.03	3.62	15.77
7	Internado Damián Carmona	1.39	0.28	1.99	0.29	3.95	0.84	0.89	1.95	0.07	3.75	2.65
8	Muñoz	2.29	0.12	0.92	0.02	3.34	0.46	0.47	2.18	0.02	3.13	3.24
9	Pozo Bocas	5.15	0.21	5.05	0.67	11.07	1.40	4.49	5.76	0.07	11.73	-2.86
10	Pozo La Zamorilla	2.31	0.17	2.64	0.22	5.34	1.06	1.89	3.85	0.06	6.87	-12.51
11	Pozo Milpilllas	1.45	0.20	1.27	0.17	3.09	0.39	0.99	1.52	0.01	2.91	2.91
12	Pozo Periférico I	2.09	0.17	1.08	0.03	3.37	0.39	0.42	2.33	0.02	3.16	3.17
13	Rancho El Diamante	3.25	1.18	9.49	1.67	15.59	4.47	8.40	3.82	0.44	17.14	-4.73

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO VIII. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2017.

ID	Nombre del Sitio	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Real Del Potosí	1.94	0.20	1.70	0.04	3.88	0.50	0.33	2.33	0.03	3.18	9.92
2	Delegación Villa De Pozos	1.58	0.11	0.75	0.01	2.45	0.35	0.33	1.90	0.01	2.59	-2.80
3	El Huizache	2.25	0.67	3.87	0.61	7.41	2.49	1.14	2.30	0.12	6.04	10.16
4	Frac. La Florida	1.71	0.15	1.20	0.01	3.07	0.46	0.21	1.86	0.02	2.55	9.19
5	Frac. Villa Jardín	1.09	0.16	0.84	0.04	2.13	0.42	0.16	1.65	0.01	2.24	-2.53
6	Granjas La Florida	1.98	0.19	2.47	0.02	4.66	1.22	0.67	2.28	0.04	4.21	5.12
7	Internado Damián Carmona	1.24	0.25	1.76	0.24	3.49	0.97	0.64	1.80	0.07	3.48	0.11
8	La Zorra	1.75	0.14	1.88	0.02	3.79	0.75	0.36	2.18	0.04	3.32	6.56
9	Muñoz	2.50	0.09	1.04	0.02	3.64	0.45	0.43	2.10	0.01	2.98	10.00
10	Pozo Bocas	8.98	0.37	6.81	1.03	17.19	1.53	5.22	5.54	0.09	12.38	16.25
11	Pozo La Zamorilla	4.11	0.30	4.56	0.36	9.33	1.15	2.50	3.79	0.07	7.50	10.85
12	Pozo Milpillas	2.12	0.48	2.56	0.16	5.32	1.11	0.44	2.71	0.07	4.32	10.35
13	Pozo Periférico 1	2.50	0.14	1.24	0.03	3.92	0.42	0.38	2.20	0.02	3.01	13.05
14	Rancho El Diamante	3.18	0.84	11.26	1.81	17.09	3.88	4.05	3.44	0.25	11.63	19.02

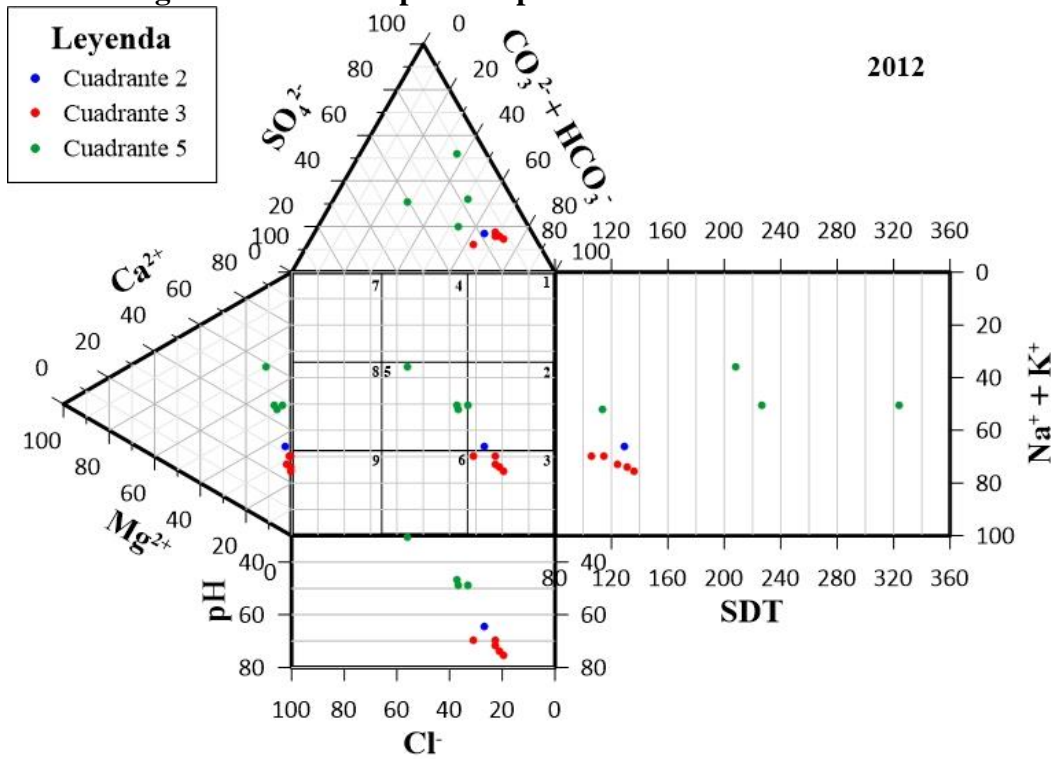
Unidades: Concentración de iones (meq/L).

ANEXO IX. Cálculos del balance iónico para la base de datos de 2018.

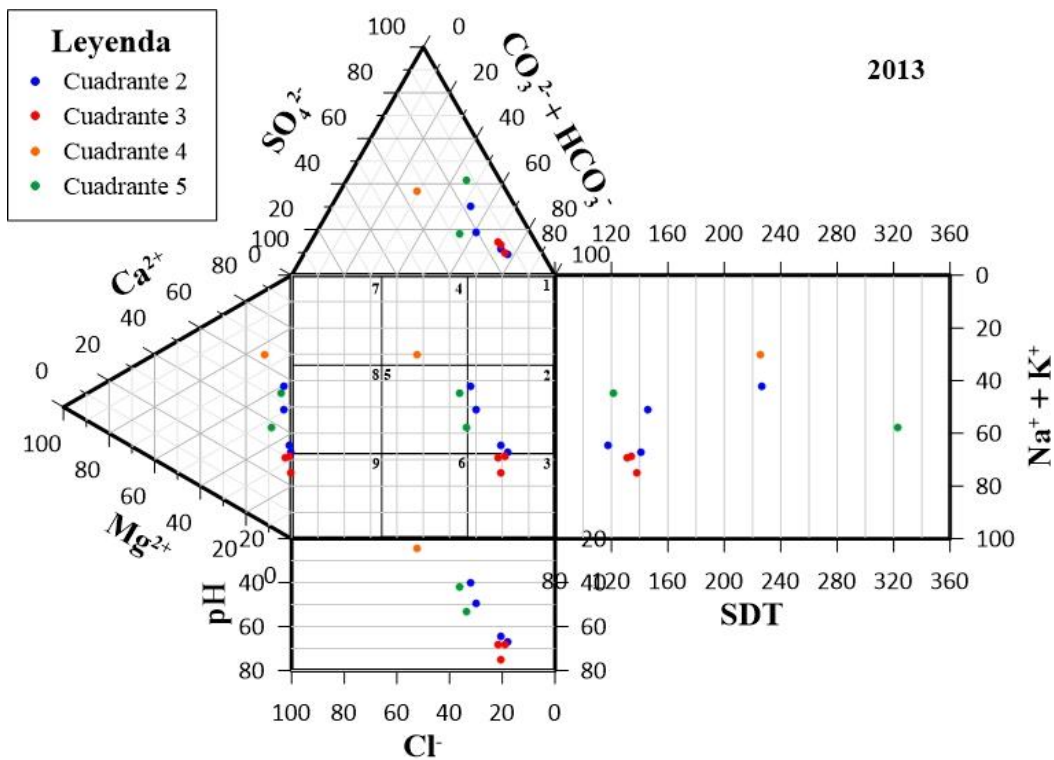
ID	Nombre del Sitio	Na	K	Ca	Mg	Suma cationes	Cl	SO₄	HCO₃	NO₃	Suma aniones	% Error Balance de Iones
1	Real Del Potosí	2.10	0.26	2.00	0.04	4.40	0.43	0.46	2.16	0.03	3.08	17.56
2	Comunidad Derramaderos	1.12	0.72	4.51	1.16	7.51	0.27	2.08	3.35	0.03	5.73	13.44
3	Delegación Villa De Pozos	2.46	0.16	1.11	0.02	3.75	0.47	0.46	2.01	0.02	2.96	11.85
4	El Huizache	1.99	0.42	3.27	0.00	5.68	2.26	1.12	2.08	0.12	5.58	0.95
5	Fracc. La Florida	1.92	0.19	1.36	0.59	4.07	0.43	0.30	1.84	0.02	2.59	22.18
6	Fracc. Villa Jardín	1.64	0.27	1.24	0.06	3.22	0.35	0.26	1.69	0.02	2.32	16.21
7	Granjas La Florida	2.20	0.19	2.81	0.03	5.23	1.17	0.79	1.81	0.04	3.80	15.86
8	Internado Damián Carmona	1.87	0.41	2.61	0.36	5.25	0.95	0.84	1.77	0.11	3.67	17.62
9	La Zorra	1.99	0.19	2.17	0.02	4.37	0.66	0.52	1.94	0.08	3.21	15.39
10	Muñoz	3.01	0.12	1.18	0.02	4.34	0.40	0.60	2.13	0.02	3.15	15.92
11	Pozo Bocas	9.06	0.49	8.73	1.27	19.55	1.44	4.24	5.58	0.09	11.35	26.54
12	Pozo La Zamorilla	5.57	0.39	5.72	0.47	12.15	1.11	1.80	3.81	0.07	6.79	28.30
13	Pozo Milpillas	1.92	0.51	2.30	0.15	4.88	1.04	0.62	2.86	0.07	4.59	3.02
14	Pozo Periférico 1	2.68	0.18	1.33	0.04	4.22	0.44	0.49	1.89	0.03	2.85	19.48
15	Rancho El Diamante	3.88	1.10	10.34	1.91	17.23	4.05	4.24	3.50	0.45	12.23	16.97

Unidades: Concentración de iones (meq/L).

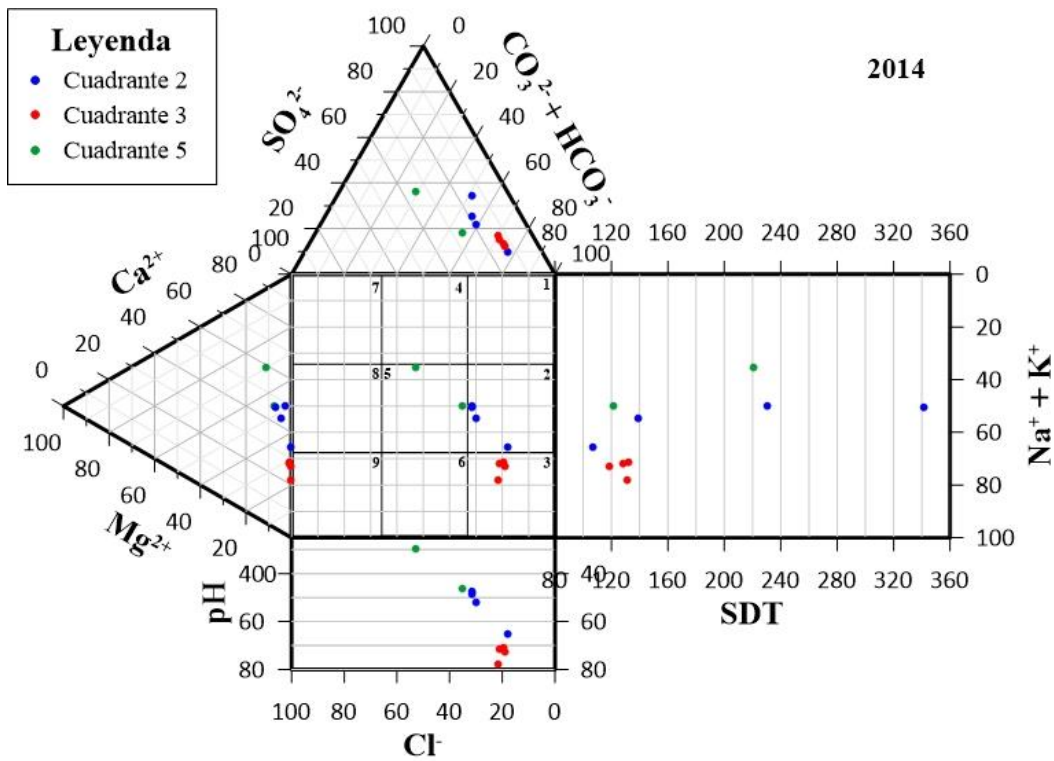
ANEXO X. Diagramas de Durov para los pozos muestreados de 2012 a 2017.



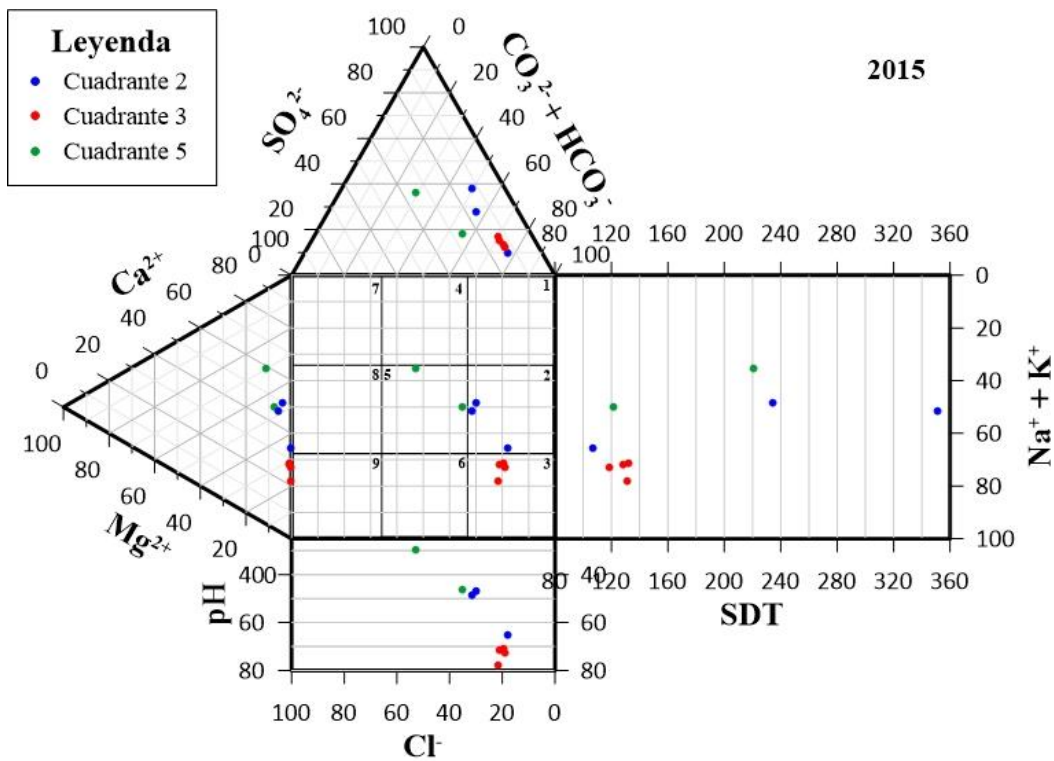
ANEXO X-A. Diagrama de Durov para los pozos muestreados de 2012.



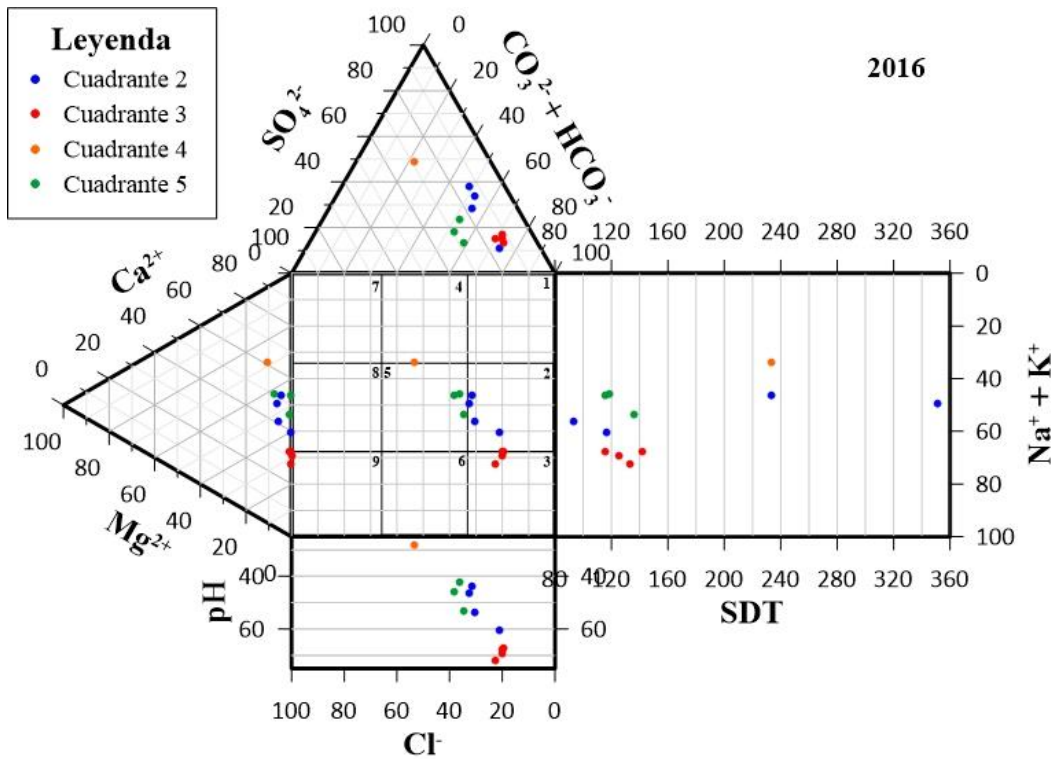
ANEXO X-B. Diagrama de Durov para las muestras de 2013.



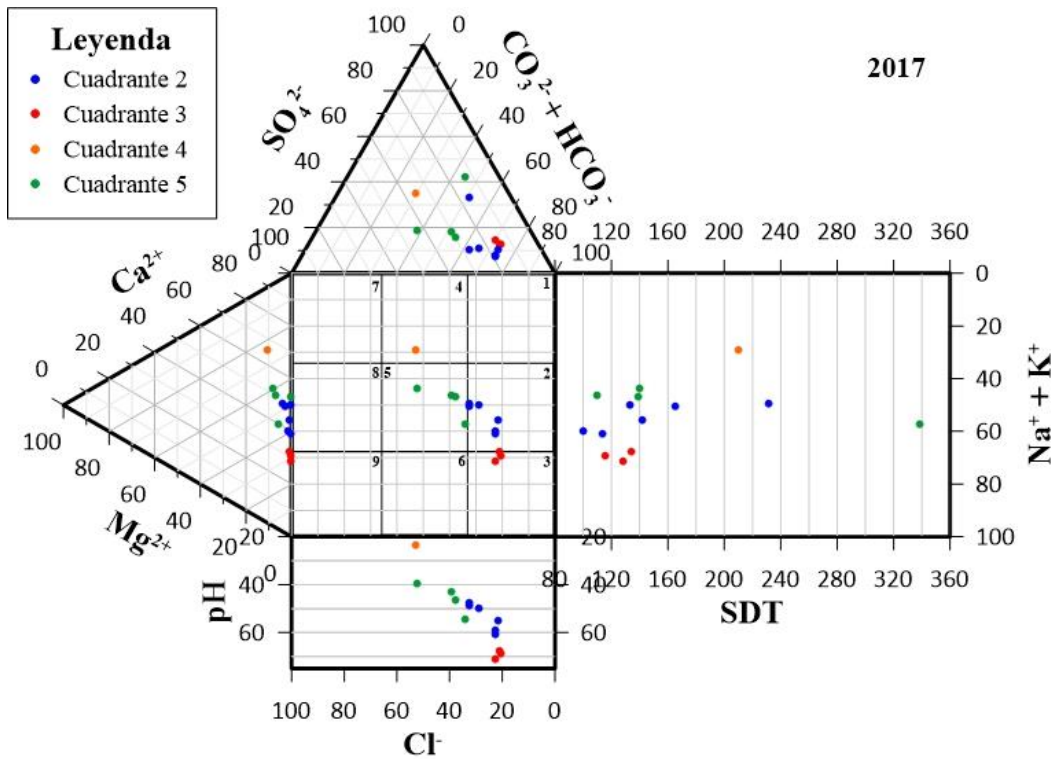
ANEXO X-C. Diagrama de Durov para las muestras de 2014.



ANEXO X-D. Diagrama de Durov para las muestras de 2015.

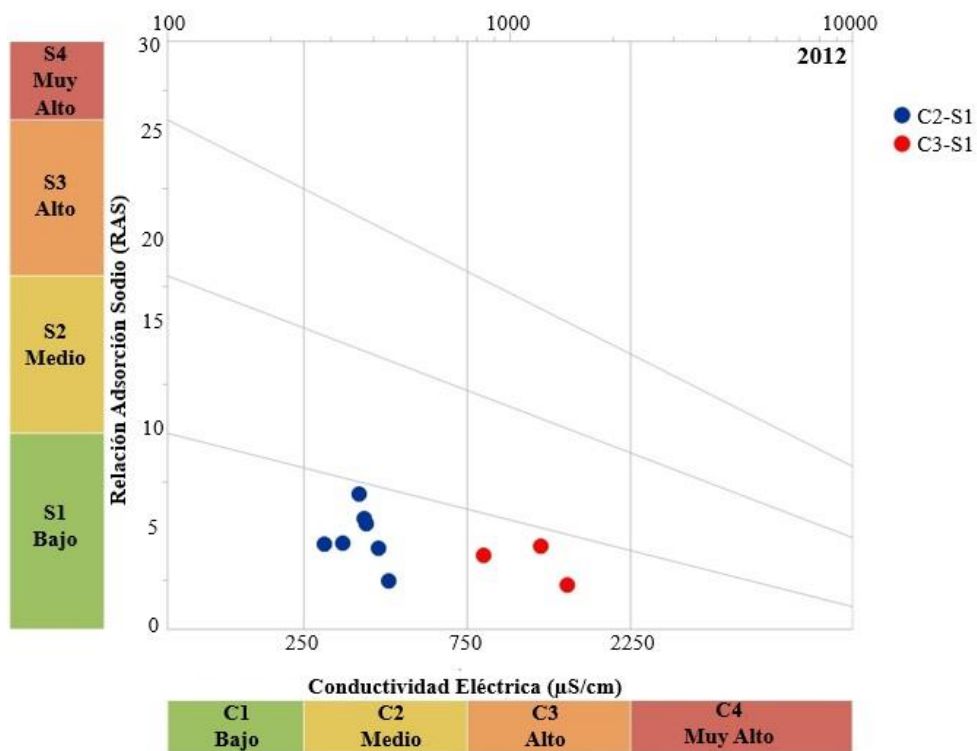


ANEXO X-E. Diagrama de Durov para las muestras de 2016.

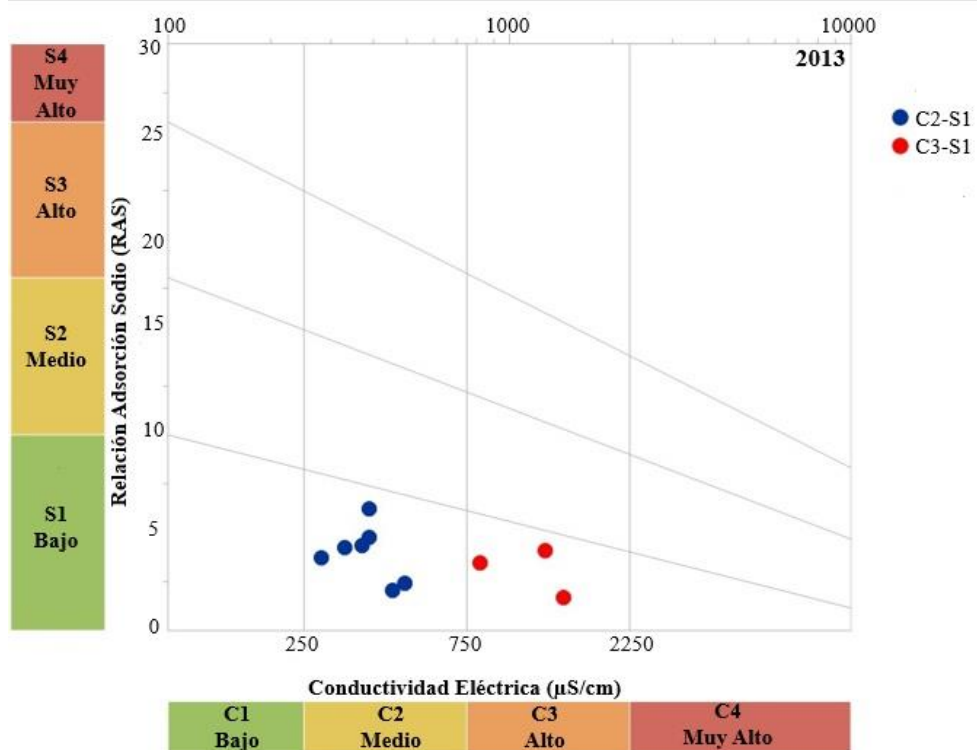


ANEXO X-F. Diagrama de Durov para las muestras de 2017.

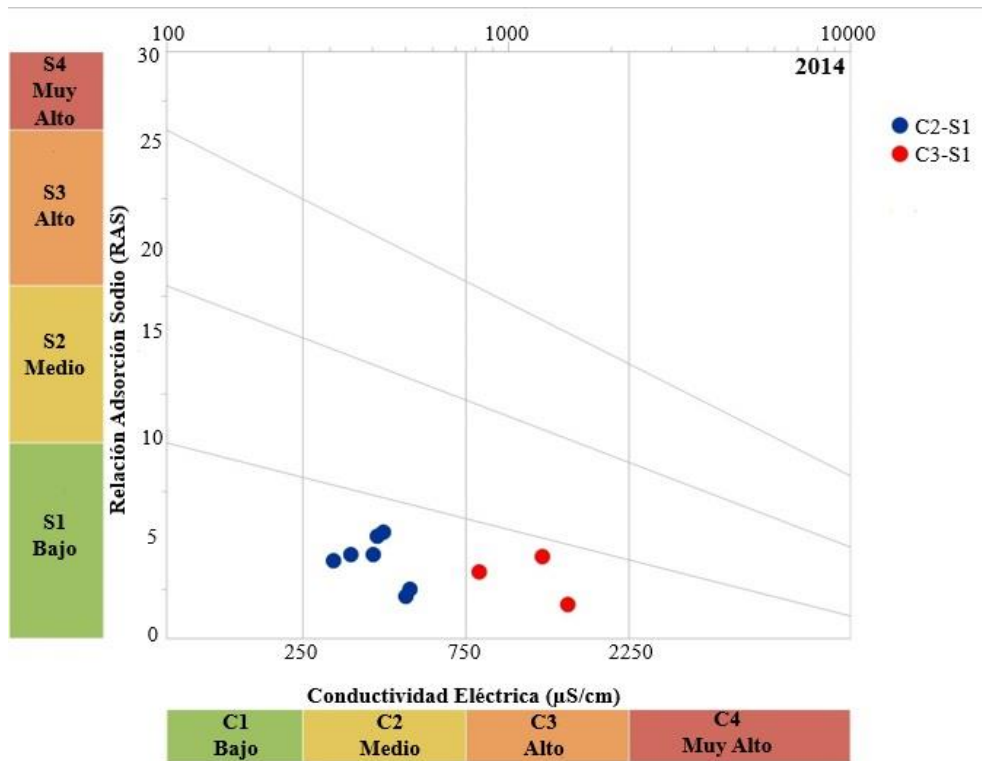
ANEXO XI. Diagramas de Wilcox para los pozos muestreados de 2012 a 2017.



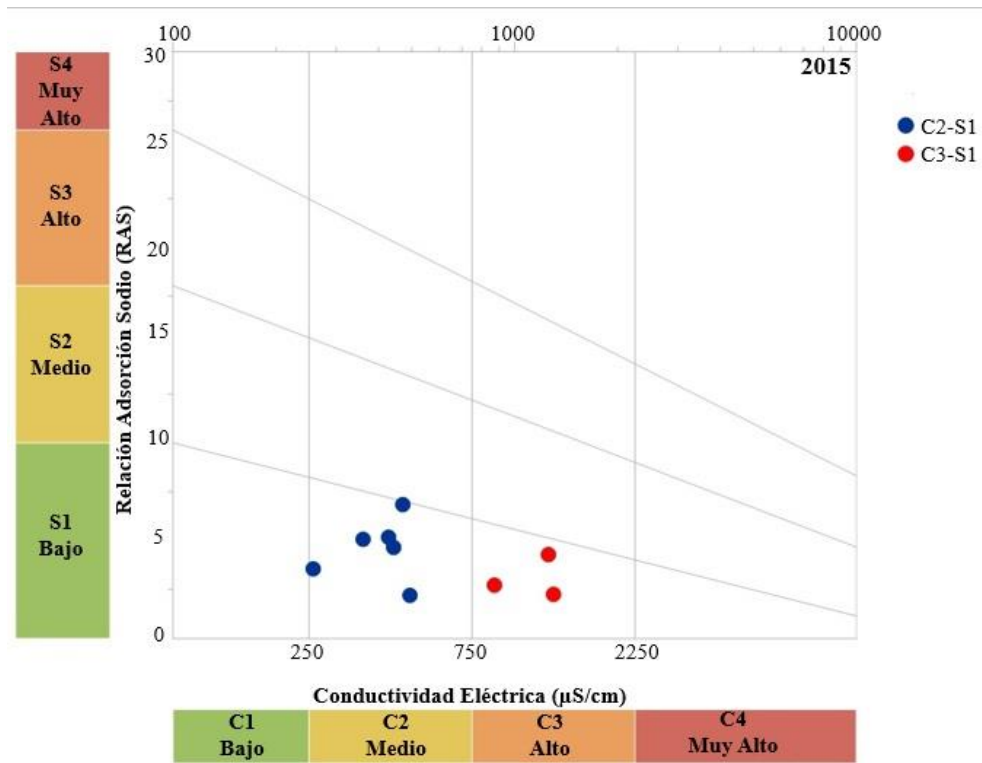
ANEXO XI-A. Diagrama de Wilcox para los pozos muestreados de 2012.



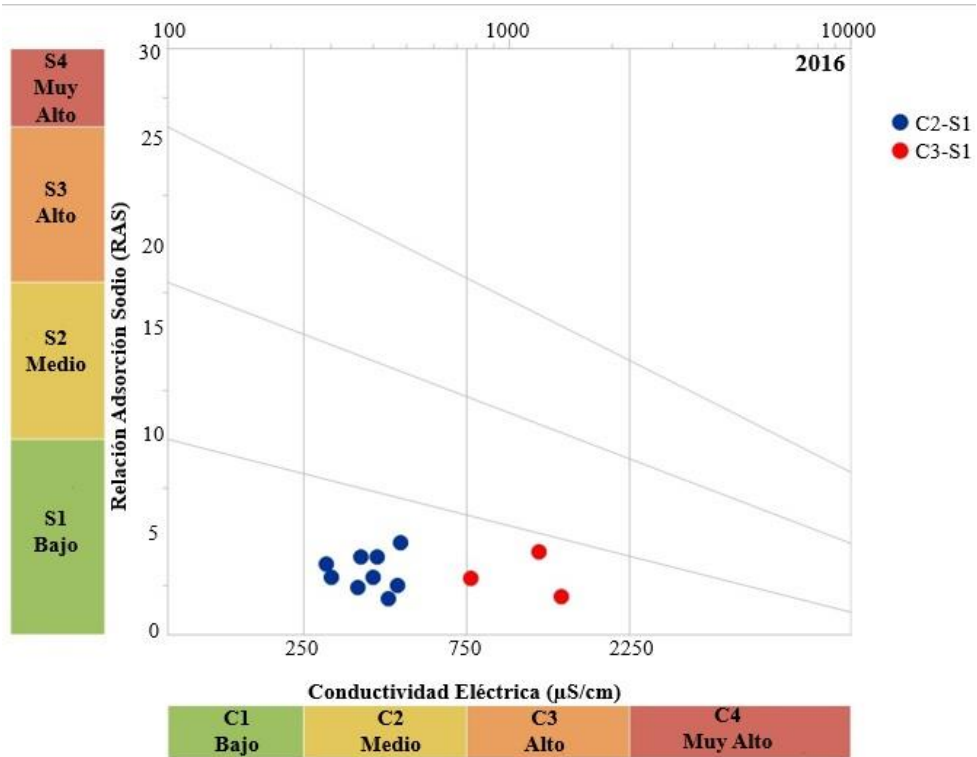
ANEXO XI-B. Diagrama de Wilcox para los pozos muestreados de 2013.



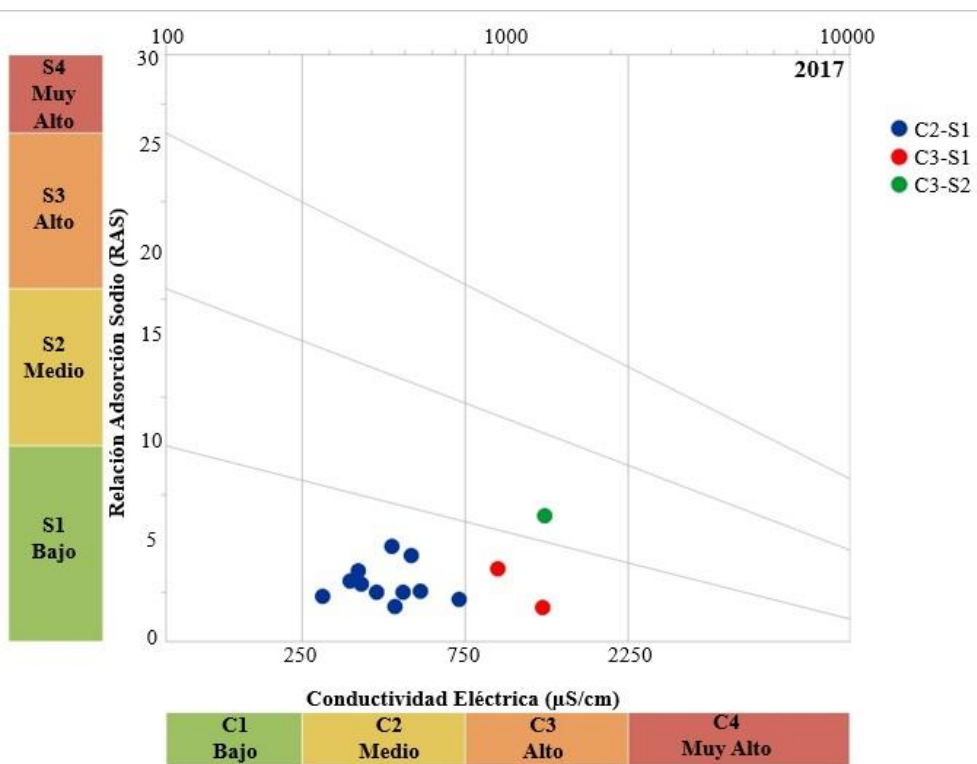
ANEXO XI-C. Diagrama de Wilcox para los pozos muestreados de 2014.



ANEXO XI-D. Diagrama de Wilcox para los pozos muestreados de 2015.



ANEXO XI-E. Diagrama de Wilcox para los pozos muestreados de 2016.



ANEXO XI-F. Diagrama de Wilcox para los pozos muestreados de 2017.

ANEXO XII. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2007.

ID	Clave	X	Y	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	xx4	302300	2437439	1.69	0.77	6.22	0.09	1.31	1.57	0.19	3.06	1.12	5.17	0.20	1.68	0.52	23.58
2	CNA 109	299735	2454724	1.42	0.37	9.66	0.11	1.01	1.88	0.05	1.86	0.78	5.01	0.16	1.44	0.28	24.04
3	CNA 108	300002	2455968	1.07	0.37	9.44	0.16	1.01	1.41	0.05	2.50	1.06	5.48	0.15	1.16	0.43	24.29
4	CNA 112	299749	2452914	2.23	1.30	4.78	0.01	1.91	2.35	0.24	3.16	2.05	5.72	0.24	2.10	1.48	27.58
5	CNA 90	302650	2455184	1.73	1.07	5.22	0.01	1.81	1.72	0.29	6.12	1.78	5.72	0.25	1.64	0.57	27.94
6	CNA 872	306479	2437988	1.51	1.27	7.44	0.01	1.81	2.19	0.32	4.44	1.77	5.48	0.28	1.43	1.56	29.52
7	CNA 68	298975	2451930	1.95	1.50	5.11	0.01	2.03	2.69	0.43	5.16	1.44	6.11	0.23	1.85	1.95	30.46
8	CNA 87	303349	2448160	1.95	1.37	6.11	0.04	2.12	2.35	0.37	5.60	2.05	5.48	0.15	1.87	1.66	31.12
9	CNA 85	302927	2448751	1.95	1.33	6.78	0.05	2.02	2.19	0.40	5.26	2.08	5.56	0.33	1.89	1.42	31.26
10	CNA 83	302921	2449294	2.25	1.33	5.67	0.01	2.12	2.82	0.37	5.04	2.17	5.48	0.29	2.12	1.60	31.28
11	CNA 408	302489	2459381	1.60	0.30	14.11	0.33	0.71	1.72	0.85	3.16	1.32	4.94	0.33	1.84	0.34	31.55
12	CNA 89	303441	2447012	1.95	1.57	6.33	0.04	2.12	1.57	0.59	5.76	2.18	5.56	0.37	1.87	1.91	31.82
13	CNA 338	307009	2438523	2.66	0.40	10.89	0.16	1.61	2.35	0.16	3.16	1.48	5.41	0.29	2.66	0.60	31.83
14	CNA 117	299767	2450988	2.00	1.40	6.67	0.03	2.02	2.51	0.37	5.42	2.04	5.41	0.27	1.90	2.13	32.14
15	CNA 337	304173	2446369	1.86	1.60	6.44	0.04	2.12	2.19	0.53	5.72	2.20	5.48	0.36	1.79	1.92	32.25
16	CNA 084	302577	2449262	2.22	1.37	7.11	0.03	2.02	2.51	0.32	5.18	2.18	5.48	0.35	2.11	1.42	32.28

17	x10	305345	2437001	2.13	0.87	10.78	0.16	1.71	2.04	0.27	3.94	1.57	5.41	0.27	2.16	1.09	32.39
18	CNA 53	297089	2451388	1.81	1.67	5.78	0.01	1.91	3.45	0.64	6.12	2.45	5.33	0.29	1.71	1.93	33.10
19	CNA 881	291417	2455422	2.22	1.60	5.78	0.07	2.12	2.35	0.67	5.60	2.44	5.25	0.37	2.15	2.63	33.24
20	CNA 64	299895	2449918	2.22	1.47	5.89	0.03	2.12	2.66	0.48	6.52	2.14	5.56	0.29	2.11	2.00	33.48
21	xx6	305452	2459663	1.91	0.73	13.89	0.21	1.51	2.35	0.16	3.48	1.36	5.17	0.57	2.01	0.31	33.66
22	xx5	305133	2456616	2.74	0.30	13.44	0.11	1.71	1.25	0.11	3.78	1.45	5.95	0.13	2.67	0.20	33.84
23	CNA 405	304962	2463236	1.86	0.23	16.11	0.23	1.07	1.99	0.13	3.22	1.04	5.41	0.37	1.98	0.41	34.05
24	CNA 724	311776	2448535	3.11	1.10	6.67	0.03	2.12	2.82	0.69	5.96	2.22	5.88	0.33	2.94	0.63	34.49
25	x12	308522	2444396	3.55	1.13	6.11	0.07	2.42	2.66	0.67	5.32	2.29	5.64	0.31	3.40	1.00	34.57
26	CNA 88	303793	2447878	1.77	1.53	7.78	0.07	1.91	3.45	0.61	5.74	2.52	5.41	0.40	1.73	1.68	34.59
27	CNA- 46	291976	2453316	2.04	1.67	6.89	0.03	2.12	2.82	0.75	5.82	2.48	5.25	0.32	1.94	2.48	34.59
28	CNA 407	301836	2459500	3.29	0.97	8.44	0.11	2.32	2.19	0.29	5.32	2.17	5.41	0.41	3.19	0.63	34.73
29	CNA 47	292420	2453776	2.13	1.60	6.44	0.07	2.12	2.82	0.67	6.24	2.46	5.33	0.31	2.07	2.62	34.86
30	CNA 934	292689	2457092	2.31	1.80	7.22	0.08	2.32	1.88	0.64	6.34	2.44	5.41	0.35	2.25	1.91	34.93
31	CNA 401	290865	2466297	3.11	0.80	9.33	0.15	1.91	2.35	0.43	5.12	2.08	5.41	0.59	3.06	0.70	35.03
32	CNA 4	292061	2451343	1.69	1.07	11.77	0.13	1.33	3.26	0.72	4.46	1.32	5.64	0.31	1.72	1.70	35.12
33	CNA 299	309681	2450269	2.75	1.10	8.55	0.01	2.12	2.82	0.48	5.32	2.04	5.88	0.31	2.59	1.24	35.21
34	CNA 434	305869	2441691	2.84	1.10	8.66	0.07	2.02	2.98	0.51	5.02	2.01	5.33	0.31	2.73	1.66	35.23
35	CNA 115	298650	2451204	2.26	1.93	5.67	0.01	2.32	2.82	0.67	6.74	2.34	5.56	0.28	2.14	2.50	35.24
36	CNA 887	303368	2451633	2.84	0.50	13.44	0.15	1.71	2.51	0.05	3.50	1.48	5.88	0.21	2.81	0.36	35.45

37	CNA 5	289873	2450634	2.40	1.90	5.89	0.04	2.20	2.69	0.80	6.52	1.84	5.09	0.37	2.29	3.46	35.48
38	CNA 129	292480	2454845	2.44	1.70	6.44	0.04	2.42	2.04	0.67	6.74	2.40	5.33	0.31	2.33	2.72	35.57
39	CNA 14	296436	2450027	1.95	0.60	14.00	0.39	0.81	2.51	1.63	4.32	1.55	5.01	0.13	2.23	0.49	35.60
40	CNA 866	293699	2446869	2.58	1.63	6.55	0.03	2.22	2.35	0.67	5.64	2.32	5.41	0.28	2.44	3.50	35.61
41	CNA 62	301737	2449464	2.75	0.93	10.00	0.09	2.02	2.66	0.40	4.86	2.08	5.72	0.29	2.68	1.21	35.69
42	CNA 45	292602	2453243	2.31	1.80	5.67	0.04	2.16	3.97	0.72	6.12	1.76	5.33	0.35	2.21	3.28	35.70
43	CNA 79	303011	2444588	2.31	1.60	7.33	0.03	1.81	2.82	0.72	6.38	2.49	5.48	0.33	2.19	2.22	35.72
44	CNA 49	290554	2454378	2.22	1.76	6.33	0.04	1.98	4.18	0.67	5.74	1.73	5.25	0.52	2.12	3.28	35.82
45	CNA 249	309552	2459211	2.21	0.93	12.00	0.20	1.31	2.35	0.45	5.30	2.13	5.64	0.55	2.28	0.59	35.94
46	CNA 340	307762	2438003	1.93	0.99	13.00	0.21	1.11	5.33	0.64	3.06	1.90	5.01	0.39	2.02	0.39	35.98
47	CNA 103	298798	2453778	1.86	0.53	15.11	0.32	1.20	3.67	0.35	3.68	1.08	5.48	0.35	2.08	0.65	36.36
48	CNA 402	288728	2465524	3.02	0.70	12.11	0.19	1.86	2.43	0.32	4.68	1.40	5.72	0.44	3.02	0.58	36.46
49	CNA 403	307892	2463747	2.84	0.40	14.55	0.17	1.45	1.99	0.19	3.96	1.29	6.03	0.48	2.84	0.36	36.56
50	CNA 274	309188	2454076	3.20	0.60	11.89	0.11	2.02	2.51	0.35	4.76	2.00	5.64	0.27	3.11	0.20	36.63
51	CNA 261	295952	2452473	1.48	1.10	15.77	0.21	1.81	2.19	0.43	3.84	1.89	5.17	0.28	1.61	0.86	36.66
52	CNA 48	291776	2454026	2.40	1.80	5.89	0.05	2.16	4.08	0.69	6.32	1.82	5.72	0.41	2.30	3.10	36.75
53	xx9	306210	2460860	1.95	0.57	16.55	0.31	1.61	1.99	0.29	4.18	1.27	5.25	0.49	2.15	0.22	36.83
54	CNA 1A	294099	2451593	2.31	1.90	5.67	0.03	2.32	4.18	0.77	6.46	1.77	5.41	0.33	2.19	3.64	36.96

55	CNA 295	309973	2451231	3.29	0.97	7.78	0.03	2.22	2.82	0.45	7.66	2.25	5.56	0.40	3.11	0.45	36.98
56	CNA 65	299122	2450065	2.22	1.23	10.66	0.07	1.81	2.82	0.51	5.92	2.13	5.41	0.56	2.15	1.64	37.13
57	CNA 914	299741	2469556	3.37	0.93	10.55	0.05	2.14	2.43	0.40	5.22	1.70	6.11	0.67	3.22	0.58	37.38
58	CNA 870	291673	2452521	2.13	1.47	9.55	0.16	1.88	3.87	0.75	5.74	1.55	5.25	0.40	2.16	2.48	37.39
59	CNA 50	291030	2453541	2.40	1.90	6.33	0.05	2.19	4.18	0.77	6.66	1.92	5.01	0.40	2.30	3.28	37.40
60	CNA 80	303164	2445478	2.75	1.73	7.11	0.04	2.52	3.60	0.69	6.18	2.56	5.48	0.37	2.62	1.93	37.60
61	CNA 40	294368	2452498	1.56	0.92	17.66	0.24	1.61	2.35	0.40	3.90	1.65	4.94	0.40	1.71	0.42	37.76
62	CNA 412	302788	2460868	1.42	0.40	15.22	0.27	1.29	1.33	0.16	9.56	1.03	5.33	0.33	1.61	0.16	38.10
63	CNA 415	300508	2462032	3.73	0.43	12.89	0.33	1.93	1.99	0.13	4.96	1.47	5.88	0.41	3.84	0.30	38.29
64	CNA 822	309978	2471010	2.66	1.07	12.44	0.09	1.93	2.87	0.35	5.46	1.63	5.88	0.48	2.59	0.86	38.31
65	CNA-116	298823	2451110	1.86	0.77	16.22	0.29	1.61	2.19	0.32	4.52	1.84	5.25	0.36	2.05	1.18	38.46
66	CNA 662	291618	2457253	1.69	1.30	14.22	0.05	1.77	1.99	0.48	5.72	1.73	5.56	0.39	1.64	2.00	38.53
67	CNA 19	300029	2446555	2.04	1.80	8.11	0.03	2.22	2.82	0.75	7.86	2.53	5.48	0.39	1.94	2.75	38.71
68	CNA 342	311707	2438266	4.00	1.10	6.33	0.12	2.22	3.45	0.80	7.50	2.53	5.56	0.41	3.87	0.83	38.72
69	CNA 91	296440	2453824	2.31	0.67	16.00	0.35	1.81	1.72	0.32	4.84	1.93	5.25	0.40	2.52	0.68	38.80
70	xx1	294246	2467218	3.73	0.87	9.22	0.08	2.00	3.54	0.69	5.80	2.40	6.03	0.53	3.58	0.40	38.87
71	CNA 8	291817	2450208	2.31	1.83	8.44	0.09	2.13	4.08	0.80	6.50	1.76	5.88	0.45	2.26	2.48	39.01
72	CNA 273	308939	2454914	3.55	0.53	13.89	0.13	2.02	2.19	0.27	4.68	1.98	5.64	0.35	3.47	0.52	39.22
73	CNA 76	301115	2447321	2.26	1.70	7.22	0.03	2.32	2.98	0.77	8.68	2.26	5.72	0.36	2.15	2.86	39.30

74	CNA 319	310716	2446000	2.58	1.23	11.55	0.09	2.22	2.82	0.53	5.18	2.25	5.80	0.35	2.51	2.35	39.46
75	CNA 332	307251	2443817	2.75	0.70	16.22	0.19	1.71	2.04	0.24	4.52	1.88	5.56	0.25	2.77	0.65	39.48
76	CNA 348	311106	2438109	3.42	0.90	9.00	0.15	2.02	3.13	0.88	8.18	2.40	5.64	0.35	3.36	0.59	40.01
77	CNA 666	293399	2461478	3.64	0.93	12.77	0.07	1.93	3.10	0.56	5.40	1.65	5.64	0.83	3.48	0.51	40.50
78	CNA 9	291984	2449898	2.40	1.80	10.55	0.12	2.20	2.69	0.77	6.80	1.78	5.25	0.57	2.37	3.81	41.12
79	CNA 436	304153	2442069	2.13	1.60	13.22	0.16	2.32	2.98	0.61	6.24	2.57	5.33	0.31	2.16	1.82	41.44
80	CNA 16	297814	2448952	3.15	1.73	8.00	0.07	2.42	3.92	0.91	7.86	2.80	5.41	0.39	3.02	1.82	41.48
81	x15	314898	2437631	4.08	1.80	6.67	0.04	2.12	3.13	1.15	8.22	3.09	5.72	0.35	3.87	1.31	41.54
82	x14	309031	2447290	1.96	1.37	13.22	0.07	2.12	2.66	0.53	7.06	2.32	6.11	0.35	1.91	2.37	42.04
83	CNA 416	299152	2462113	3.91	0.93	14.00	0.15	2.43	2.32	0.48	5.70	1.72	5.72	0.40	3.81	0.76	42.33
84	CNA 114	298347	2452122	2.31	1.30	16.00	0.19	2.20	2.69	0.51	5.70	1.57	5.72	0.49	2.36	1.83	42.85
85	xx3	300963	2446062	1.68	1.76	13.33	0.03	2.22	2.98	0.80	8.06	2.50	5.56	0.33	1.60	2.62	43.47
86	CNA 696	310113	2467633	4.35	0.77	9.55	0.16	2.00	7.74	0.43	5.62	1.69	5.95	0.36	4.24	0.79	43.65
87	CNA 398	294034	2468289	4.71	1.00	10.22	0.12	1.93	4.97	0.83	6.46	2.13	5.88	0.61	4.54	0.28	43.67
88	CNA 379	299143	2469182	4.08	1.00	12.66	0.09	2.36	3.65	0.61	6.54	2.08	5.95	0.39	3.93	0.46	43.80
89	CNA 304	307440	2451864	3.40	1.33	11.11	0.05	2.42	3.60	0.77	8.26	2.66	5.56	0.59	3.24	1.01	44.02
90	x13	308973	2442716	3.46	0.87	16.22	0.17	2.32	2.82	0.29	5.88	2.30	5.64	0.24	3.42	0.41	44.05
91	CNA 063	300903	2449331	3.11	0.77	17.77	0.19	2.02	2.51	0.37	5.06	2.33	5.64	0.29	3.11	0.90	44.06
92	CNA 43	293775	2453105	2.22	0.83	19.33	0.28	1.54	4.08	0.56	4.88	1.40	5.41	0.60	2.37	0.73	44.22
93	CNA 330	307403	2445148	3.46	0.90	16.22	0.23	1.91	2.51	0.32	5.56	2.32	5.95	0.52	3.48	0.85	44.23

94	x11	307527	2453914	3.75	0.80	15.44	0.21	2.52	2.19	0.40	6.46	2.46	5.64	0.39	3.73	0.35	44.35
95	CNA 861	289613	2449047	1.86	1.83	11.00	0.11	2.32	3.29	0.75	9.58	2.68	5.41	0.31	1.85	3.46	44.42
96	CNA 880	309476	2445924	2.52	1.43	14.00	0.13	2.22	2.82	0.67	8.44	2.65	5.64	0.40	2.50	1.78	45.20
97	CNA 272	307911	2455050	4.17	0.47	14.44	0.27	2.12	5.95	0.32	5.76	2.37	5.64	0.39	4.19	0.17	46.25
98	CNA 869	299441	2450243	2.82	1.13	17.11	0.21	2.02	3.76	0.69	6.48	2.61	5.41	0.72	2.87	0.43	46.26
99	CNA 860	299076	2450296	1.93	1.34	19.44	1.17	2.02	3.29	0.40	4.78	2.21	5.41	0.43	3.01	0.93	46.35
100	CNA 391	295482	2467275	4.17	0.77	15.55	0.19	2.00	4.75	0.80	5.48	2.02	6.03	0.45	4.10	0.34	46.66
101	CNA 23	298830	2447141	1.94	1.80	14.66	0.08	2.22	4.07	0.91	8.08	2.69	5.48	0.32	1.91	2.77	46.93
102	CNA 137	295621	2456388	4.35	0.87	16.66	0.37	2.58	1.99	0.29	6.64	2.00	5.64	0.69	4.46	0.45	47.00
103	CNA 24	298179	2447250	1.78	1.73	17.00	0.05	2.22	2.82	0.80	8.12	2.53	5.56	0.31	1.73	2.66	47.31
104	CNA 383	297563	2468659	4.26	1.03	14.22	0.13	2.07	4.31	1.12	6.66	2.14	5.95	0.69	4.13	0.60	47.34
105	CNA 381	298321	2469956	4.35	1.10	13.44	0.09	2.14	4.20	1.20	7.04	2.18	5.95	0.80	4.18	0.74	47.42
106	CNA 389	296949	2467352	3.64	1.20	17.22	0.15	2.21	3.54	0.67	6.20	2.08	5.95	0.56	3.56	0.69	47.67
107	CNA 475	303047	2447540	3.37	1.86	12.00	0.11	2.52	5.01	1.33	7.64	3.25	5.48	0.64	3.27	1.47	47.97
108	CNA 399	293383	2466667	4.44	1.07	13.77	0.15	1.93	4.31	1.09	6.96	2.25	6.03	1.19	4.31	0.55	48.05
109	CNA 388	298003	2465404	4.44	0.67	18.66	0.23	2.28	2.76	0.45	5.74	1.73	5.80	0.47	4.40	0.55	48.18
110	CNA 56	298198	2449617	3.46	0.80	18.66	0.28	2.12	3.60	0.75	6.04	2.40	5.56	0.35	3.53	0.67	48.22
111	CNA 384	296969	2468460	4.26	0.97	15.55	0.13	2.07	4.42	1.01	6.98	2.16	5.88	0.48	4.13	0.40	48.44
112	CNA 390	296254	2467288	4.26	0.90	15.77	0.15	2.00	4.64	1.07	6.70	2.13	5.95	0.48	4.15	0.40	48.60

113	CNA 22	299673	2447674	3.28	1.13	16.44	0.16	2.32	3.60	0.85	8.42	2.64	5.64	0.21	3.24	0.82	48.75
114	CNA 13	296690	2449407	3.01	1.07	16.00	0.36	1.91	5.17	0.80	8.22	2.70	5.48	0.43	3.19	0.55	48.89
115	CNA 86	302874	2448279	3.37	1.17	17.66	0.24	2.12	4.86	0.77	6.98	2.72	5.72	0.53	3.41	0.59	50.14
116	CNA 430	298788	2457408	3.73	0.87	20.33	0.61	2.21	2.99	1.25	6.08	1.94	5.33	0.76	4.13	0.55	50.77
117	CNA 392	295888	2467977	4.80	1.00	15.88	0.13	2.07	4.86	1.07	7.06	2.29	6.03	0.79	4.63	0.45	51.07
118	CNA 375	293616	2474154	5.15	1.33	13.55	0.11	2.21	5.42	1.63	8.32	2.69	5.88	0.64	4.94	0.43	52.30
119	CNA 385	297072	2469189	4.80	1.00	15.88	0.15	2.00	6.41	1.17	6.94	2.38	5.88	0.61	4.65	0.51	52.37
120	CNA 393	296753	2468223	4.53	0.93	18.00	0.16	2.00	5.31	0.91	6.78	2.26	5.95	0.73	4.41	0.45	52.42
121	CNA 248	309087	2460059	3.46	1.07	17.11	0.57	1.77	7.74	0.93	8.04	2.53	5.17	0.52	3.84	0.51	53.25
122	CNA 374	293689	2473412	5.24	1.37	13.77	0.11	2.28	5.97	1.89	8.74	2.72	5.88	0.68	5.02	0.34	54.00
123	CNA 382	297638	2469236	5.33	1.10	14.11	0.17	2.36	6.74	1.44	8.26	2.56	5.88	0.36	5.17	0.55	54.02
124	CNA 229	305460	2458781	4.62	0.57	19.00	0.53	2.25	6.86	0.53	6.60	2.00	5.64	0.55	4.88	0.32	54.33
125	CNA 371	293124	2471371	5.51	1.23	15.11	0.19	2.14	5.20	2.23	8.70	2.69	5.95	0.69	5.35	0.31	55.30
126	CNA 373	293703	2472613	5.15	1.33	16.77	0.16	2.07	5.75	2.05	8.00	2.64	5.88	0.60	4.99	0.23	55.62
127	CNA 397	295122	2468275	5.51	0.93	16.77	0.23	1.86	6.19	1.41	7.94	2.49	5.95	0.64	5.39	0.36	55.68
128	CNA 376	293027	2473848	5.06	1.37	16.11	0.12	2.36	5.64	2.08	8.92	2.66	5.80	0.68	4.87	0.40	56.05
129	CNA 370	293873	2471045	5.68	1.03	15.55	0.17	2.00	6.08	2.13	8.54	2.53	6.03	0.59	5.51	0.40	56.25
130	CNA 317	310705	2448198	6.24	1.57	9.66	0.03	2.42	5.33	2.56	12.04	3.82	5.41	0.57	5.88	0.77	56.30

131	CNA 307	308480	2450489	4.76	1.70	11.77	0.03	2.62	8.46	1.33	11.42	3.60	5.72	0.21	4.49	1.07	57.18
132	CNA 305	308066	2450387	5.47	1.63	9.22	0.04	2.02	12.06	1.33	11.26	3.80	5.56	0.48	5.17	0.47	58.50
133	CNA 37	294080	2452068	3.55	1.80	21.77	0.84	3.12	3.29	1.49	10.00	3.76	5.41	0.45	4.19	1.62	61.30
134	CNA 174	301950	2456405	4.62	0.83	19.77	1.00	1.21	12.05	1.23	8.06	2.49	4.86	0.88	5.36	0.35	62.70
135	CNA 81	299068	2448880	5.53	1.27	19.66	0.36	2.32	4.39	2.43	11.46	3.00	5.64	0.43	5.56	0.98	63.02
136	CNA 882	297413	2458415	6.04	1.53	21.55	0.23	3.28	4.42	0.99	9.66	2.90	5.72	1.31	5.89	0.35	63.87
137	CNA 254	308352	2459472	7.02	1.13	20.11	0.71	2.00	14.26	1.44	9.16	3.05	5.33	0.93	7.30	0.50	72.93
138	CNA 394	294729	2467309	5.86	1.63	18.88	0.55	1.93	13.16	2.37	12.04	3.73	6.11	1.57	6.06	0.23	74.12
139	CNA 876	311465	2436175	8.52	3.26	24.44	0.27	2.82	2.66	5.99	16.40	6.41	5.41	1.00	8.27	0.63	86.08
140	xx8	306016	2454765	10.39	1.03	21.55	1.70	3.02	14.10	1.90	12.54	5.22	4.78	1.04	11.49	0.41	89.18
141	CNA 280	304684	2448858	7.64	1.17	24.33	1.36	2.42	24.16	0.15	17.78	5.42	5.17	1.45	8.56	0.32	99.91
142	CNA 152	304554	2456554	12.88	0.97	24.66	2.00	3.12	26.50	2.73	14.64	6.73	5.09	0.97	14.13	0.21	114.62

ANEXO XIII. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2010.

ID	Localidad	X	Y	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	El Gato	303913	2432031	0.98	0.27	6.67	0.12	0.59	0.07	0.32	2.44	0.81	5.99	0.31	1.04	0.26	19.85
2	Comunidad La Cantera	303046	2441441	0.88	0.43	10.11	0.17	0.44	0.13	1.01	3.57	1.12	5.16	0.12	1.00	0.00	24.15
3	Cerritos	304118	2433880	1.33	0.73	12.66	0.31	0.59	0.69	0.80	4.60	1.53	6.18	0.47	1.56	0.21	31.67
4	Los Terreros	302789	2438270	1.39	0.53	15.11	0.23	0.88	0.13	1.01	4.12	1.37	5.99	0.05	1.53	0.38	32.73
5	El Aguaje	300372	2444643	1.15	0.83	19.11	0.37	1.35	0.26	0.56	5.58	1.85	6.03	0.17	1.47	0.49	39.23
6	El Aguaje	299981	2444316	2.31	0.93	18.55	0.79	1.68	0.26	1.07	6.92	2.32	5.31	0.53	2.97	0.34	43.98
7	Víctor Rosales	296574	2446312	2.96	0.90	18.33	1.03	2.53	0.27	0.75	7.34	2.45	6.28	0.25	3.83	0.31	47.21
8	Capilla del Desierto	284440	2451080	2.13	1.10	27.22	0.71	0.68	0.32	2.56	7.40	2.46	6.00	0.31	2.72	0.35	53.95
9	Vivero Municipal	296738	2446539	2.49	1.13	26.66	1.03	2.36	0.26	0.80	8.02	2.66	5.48	0.29	3.39	0.43	55.01
10	Rancho La Esperanza	302801	2460058	6.33	0.67	22.66	0.95	2.87	0.81	1.84	10.08	3.33	5.52	0.81	6.91	0.43	63.20
11	Tierra Blanca	295487	2446041	4.44	1.96	22.55	1.03	1.76	0.92	3.06	11.96	4.02	5.40	0.55	5.22	0.44	63.31
12	Mezquital	291326	2454237	3.73	1.47	26.88	1.31	1.30	0.64	3.20	10.66	3.55	5.76	0.36	4.84	0.37	64.06
13	San José de Buena Vista	287271	2452359	2.13	1.07	34.55	1.16	1.35	0.32	2.93	9.02	3.00	6.09	0.19	3.19	0.62	65.62
14	Los Medina (Col. Santa Rosa)	293359	2455029	5.33	2.66	20.44	0.89	3.54	0.65	1.86	13.68	4.56	6.28	0.37	5.91	0.79	66.98
15	Tierra Blanca	296125	2445941	5.33	2.23	22.99	1.27	2.70	1.08	2.73	13.40	4.46	5.63	0.45	6.30	0.00	68.56
16	La Pila	307333	2438056	4.44	1.57	28.33	1.21	1.62	1.11	1.89	12.08	4.04	6.25	1.77	5.41	0.32	70.03
17	Lázaro Núñez	305659	2445037	5.24	1.80	25.88	0.75	2.70	0.56	0.80	12.68	4.22	6.41	2.64	5.68	1.47	70.82

18	J. Fernando Rdz. (Gas Vip)	305998	2443460	3.25	2.96	30.10	0.49	3.54	0.96	2.26	12.28	4.09	6.25	0.52	3.55	0.98	71.25
19	General I. Martínez	297954	2445069	5.77	1.43	25.44	2.05	1.85	0.53	4.73	13.76	4.61	5.95	0.24	7.52	0.53	74.42
20	Cándido Vargas	305970	2444148	7.10	2.13	22.22	1.28	3.38	1.12	3.80	15.72	5.26	6.28	1.08	7.97	0.60	77.94
21	Capulines	288918	2453840	4.53	1.60	35.77	1.41	1.62	0.66	3.73	12.00	4.00	6.18	0.65	5.70	0.65	78.49
22	Rosendo Fraga A.	305669	2444416	6.22	2.23	29.77	1.47	2.36	1.06	3.68	15.34	5.11	5.97	0.24	7.33	0.76	81.54
23	Esc. San José del Barro	298691	2457191	10.66	1.37	33.33	1.61	5.74	0.64	0.87	16.40	5.46	5.96	1.23	11.65	0.57	95.47
24	Rancho El Diamante	306071	2456346	12.43	1.33	29.44	1.93	3.88	2.52	2.96	20.20	6.73	5.28	0.80	13.64	0.35	101.48
25	Ex - Hacienda El Jaralito	300071	2457619	13.94	1.67	26.99	1.90	5.06	1.62	2.46	21.04	6.99	6.16	1.27	15.03	0.31	104.45
26	Juan Castillo Martínez	305987	2453584	12.91	2.80	28.88	1.61	5.91	1.58	1.93	20.90	6.97	5.59	2.18	13.76	0.61	105.63
27	Capulines	289506	2454098	7.99	2.70	43.32	1.96	2.06	1.79	5.59	18.28	6.09	6.20	0.81	9.51	0.87	107.16
28	Huerta Santa Úrsula	305594	2452567	14.40	1.07	29.33	2.21	4.05	2.91	5.59	20.66	6.87	6.28	1.01	15.78	0.38	110.54
29	Concepción Mtz. (Barrio Santiago)	295298	2452210	8.88	2.60	44.43	1.90	2.70	1.12	5.86	18.66	6.22	6.20	1.15	10.28	0.76	110.77
30	Rosalio Rodríguez	306193	2444218	14.12	2.26	25.66	2.16	3.25	1.97	5.97	23.50	7.82	6.25	1.97	15.46	0.62	111.01
31	Ofelia Lara (Col. La Tuna)	295695	2455033	6.66	5.83	42.21	1.65	5.06	1.79	4.53	23.94	7.98	6.25	0.35	7.94	1.34	115.53
32	Tanque Santa María	305344	2453322	13.94	1.86	31.77	2.38	3.53	3.15	3.60	23.84	7.93	6.42	1.48	15.52	0.51	115.94

33	Mario Lucio López	306146	2453424	14.21	2.33	32.21	2.02	5.91	2.30	2.00	24.08	8.03	5.58	1.57	15.40	0.58	116.22
34	Ángel Cisneros Cuevas	305789	2454140	15.54	2.20	31.33	2.61	5.97	2.39	2.93	24.90	8.29	5.42	1.76	17.25	0.42	121.00
35	Huerta Los Olivos	303571	2457464	15.49	2.76	32.10	2.13	5.57	5.19	3.46	24.68	8.21	5.48	1.68	16.71	0.44	123.91
36	Leos peña - Los Gomez	305661	2451621	14.21	3.33	33.21	2.49	5.40	3.05	3.68	26.86	8.95	6.09	1.09	15.88	0.49	124.73
37	Rancho El Diamante	305540	2455847	15.55	3.06	34.88	2.20	4.05	2.98	6.05	25.46	8.48	5.95	1.70	16.84	0.48	127.67
38	El Morro	300621	2452484	13.04	4.73	35.55	2.52	6.24	2.44	4.33	27.54	9.16	5.71	1.97	14.81	0.01	128.04
39	Metalcon - Los Gómez	306011	2451917	16.87	1.50	33.33	2.92	5.91	4.53	1.86	27.36	9.11	6.18	0.25	18.82	0.28	128.92
40	Leobardo Romero	306366	2446022	12.49	4.70	39.66	2.30	6.25	3.47	5.19	28.16	9.38	5.75	2.00	14.08	0.75	134.18
41	Deportivo Los Gómez	306301	2451003	18.12	1.63	37.10	2.82	2.70	4.37	7.19	25.76	8.58	6.16	0.93	19.89	0.45	135.70
42	Yesera - Los Gómez	305962	2451356	24.86	0.53	26.10	1.56	1.62	2.92	11.83	26.50	8.79	5.68	0.91	24.91	0.01	136.23
43	Quinta Consuelo	300948	2452560	14.63	5.46	36.88	2.46	6.15	3.08	5.33	29.64	9.87	5.95	1.80	16.25	1.00	138.52
44	Sabas Ramírez. Col El Zapote	301824	2456820	14.65	4.33	34.99	3.01	6.08	3.08	4.50	31.34	10.44	5.52	3.54	16.83	0.37	138.69
45	Rancho San Isidro	301193	2452784	11.90	5.46	41.99	2.42	5.31	3.25	5.99	30.94	10.31	6.25	2.17	13.65	0.00	139.64
46	Acapulco 306 Col. Morelos	298605	2454648	11.33	3.06	59.10	2.82	3.71	4.25	4.50	23.86	7.93	5.49	2.84	13.53	9.35	151.78
47	Residencial El Cortijo	293930	2452465	9.77	3.00	76.09	1.39	2.36	1.79	7.99	23.72	7.90	6.21	0.13	10.58	1.00	151.92
48	Pozos - Chiqueros	305778	2444838	18.78	5.09	43.54	2.90	7.60	2.47	7.33	29.64	9.87	5.99	0.63	20.59	0.90	155.34

49	Rancho El Sacrificio	306479	2453727	28.05	3.43	25.88	1.72	5.01	4.73	9.32	34.22	11.36	6.24	2.17	28.07	0.47	160.67
50	Estrella de Dimas	305989	2443609	14.21	8.49	39.43	3.24	4.59	4.54	12.79	43.00	14.25	6.39	0.84	16.65	0.83	169.26
51	Rancho La Providencia	299125	2452797	19.18	5.59	51.10	3.85	6.75	3.25	8.33	38.56	12.84	5.47	3.29	21.94	0.40	180.55
52	Establo La Providencia	299541	2452740	25.31	5.99	43.32	2.72	6.92	4.87	7.99	40.80	13.59	5.77	3.93	26.52	0.76	188.50
53	Don Valente	296635	2453349	15.49	5.49	86.31	2.46	4.89	3.57	6.42	33.16	11.04	5.99	4.45	17.05	1.06	197.38
54	Carretera 57 a Matehuala	301091	2456257	26.20	8.79	38.88	4.52	6.41	5.85	15.32	49.20	16.25	6.13	1.39	29.20	0.65	208.77
55	Bodega de Pozos - Suacero	305450	2444826	33.00	5.16	65.54	2.56	0.74	2.34	4.45	77.40	25.97	5.50	35.63	33.57	0.72	292.57

ANEXO XIV. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2012.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.89	1.74	8.77	0.05	1.40	0.62	0.43	5.74	2.45	6.27	0.13	1.21	2.38	33.08
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	1.86	1.74	8.04	0.02	1.53	0.34	0.63	6.50	2.77	6.05	0.15	1.41	2.77	33.81
3	Muñoz	2451419.7	293772.8	1.97	2.30	7.15	0.03	1.75	0.36	0.61	7.50	3.20	5.88	0.13	1.79	3.63	36.29
4	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	2.13	2.35	10.57	0.18	1.65	0.40	0.59	7.62	3.25	6.04	0.18	1.28	2.99	39.22
5	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.59	3.23	15.66	0.06	1.81	0.33	0.58	7.24	3.09	5.68	0.20	1.65	3.11	45.23
6	Hostal del Quijote	2448754.5	300917.4	2.93	2.13	20.68	0.22	1.72	0.52	0.72	8.28	3.53	6.12	0.36	3.43	2.01	52.65
7	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	4.05	1.51	22.35	0.55	1.52	0.78	0.88	8.84	3.77	5.73	0.82	4.98	0.63	56.42
8	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	7.55	3.12	13.17	0.61	3.02	1.10	3.03	16.76	7.14	5.87	0.63	11.97	0.66	74.64
9	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	9.80	4.12	12.65	1.47	4.31	1.45	9.48	24.56	10.47	5.90	0.77	7.15	0.73	92.89
10	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	16.43	2.86	46.37	2.92	2.77	4.10	4.66	29.40	12.53	5.15	3.65	18.24	0.35	149.43

ANEXO XV. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2013.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza a Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	2.02	1.54	3.53	0.05	1.56	0.35	0.39	5.64	2.40	6.12	0.17	1.47	1.65	26.90
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	2.12	1.79	3.71	0.02	1.88	0.36	0.35	6.60	2.81	6.03	0.16	1.69	2.69	30.19
3	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.00	1.80	5.95	0.06	1.78	0.36	0.37	7.38	3.15	5.92	0.21	2.17	2.15	33.32
4	Muñoz	2451419.7	293772.8	2.01	2.55	3.73	0.03	1.84	0.39	0.54	7.76	3.31	5.95	0.17	1.75	4.18	34.19
5	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	2.20	2.11	4.75	0.18	1.74	0.38	0.56	7.74	3.30	6.10	0.21	1.90	3.59	34.75
6	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	4.74	1.35	15.14	0.39	1.61	0.84	0.86	9.12	3.89	5.79	0.80	5.18	0.59	50.30
7	Hostal El Quijote	2448754.5	300917.4	4.15	1.47	22.57	0.29	1.94	0.71	0.95	9.88	4.21	6.12	0.55	4.71	1.01	58.57
8	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	9.20	2.66	10.17	0.52	3.02	1.04	2.73	16.46	7.02	5.85	0.61	7.35	0.61	67.23
9	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	6.72	3.85	10.73	1.38	4.30	1.36	6.16	25.48	10.86	5.81	0.73	12.45	0.72	90.56
10	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	16.96	2.18	32.90	2.91	3.00	3.73	5.91	28.72	12.24	5.48	3.01	17.58	0.31	134.93

ANEXO XVI. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2014.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.81	1.40	5.42	0.03	1.43	0.26	0.28	5.16	2.66	6.19	0.17	1.53	0.82	27.17
2	Delegación Villa de Pozo	2444878.1	306061.6	1.73	1.93	5.99	0.02	1.58	0.30	0.40	7.22	3.41	6.19	0.15	1.60	2.11	32.63
3	Muñoz	2451419.7	293772.8	1.82	2.69	4.73	0.03	1.75	0.35	0.67	9.44	3.52	6.11	0.16	1.69	3.13	36.09
4	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.12	2.20	7.02	0.06	1.77	0.33	0.51	8.54	3.57	6.11	0.20	1.90	2.00	36.33
5	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	1.72	1.78	6.22	0.04	1.71	0.35	0.57	8.82	3.46	6.11	0.20	2.51	2.97	36.47
6	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	3.89	1.36	17.62	0.56	1.62	0.80	0.83	9.88	4.96	5.80	0.83	4.10	0.56	52.81
7	Hostal El Quijote	2448754.5	300917.4	3.58	1.44	24.59	0.36	1.85	0.63	1.07	10.30	5.33	6.27	0.51	3.93	1.02	60.88
8	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	6.42	2.59	10.83	0.33	3.07	1.13	2.19	16.36	7.46	5.72	0.60	7.35	0.59	64.65
9	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	9.67	4.03	13.39	1.33	4.55	1.42	4.82	25.02	11.80	5.80	0.69	10.49	0.70	93.71
10	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	17.19	2.95	45.61	3.00	2.94	3.70	5.83	25.94	13.43	5.56	3.49	18.71	0.31	148.65

ANEXO XVII. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2015.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.81	1.40	5.42	0.03	1.43	0.26	0.28	5.16	2.66	6.19	0.17	1.53	0.82	27.17
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	1.73	1.93	5.99	0.02	1.58	0.30	0.40	7.22	3.41	6.19	0.15	1.60	2.11	32.63
3	Muñoz	2451419.7	293772.8	1.82	2.69	4.73	0.03	1.75	0.35	0.67	9.44	3.52	6.11	0.16	1.69	3.13	36.09
4	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.12	2.20	7.02	0.06	1.77	0.33	0.51	8.54	3.57	6.11	0.20	1.90	2.00	36.33
5	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	1.72	1.78	6.22	0.04	1.71	0.35	0.57	8.82	3.46	6.11	0.20	2.51	2.97	36.47
6	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	3.89	1.36	17.62	0.56	1.62	0.80	0.83	9.88	4.96	5.80	0.83	4.10	0.56	52.81
7	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	4.68	1.77	7.49	0.35	3.13	1.00	2.42	17.40	7.25	5.72	0.53	7.14	0.61	59.49
8	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	8.97	3.95	8.95	1.08	4.68	1.32	5.75	25.04	11.93	5.72	0.62	11.94	0.67	90.61
9	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	17.19	2.95	45.61	3.00	2.94	3.70	5.83	25.94	13.43	5.56	3.49	18.71	0.31	148.65

ANEXO XVIII. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2016.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.47	1.26	4.59	0.01	1.54	0.30	0.51	5.82	2.72	6.03	0.11	1.53	1.84	27.73
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	1.54	1.42	4.64	0.00	1.66	0.30	0.62	7.36	2.93	6.03	0.11	1.60	2.73	30.93
3	Fracc. La Florida	2450463.5	309627.3	2.00	1.20	6.43	0.02	1.55	0.33	0.35	6.04	2.93	6.19	0.12	1.95	1.25	30.37
4	Pozo Milpillás	2458615.8	297400.7	2.25	1.11	8.53	0.28	1.24	0.37	1.27	7.22	3.25	5.41	0.07	2.51	0.99	34.49
5	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	1.91	1.60	7.32	0.05	1.89	0.37	0.54	8.20	3.68	5.56	0.19	1.90	2.15	35.36
6	Muñoz	2451419.7	293772.8	1.63	1.75	5.03	0.03	1.77	0.43	0.61	9.60	3.41	5.72	0.17	1.69	3.75	35.60
7	Real Del Potosí	2452025.6	307419.8	3.68	1.65	10.68	0.07	1.82	0.98	0.65	7.96	3.89	6.11	0.17	3.13	1.03	41.80
8	Granjas La Florida	2450892.5	310022.2	4.73	1.60	8.39	0.05	1.54	0.98	0.85	9.44	4.10	6.03	0.22	3.89	0.63	42.46
9	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	3.53	1.07	12.05	0.47	1.58	0.79	1.14	8.82	5.11	5.72	0.55	4.10	0.64	45.58
10	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	6.64	2.22	11.70	0.51	3.10	1.09	2.54	15.38	7.03	5.72	0.42	7.38	0.57	64.32
11	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	10.73	4.29	13.62	1.38	4.67	1.43	5.79	24.42	11.40	5.72	0.51	12.54	0.70	97.21
12	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	16.85	2.49	50.91	2.71	3.10	4.22	10.75	28.44	15.82	5.09	3.62	18.71	0.28	163.00

ANEXO XIX. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2017.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.49	0.84	7.15	0.06	1.34	0.40	0.21	5.76	2.96	6.11	0.08	1.70	0.63	28.72
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	1.34	1.21	4.75	0.01	1.54	0.33	0.42	7.32	2.88	6.03	0.08	1.43	2.39	29.75
3	Fracc. La Florida	2450463.5	309627.3	2.13	1.31	6.37	0.02	1.51	0.43	0.27	6.90	3.04	6.42	0.17	1.91	1.10	31.59
4	Muñoz	2451419.7	293772.8	1.84	1.92	3.96	0.03	1.70	0.42	0.55	9.16	3.20	5.88	0.09	1.57	3.85	34.15
5	La Zorra	2454259	309169.1	3.34	1.34	6.09	0.03	1.77	0.71	0.46	8.26	3.54	6.42	0.34	3.07	0.70	36.07
6	Pozo Periférico I	2457292.5	292648.8	2.21	1.91	6.28	0.06	1.78	0.40	0.48	10.46	3.30	5.80	0.19	1.77	1.96	36.60
7	Real Del Potosí	2452025.6	307419.8	3.02	1.49	8.83	0.06	1.89	0.47	0.42	7.44	3.65	6.19	0.23	2.73	0.78	37.19
8	Granjas La Florida	2450892.5	310022.2	4.39	1.51	8.18	0.04	1.85	1.15	0.86	9.88	4.34	6.27	0.34	3.88	0.56	43.25
9	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	3.12	0.95	10.86	0.38	1.46	0.92	0.82	9.34	4.80	5.56	0.60	4.02	0.52	43.35
10	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	4.55	1.62	20.79	0.26	2.20	1.05	0.56	11.12	5.01	5.95	0.61	4.38	0.58	58.68
11	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	8.11	3.14	13.13	0.58	3.08	1.08	3.19	18.72	7.09	5.88	0.55	7.22	0.51	72.28
12	El Huizache	2460192	309021.1	6.87	1.73	29.19	0.99	1.87	2.35	1.45	14.36	7.19	5.64	1.00	7.16	0.38	80.19
13	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	12.09	6.88	15.98	1.66	4.50	1.45	6.67	25.70	11.35	5.72	0.74	11.93	0.59	105.27
14	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	19.99	2.43	36.47	2.93	2.80	3.66	5.18	25.26	13.88	5.48	2.10	17.11	0.24	137.53

ANEXO XX. Cálculo del índice de calidad del agua para consumo humano de 2018.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Ca Wi*qi	Na Wi*qi	K Wi*qi	Mg Wi*qi	HCO ₃ Wi*qi	Cl Wi*qi	SO ₄ Wi*qi	CE Wi*qi	SDT Wi*qi	pH Wi*qi	NO ₃ Wi*qi	Dureza Wi*qi	F Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. La Florida	2450463.5	309627.3	2.42	1.47	8.24	0.02	1.50	0.40	0.38	6.68	3.30	5.86	0.17	1.96	1.30	33.72
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	1.97	1.89	6.95	0.03	1.63	0.44	0.59	7.78	3.36	5.81	0.16	1.68	2.43	34.72
3	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	2.20	1.26	11.86	0.10	1.37	0.33	0.34	5.72	3.41	5.90	0.17	1.96	0.68	35.32
4	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.35	2.05	7.60	0.06	1.54	0.42	0.62	8.82	3.73	5.76	0.21	1.96	2.21	37.35
5	Muñoz	2451419.7	293772.8	2.09	2.31	5.37	0.04	1.73	0.38	0.76	10.62	3.57	5.95	0.17	1.68	2.90	37.55
6	La Zorra	2454259	309169.1	3.85	1.52	8.33	0.03	1.58	0.62	0.67	8.60	3.89	5.85	0.69	3.16	0.77	39.55
7	Real Del Potosí	2452025.6	307419.8	3.54	1.61	11.31	0.06	1.76	0.40	0.59	8.10	3.94	5.94	0.25	2.81	0.96	41.27
8	Granjas La Florida	2450892.5	310022.2	4.99	1.68	8.37	0.04	1.47	1.10	1.00	10.94	4.74	5.94	0.31	4.14	0.66	45.39
9	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	4.63	1.43	17.56	0.59	1.44	0.90	1.07	10.60	5.01	5.56	0.94	4.28	0.56	54.57
10	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	4.08	1.47	22.05	0.24	2.33	0.98	0.79	6.04	5.14	6.27	0.57	4.23	0.55	54.74
11	El Huizache	2460192	309021.1	5.81	1.52	18.26	0.87	1.69	2.14	1.43	13.38	7.09	5.53	0.99	7.22	0.47	66.41
12	Comunidad Derramaderos	2464009	282127.9	8.01	0.86	31.37	1.88	2.72	0.25	2.67	10.14	4.32	5.88	0.25	7.72	0.56	76.62
13	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	10.16	4.26	16.95	0.77	3.09	1.05	2.30	17.16	7.27	5.88	0.58	7.56	0.59	77.62
14	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	15.50	6.94	21.06	2.05	4.53	1.36	5.42	24.02	11.67	5.88	0.73	12.00	0.69	111.86
15	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	18.35	2.97	47.74	3.09	2.84	3.82	5.42	26.30	14.81	5.55	3.70	17.74	0.32	152.66

ANEXO XXI. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2007.

ID	Clave	X	Y	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	CNA 14	296436	2450027	0.78	28.57	5.83	21.6	26.50	5.59	0.99	26.41	5.33	0.38	31.69	6.15	1.35	24.94	4.71	27.61
2	CNA 408	302489	2459381	0.39	31.79	6.48	15.8	28.78	6.07	0.87	27.48	5.55	0.26	32.72	6.35	0.74	29.46	5.57	30.03
3	CNA 81	299068	2448880	1.65	21.43	4.37	57.3	12.44	2.63	2.85	76.64	15.48	0.66	29.21	5.67	1.81	21.53	4.07	32.21
4	CNA 371	293124	2471371	1.61	21.79	4.44	43.5	17.87	3.77	2.64	77.98	15.75	0.78	28.14	5.46	1.79	21.64	4.09	33.52
5	CNA 370	293873	2471045	1.35	23.93	4.88	42.7	18.19	3.84	2.46	79.06	15.97	0.91	26.97	5.23	1.48	23.96	4.53	34.45
6	CNA 342	311707	2438266	1.43	23.21	4.74	37.5	20.24	4.27	2.73	77.40	15.64	0.52	30.45	5.91	1.88	20.98	3.97	34.51
7	CNA 381	298321	2469956	1.43	23.21	4.74	35.2	21.14	4.46	2.64	77.98	15.75	0.63	29.45	5.71	1.81	21.51	4.06	34.73
8	CNA 295	309973	2451231	1.26	24.64	5.03	38.3	19.92	4.20	2.73	77.40	15.64	0.42	31.27	6.07	1.85	21.25	4.02	34.95
9	CNA 385	297072	2469189	1.30	24.29	4.95	34.7	21.34	4.50	2.46	79.06	15.97	0.96	26.53	5.15	1.56	23.37	4.42	34.99
10	CNA 379	299143	2469182	1.30	24.29	4.95	32.7	22.13	4.67	2.90	76.34	15.42	0.55	30.18	5.86	1.70	22.35	4.22	35.12
11	CNA 392	295888	2467977	1.30	24.29	4.95	35.3	21.10	4.45	2.55	78.52	15.86	0.73	28.57	5.54	1.56	23.36	4.41	35.23
12	CNA 399	293383	2466667	1.39	23.57	4.81	34.8	21.30	4.49	2.37	79.60	16.08	0.65	29.30	5.69	1.73	22.13	4.18	35.25
13	CNA 383	297563	2468659	1.35	23.93	4.88	33.3	21.89	4.62	2.55	78.52	15.86	0.65	29.30	5.69	1.71	22.26	4.21	35.25
14	CNA 397	295122	2468275	1.22	25.00	5.10	39.7	19.37	4.09	2.28	80.15	16.19	0.93	26.82	5.20	1.35	24.93	4.71	35.29
15	CNA 348	311106	2438109	1.17	25.36	5.17	40.9	18.90	3.99	2.48	78.94	15.95	0.47	30.86	5.99	1.65	22.69	4.29	35.38
16	CNA 384	296969	2468460	1.26	24.64	5.03	34.9	21.26	4.49	2.55	78.52	15.86	0.66	29.16	5.66	1.60	23.08	4.36	35.39

17	CNA 393	296753	2468223	1.22	25.00	5.10	33.9	21.65	4.57	2.46	79.06	15.97	0.80	27.99	5.43	1.50	23.86	4.51	35.58
18	CNA 398	294034	2468289	1.30	24.29	4.95	32.3	22.28	4.70	2.37	79.60	16.08	0.75	28.43	5.52	1.58	23.23	4.39	35.64
19	CNA 390	296254	2467288	1.17	25.36	5.17	33.5	21.81	4.60	2.46	79.06	15.97	0.70	28.87	5.60	1.49	23.92	4.52	35.87
20	CNA 137	295621	2456388	1.13	25.71	5.25	33.2	21.93	4.63	3.17	74.67	15.08	0.30	32.37	6.28	1.38	24.72	4.67	35.91
21	CNA 407	301836	2459500	1.26	24.64	5.03	26.6	24.53	5.18	2.85	76.64	15.48	0.33	32.10	6.23	1.82	21.43	4.05	35.96
22	CNA 416	299152	2462113	1.22	25.00	5.10	28.5	23.78	5.02	2.99	75.80	15.31	0.35	31.93	6.19	1.61	23.02	4.35	35.98
23	x13	308973	2442716	1.13	25.71	5.25	29.4	23.43	4.94	2.85	76.64	15.48	0.42	31.27	6.07	1.58	23.26	4.40	36.13
24	x11	307527	2453914	1.04	26.43	5.39	32.3	22.28	4.70	3.10	75.10	15.17	0.33	32.10	6.23	1.39	24.62	4.65	36.15
25	CNA 430	298788	2457408	1.13	25.71	5.25	30.4	23.03	4.86	2.72	77.43	15.64	0.45	31.06	6.02	1.43	24.32	4.60	36.37
26	CNA 914	299741	2469556	1.22	25.00	5.10	26.1	24.72	5.22	2.64	77.98	15.75	0.37	31.79	6.17	1.75	21.96	4.15	36.38
27	CNA 62	301737	2449464	1.22	25.00	5.10	24.3	25.43	5.37	2.48	78.94	15.95	0.40	31.48	6.11	1.92	20.70	3.91	36.43
28	xx1	294246	2467218	1.13	25.71	5.25	29	23.58	4.98	2.46	79.06	15.97	0.53	30.33	5.88	1.54	23.52	4.44	36.52
29	CNA 56	298198	2449617	1.04	26.43	5.39	30.2	23.11	4.88	2.60	78.17	15.79	0.54	30.24	5.87	1.43	24.34	4.60	36.52
30	CNA 666	293399	2461478	1.22	25.00	5.10	27	24.37	5.14	2.37	79.60	16.08	0.46	30.91	6.00	1.68	22.46	4.25	36.56
31	CNA 330	307403	2445148	1.17	25.36	5.17	27.8	24.06	5.08	2.36	79.71	16.10	0.38	31.69	6.15	1.62	22.91	4.33	36.83
32	CNA 391	295482	2467275	1.00	26.79	5.46	27.4	24.21	5.11	2.46	79.06	15.97	0.71	28.72	5.57	1.27	25.52	4.82	36.94
33	CNA 43	293775	2453105	1.09	26.07	5.32	24.4	25.39	5.36	1.90	82.53	16.67	0.61	29.61	5.75	1.82	21.44	4.05	37.14
34	CNA 401	290865	2466297	1.04	26.43	5.39	25.6	24.92	5.26	2.36	79.71	16.10	0.35	31.90	6.19	1.54	23.55	4.45	37.39
35	CNA 063	300903	2449331	1.00	26.79	5.46	25.3	25.04	5.28	2.48	78.94	15.95	0.38	31.69	6.15	1.46	24.10	4.55	37.40

36	CNA 388	298003	2465404	0.87	27.86	5.68	28.7	23.70	5.00	2.81	76.89	15.53	0.41	31.35	6.08	1.07	27.03	5.11	37.41
37	x10	305345	2437001	1.13	25.71	5.25	19.7	27.24	5.75	2.11	81.24	16.41	0.31	32.31	6.27	1.98	20.23	3.82	37.50
38	CNA 272	307911	2455050	0.61	30.00	6.12	28.8	23.66	4.99	2.60	78.17	15.79	0.89	27.14	5.26	0.77	29.29	5.53	37.70
39	CNA- 116	298823	2451110	1.00	26.79	5.46	22.6	26.10	5.51	1.98	82.01	16.57	0.33	32.10	6.23	1.80	21.59	4.08	37.85
40	CNA 402	288728	2465524	0.91	27.50	5.61	23.4	25.79	5.44	2.28	80.15	16.19	0.37	31.79	6.17	1.35	24.91	4.71	38.12
41	CNA 91	296440	2453824	0.87	27.86	5.68	24.2	25.47	5.37	2.23	80.47	16.26	0.26	32.72	6.35	1.41	24.48	4.63	38.29
42	CNA 412	302788	2460868	0.52	30.71	6.27	47.8	16.18	3.41	1.58	84.48	17.06	0.20	33.25	6.45	1.06	27.10	5.12	38.32
43	CNA 274	309188	2454076	0.78	28.57	5.83	23.8	25.63	5.41	2.48	78.94	15.95	0.38	31.69	6.15	1.15	26.47	5.00	38.33
44	CNA 332	307251	2443817	0.91	27.50	5.61	22.6	26.10	5.51	2.11	81.24	16.41	0.31	32.31	6.27	1.41	24.47	4.62	38.42
45	xx6	305452	2459663	0.96	27.14	5.54	17.4	28.15	5.94	1.86	82.77	16.72	0.35	31.90	6.19	1.74	22.04	4.17	38.55
46	xx4	302300	2437439	1.00	26.79	5.46	15.3	28.98	6.11	1.61	84.31	17.03	0.24	32.93	6.39	1.99	20.17	3.81	38.81
47	CNA 273	308939	2454914	0.70	29.29	5.97	23.4	25.79	5.44	2.48	78.94	15.95	0.33	32.10	6.23	0.96	27.82	5.26	38.85
48	xx9	306210	2460860	0.74	28.93	5.90	20.9	26.77	5.65	1.98	82.03	16.57	0.30	32.37	6.28	1.30	25.31	4.78	39.18
49	CNA 415	300508	2462032	0.57	30.36	6.19	24.8	25.24	5.32	2.38	79.58	16.07	0.30	32.37	6.28	0.74	29.46	5.57	39.44
50	CNA 887	303368	2451633	0.65	29.64	6.05	17.5	28.11	5.93	2.11	81.24	16.41	0.38	31.69	6.15	1.00	27.53	5.20	39.74
51	CNA 338	307009	2438523	0.52	30.71	6.27	15.8	28.78	6.07	1.98	82.01	16.57	0.35	31.90	6.19	0.82	28.86	5.45	40.55
52	CNA 403	307892	2463747	0.52	30.71	6.27	19.8	27.20	5.74	1.78	83.25	16.82	0.30	32.37	6.28	0.80	29.05	5.49	40.59
53	xx5	305133	2456616	0.39	31.79	6.48	18.9	27.56	5.81	2.11	81.24	16.41	0.19	33.34	6.47	0.62	30.40	5.75	40.92
54	CNA 280	304684	2448858	1.52	22.50	4.59	88.9	0.00	0.00	2.98	75.87	15.33	3.63	90.09	17.48	1.34	25.01	4.73	42.12
55	CNA 103	298798	2453778	0.70	29.29	5.97	18.4	27.76	5.86	1.48	98.21	19.84	0.55	30.15	5.85	1.24	25.73	4.86	42.38

56	CNA 152	304554	2456554	1.26	24.64	5.03	73.2	6.18	1.30	3.84	70.50	14.24	3.98	88.77	17.22	0.86	28.56	5.40	43.19
57	CNA 108	300002	2455968	0.48	31.07	6.34	12.5	30.08	6.35	1.24	99.11	20.02	0.21	33.14	6.43	1.14	26.49	5.01	44.14
58	CNA 109	299735	2454724	0.48	31.07	6.34	9.3	31.34	6.61	1.24	99.11	20.02	0.28	32.52	6.31	1.03	27.35	5.17	44.45
59	CNA 880	309476	2445924	1.87	19.64	4.01	42.2	18.39	3.88	2.73	77.40	15.64	0.42	31.27	6.07	3.05	79.42	15.01	44.60
60	CNA 405	304962	2463236	0.30	32.50	6.63	16.1	28.66	6.05	1.32	98.82	19.96	0.30	32.37	6.28	0.56	30.85	5.83	44.75
61	CNA 88	303793	2447878	2.00	18.57	3.79	28.7	23.70	5.00	2.36	79.71	16.10	0.52	30.45	5.91	3.93	74.74	14.13	44.92
62	CNA 64	299895	2449918	1.91	19.29	3.93	32.6	22.17	4.68	2.60	78.17	15.79	0.40	31.48	6.11	3.40	77.56	14.66	45.17
63	xx8	306016	2454765	1.35	23.93	4.88	62.7	10.31	2.18	3.72	71.27	14.40	2.12	95.79	18.58	1.02	27.37	5.17	45.21
64	x14	309031	2447290	1.78	20.36	4.15	35.3	21.10	4.45	2.60	78.17	15.79	0.40	31.48	6.11	3.33	77.93	14.73	45.23
65	CNA 68	298975	2451930	1.96	18.93	3.86	25.8	24.84	5.24	2.50	78.84	15.93	0.40	31.44	6.10	3.72	75.87	14.34	45.47
66	CNA 870	291673	2452521	1.91	19.29	3.93	28.7	23.70	5.00	2.32	79.94	16.15	0.58	29.89	5.80	3.36	77.79	14.70	45.58
67	CNA 882	297413	2458415	2.00	18.57	3.79	48.3	15.98	3.37	4.04	69.28	13.99	0.66	29.16	5.66	2.13	99.60	18.82	45.64
68	CNA 87	303349	2448160	1.78	20.36	4.15	28	23.98	5.06	2.60	78.17	15.79	0.35	31.90	6.19	3.36	77.76	14.70	45.89
69	CNA 117	299767	2450988	1.83	20.00	4.08	27.1	24.33	5.13	2.48	78.94	15.95	0.38	31.69	6.15	3.42	77.46	14.64	45.95
70	CNA 83	302921	2449294	1.74	20.71	4.23	25.2	25.08	5.29	2.60	78.17	15.79	0.42	31.27	6.07	3.08	79.24	14.98	46.35
71	CNA 084	302577	2449262	1.78	20.36	4.15	25.9	24.80	5.23	2.48	78.94	15.95	0.38	31.69	6.15	3.17	78.79	14.89	46.37
72	CNA 85	302927	2448751	1.74	20.71	4.23	26.3	24.65	5.20	2.48	78.94	15.95	0.33	32.10	6.23	3.27	78.26	14.79	46.39
73	CNA 662	291618	2457253	1.70	21.07	4.30	28.6	23.74	5.01	2.18	80.80	16.32	0.30	32.37	6.28	3.42	77.45	14.64	46.55
74	CNA 872	306479	2437988	1.65	21.43	4.37	22.2	26.26	5.54	2.23	80.47	16.26	0.33	32.10	6.23	3.57	76.67	14.49	46.89

75	CNA 254	308352	2459472	1.48	22.86	4.66	45.8	16.97	3.58	2.46	79.06	15.97	2.14	95.70	18.57	1.41	24.49	4.63	47.41
76	CNA 376	293027	2473848	1.78	20.36	4.15	44.6	17.44	3.68	2.90	76.34	15.42	0.85	27.55	5.35	2.08	99.73	18.85	47.45
77	CNA 374	293689	2473412	1.78	20.36	4.15	43.7	17.80	3.75	2.81	76.89	15.53	0.90	27.11	5.26	2.05	99.83	18.87	47.57
78	CNA 112	299749	2452914	1.70	21.07	4.30	15.8	28.78	6.07	2.36	79.71	16.10	0.35	31.90	6.19	3.02	79.59	15.04	47.70
79	CNA 382	297638	2469236	1.43	23.21	4.74	41.3	18.74	3.95	2.90	76.34	15.42	1.01	99.95	19.39	1.63	22.88	4.32	47.83
80	CNA 304	307440	2451864	1.74	20.71	4.23	41.3	18.74	3.95	2.98	75.87	15.33	0.54	30.24	5.87	2.49	98.43	18.60	47.98
81	CNA 375	293616	2474154	1.74	20.71	4.23	41.6	18.62	3.93	2.72	77.43	15.64	0.81	27.84	5.40	2.02	99.94	18.89	48.09
82	CNA 373	293703	2472613	1.74	20.71	4.23	40	19.25	4.06	2.55	78.52	15.86	0.86	27.41	5.32	2.01	99.97	18.90	48.36
83	CNA 248	309087	2460059	1.39	23.57	4.81	40.2	19.17	4.05	2.18	80.80	16.32	1.16	99.39	19.28	1.83	21.36	4.04	48.49
84	CNA 22	299673	2447674	1.48	22.86	4.66	42.1	18.43	3.89	2.85	76.64	15.48	0.54	30.24	5.87	2.12	99.62	18.83	48.73
85	CNA 86	302874	2448279	1.52	22.50	4.59	34.9	21.26	4.49	2.60	78.17	15.79	0.73	28.58	5.55	2.13	99.60	18.82	49.24
86	CNA 13	296690	2449407	1.39	23.57	4.81	41.1	18.82	3.97	2.36	79.71	16.10	0.78	28.17	5.47	2.01	99.97	18.90	49.24
87	CNA 114	298347	2452122	1.70	21.07	4.30	28.5	23.78	5.02	2.70	77.55	15.67	0.40	31.44	6.10	2.85	97.29	18.39	49.47
88	CNA 389	296949	2467352	1.57	22.14	4.52	31	22.80	4.81	2.72	77.43	15.64	0.53	30.33	5.88	2.14	99.56	18.82	49.67
89	CNA 869	299441	2450243	1.48	22.86	4.66	32.4	22.24	4.69	2.48	78.94	15.95	0.56	30.03	5.83	2.25	99.20	18.75	49.88
90	CNA 319	310716	2446000	1.61	21.79	4.44	25.9	24.80	5.23	2.73	77.40	15.64	0.42	31.27	6.07	2.62	98.02	18.53	49.91
91	CNA 860	299076	2450296	1.75	20.60	4.20	23.9	25.59	5.40	2.48	78.94	15.95	0.49	30.65	5.95	2.60	98.08	18.54	50.03
92	CNA 65	299122	2450065	1.61	21.79	4.44	29.6	23.35	4.93	2.23	80.47	16.26	0.42	31.27	6.07	2.83	97.35	18.40	50.09
93	x12	308522	2444396	1.48	22.86	4.66	26.6	24.53	5.18	2.98	75.87	15.33	0.40	31.48	6.11	2.07	99.78	18.86	50.13

94	CNA 724	311776	2448535	1.43	23.21	4.74	29.8	23.27	4.91	2.60	78.17	15.79	0.42	31.27	6.07	2.16	99.49	18.80	50.31
95	CNA 299	309681	2450269	1.43	23.21	4.74	26.6	24.53	5.18	2.60	78.17	15.79	0.42	31.27	6.07	2.30	99.05	18.72	50.49
96	CNA 696	310113	2467633	1.00	26.79	5.46	28.1	23.94	5.05	2.46	79.06	15.97	1.16	99.39	19.28	1.25	25.67	4.85	50.62
97	CNA 90	302650	2455184	1.39	23.57	4.81	30.6	22.95	4.84	2.23	80.47	16.26	0.26	32.72	6.35	2.81	97.43	18.41	50.67
98	CNA 434	305869	2441691	1.43	23.21	4.74	25.1	25.12	5.30	2.48	78.94	15.95	0.45	31.07	6.03	2.24	99.24	18.76	50.76
99	CNA 822	309978	2471010	1.39	23.57	4.81	27.3	24.25	5.12	2.38	79.58	16.07	0.43	31.20	6.05	2.23	99.27	18.76	50.82
100	CNA 229	305460	2458781	0.74	28.93	5.90	33	22.01	4.64	2.77	77.13	15.58	1.03	99.89	19.38	0.86	28.57	5.40	50.90
101	CNA 261	295952	2452473	1.44	23.16	4.73	19.2	27.44	5.79	2.23	80.47	16.26	0.33	32.10	6.23	2.93	97.04	18.34	51.34
102	CNA 876	311465	2436175	4.26	77.60	15.83	82	2.72	0.57	3.47	72.80	14.71	0.40	31.48	6.11	3.82	75.30	14.23	51.45
103	CNA 4	292061	2451343	1.39	23.57	4.81	22.3	26.22	5.53	1.63	84.17	17.00	0.49	30.69	5.95	2.74	97.65	18.46	51.75
104	CNA 40	294368	2452498	1.20	25.15	5.13	19.5	27.32	5.77	1.98	82.01	16.57	0.35	31.90	6.19	2.36	98.84	18.68	52.33
105	CNA 249	309552	2459211	1.22	25.00	5.10	26.5	24.57	5.18	1.61	84.31	17.03	0.35	31.90	6.19	2.08	99.74	18.85	52.35
106	CNA 174	301950	2456405	1.09	26.07	5.32	40.3	19.13	4.04	1.49	98.17	19.83	1.81	96.95	18.81	1.21	25.98	4.91	52.90
107	CNA 340	307762	2438003	1.30	24.35	4.97	15.3	28.98	6.11	1.36	98.65	19.93	0.80	27.96	5.43	2.35	98.89	18.69	55.12
108	CNA 861	289613	2449047	2.39	98.62	20.12	47.9	16.14	3.41	2.85	76.64	15.48	0.49	30.65	5.95	4.54	71.51	13.52	58.47
109	CNA 23	298830	2447141	2.35	98.78	20.15	40.4	19.09	4.03	2.73	77.40	15.64	0.61	29.62	5.75	4.39	72.30	13.66	59.23
110	xx3	300963	2446062	2.30	98.93	20.18	40.3	19.13	4.04	2.73	77.40	15.64	0.45	31.07	6.03	4.70	70.64	13.35	59.23
111	CNA 24	298179	2447250	2.26	99.08	20.21	40.6	19.02	4.01	2.73	77.40	15.64	0.42	31.27	6.07	4.44	72.03	13.61	59.54
112	CNA 475	303047	2447540	2.43	98.47	20.09	38.2	19.96	4.21	3.10	75.10	15.17	0.75	28.38	5.51	3.47	77.17	14.58	59.56

113	CNA 19	300029	2446555	2.35	98.78	20.15	39.3	19.53	4.12	2.73	77.40	15.64	0.42	31.27	6.07	4.35	72.51	13.71	59.68
114	CNA 76	301115	2447321	2.22	99.24	20.24	43.4	17.91	3.78	2.85	76.64	15.48	0.45	31.07	6.03	3.90	74.88	14.15	59.68
115	CNA 1A	294099	2451593	2.48	98.32	20.06	32.3	22.28	4.70	2.85	76.65	15.48	0.63	29.48	5.72	4.32	72.66	13.73	59.69
116	CNA 115	298650	2451204	2.52	98.16	20.03	33.7	21.73	4.59	2.85	76.64	15.48	0.42	31.27	6.07	4.45	71.96	13.60	59.76
117	CNA 50	291030	2453541	2.48	98.32	20.06	33.3	21.89	4.62	2.70	77.59	15.67	0.63	29.48	5.72	4.21	73.22	13.84	59.91
118	CNA 16	297814	2448952	2.26	99.08	20.21	39.3	19.53	4.12	2.98	75.87	15.33	0.59	29.83	5.79	3.35	77.79	14.70	60.15
119	CNA 8	291817	2450208	2.39	98.62	20.12	32.5	22.20	4.69	2.62	78.06	15.77	0.61	29.61	5.75	4.10	73.81	13.95	60.27
120	CNA 5	289873	2450634	2.48	98.32	20.06	32.6	22.17	4.68	2.70	77.55	15.67	0.40	31.44	6.10	4.23	73.15	13.83	60.33
121	CNA 48	291776	2454026	2.35	98.78	20.15	31.6	22.56	4.76	2.66	77.83	15.72	0.61	29.61	5.75	3.99	74.40	14.06	60.44
122	CNA 45	292602	2453243	2.35	98.78	20.15	30.6	22.95	4.84	2.66	77.83	15.72	0.60	29.75	5.77	4.08	73.94	13.97	60.46
123	CNA 80	303164	2445478	2.26	99.08	20.21	30.9	22.83	4.82	3.10	75.10	15.17	0.54	30.24	5.87	3.60	76.47	14.45	60.52
124	CNA 9	291984	2449898	2.35	98.78	20.15	34	21.61	4.56	2.70	77.55	15.67	0.40	31.44	6.10	3.93	74.71	14.12	60.60
125	CNA 934	292689	2457092	2.35	98.78	20.15	31.7	22.52	4.75	2.85	76.64	15.48	0.28	32.52	6.31	4.04	74.14	14.01	60.70
126	CNA 129	292480	2454845	2.22	99.24	20.24	33.7	21.73	4.59	2.98	75.87	15.33	0.31	32.31	6.27	3.75	75.70	14.31	60.73
127	x15	314898	2437631	2.35	98.78	20.15	41.1	18.82	3.97	2.60	78.17	15.79	0.47	30.86	5.99	3.08	79.26	14.98	60.88
128	CNA 49	290554	2454378	2.30	98.93	20.18	28.7	23.70	5.00	2.43	79.24	16.01	0.63	29.48	5.72	4.08	73.93	13.97	60.88
129	CNA 53	297089	2451388	2.17	99.39	20.28	30.6	22.95	4.84	2.36	79.71	16.10	0.52	30.45	5.91	4.29	72.83	13.77	60.89
130	CNA 436	304153	2442069	2.09	99.69	20.34	31.2	22.72	4.79	2.85	76.64	15.48	0.45	31.07	6.03	3.66	76.17	14.40	61.03
131	CNA- 46	291976	2453316	2.17	99.39	20.28	29.1	23.54	4.97	2.60	78.17	15.79	0.42	31.27	6.07	4.03	74.23	14.03	61.13

132	CNA 47	292420	2453776	2.09	99.69	20.34	31.2	22.72	4.79	2.60	78.17	15.79	0.42	31.27	6.07	3.75	75.71	14.31	61.30
133	CNA 337	304173	2446369	2.09	99.69	20.34	28.6	23.74	5.01	2.60	78.17	15.79	0.33	32.10	6.23	4.03	74.22	14.03	61.39
134	CNA 866	293699	2446869	2.13	99.54	20.31	28.2	23.90	5.04	2.73	77.40	15.64	0.35	31.90	6.19	3.52	76.92	14.54	61.71
135	CNA 89	303441	2447012	2.04	99.85	20.37	28.8	23.66	4.99	2.60	78.17	15.79	0.24	32.93	6.39	3.85	75.14	14.20	61.74
136	CNA 881	291417	2455422	2.09	99.69	20.34	28	23.98	5.06	2.60	78.17	15.79	0.35	31.90	6.19	3.67	76.10	14.38	61.76
137	CNA 79	303011	2444588	2.09	99.69	20.34	31.9	22.44	4.74	2.23	80.47	16.26	0.42	31.27	6.07	3.64	76.29	14.42	61.81
138	CNA 37	294080	2452068	2.35	98.78	20.15	50	15.31	3.23	3.84	70.50	14.24	0.49	30.65	5.95	2.96	96.95	18.32	61.89
139	CNA 317	310705	2448198	2.04	99.85	20.37	60.2	11.30	2.38	2.98	75.87	15.33	0.80	27.96	5.43	2.17	99.44	18.79	62.30
140	CNA 307	308480	2450489	2.22	99.24	20.24	57.1	12.52	2.64	3.22	74.34	15.02	1.27	98.98	19.20	2.70	97.76	18.48	75.58
141	CNA 394	294729	2467309	2.13	99.54	20.31	60.2	11.30	2.38	2.37	79.60	16.08	1.98	96.32	18.69	2.23	99.26	18.76	76.22
142	CNA 305	308066	2450387	2.13	99.54	20.31	56.3	12.83	2.71	2.48	78.94	15.95	1.81	96.94	18.81	2.42	98.67	18.65	76.41

ANEXO XXII. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2010.

ID	Localidad	X	Y	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	SAR	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Esc. San José del Barro	298691	2457191	1.78	29.56	6.03	82.00	27.58	5.82	13.44	32.27	6.52	0.68	31.16	6.04	1.35	28.27	5.34	29.76
2	General I. Martínez	297954	2445069	1.87	29.30	5.98	68.80	28.78	6.07	11.28	33.47	6.76	0.56	31.86	6.18	1.76	26.22	4.96	29.95
3	Rancho La Esperanza	302801	2460058	0.87	32.35	6.60	50.40	30.44	6.42	8.26	58.52	11.82	0.86	30.14	5.85	0.85	30.74	5.81	36.50
4	El Aguaje	299981	2444316	1.22	31.29	6.38	34.60	31.87	6.72	4.57	59.97	12.11	0.28	33.43	6.49	1.82	25.91	4.90	36.60
5	Víctor Rosales	296574	2446312	1.17	31.42	6.41	36.70	31.68	6.68	6.02	59.40	12.00	0.29	33.38	6.48	1.55	27.27	5.15	36.72
6	Metalcon - Los Gómez	306011	2451917	1.96	29.03	5.92	136.80	22.63	4.77	22.43	27.32	5.52	4.80	81.77	15.86	1.16	29.19	5.52	37.60
7	Yesera - Los Gómez	305962	2451356	0.70	32.88	6.71	132.50	23.02	4.86	21.72	27.71	5.60	3.10	88.15	17.10	0.36	33.20	6.28	40.54
8	Huerta Santa Úrsula	305594	2452567	1.39	30.76	6.27	103.30	25.66	5.41	16.93	30.35	6.13	3.08	88.24	17.12	0.90	30.49	5.76	40.70
9	Rancho El Diamante	306071	2456346	1.74	29.70	6.06	101.00	25.87	5.46	16.56	30.55	6.17	2.67	90.56	17.57	1.21	28.93	5.47	40.72
10	Cerritos	304118	2433880	0.96	32.08	6.55	23.00	32.92	6.95	3.77	84.11	16.99	0.73	30.87	5.99	1.97	25.15	4.75	41.22
11	Los Terreros	302789	2438270	0.70	32.88	6.71	20.60	33.14	6.99	3.38	84.26	17.02	0.14	34.21	6.64	1.45	27.76	5.25	42.60
12	Comunidad La Cantera	303046	2441441	0.57	33.28	6.79	17.87	33.38	7.04	2.93	84.44	17.06	0.14	34.21	6.64	1.46	27.73	5.24	42.77
13	El Gato	303913	2432031	0.35	33.94	6.92	12.22	33.89	7.15	2.00	84.80	17.13	0.07	34.61	6.71	0.88	30.60	5.78	43.70
14	Mezquital	291326	2454237	1.91	29.17	5.95	53.30	30.18	6.37	8.74	34.87	7.04	0.68	31.16	6.04	2.24	99.49	18.80	44.21
15	San José de Buena Vista	287271	2452359	1.39	30.76	6.27	45.10	30.92	6.52	7.39	58.86	11.89	0.34	33.05	6.41	2.01	99.99	18.90	50.00
16	Capilla del Desierto	284440	2451080	1.43	30.63	6.25	37.00	31.65	6.68	6.07	59.38	12.00	0.34	33.05	6.41	2.24	99.49	18.80	50.14

17	Vivero Municipal	296738	2446539	1.48	30.49	6.22	40.10	31.37	6.62	6.57	59.18	11.95	0.28	33.42	6.48	2.07	99.85	18.87	50.15
18	El Aguaje	300372	2444643	1.09	31.69	6.46	27.90	32.48	6.85	5.67	59.54	12.03	0.28	33.43	6.49	2.31	99.33	18.77	50.60
19	Mario Lucio López	306146	2453424	3.04	84.91	17.32	120.40	24.11	5.09	19.74	28.80	5.82	2.43	91.91	17.83	2.00	25.01	4.73	50.78
20	Ofelia Lara (Col. La Tuna)	295695	2455033	7.61	56.50	11.53	119.70	24.17	5.10	19.62	28.86	5.83	1.89	94.97	18.42	6.96	56.58	10.69	51.57
21	Los Medina (Col. Santa Rosa)	293359	2455029	3.48	83.96	17.13	68.40	28.81	6.08	11.21	33.50	6.77	0.69	31.11	6.04	3.69	82.55	15.60	51.61
22	Rancho La Providencia	299125	2452797	7.30	57.16	11.66	192.80	17.56	3.71	31.61	22.25	4.50	3.44	86.20	16.72	4.02	81.36	15.38	51.96
23	Don Valente	296635	2453349	7.17	57.44	11.72	165.80	20.01	4.22	27.18	24.69	4.99	3.78	84.28	16.35	4.48	79.72	15.07	52.35
24	Deportivo Los Gómez	306301	2451003	2.13	99.83	20.37	128.80	23.35	4.93	21.11	28.04	5.66	4.63	82.45	16.00	1.23	28.84	5.45	52.40
25	Rancho San Isidro	301193	2452784	7.13	57.54	11.74	154.70	21.01	4.43	25.36	25.70	5.19	3.44	86.20	16.72	4.98	77.95	14.73	52.82
26	Tanque Santa María	305344	2453322	2.43	99.43	20.28	119.20	24.22	5.11	19.54	28.91	5.84	3.34	86.77	16.83	1.59	27.04	5.11	53.18
27	Quinta Consuelo	300948	2452560	7.13	57.54	11.74	148.20	21.60	4.56	24.30	26.29	5.31	3.26	87.22	16.92	4.56	79.43	15.01	53.54
28	Ángel Cisneros Cuevas	305789	2454140	2.87	98.86	20.17	124.50	23.74	5.01	20.41	28.43	5.74	2.53	91.35	17.72	1.78	26.10	4.93	53.57
29	Leobardo Romero	306366	2446022	6.13	59.72	12.18	140.80	22.27	4.70	23.08	26.96	5.45	3.67	84.90	16.47	4.21	80.68	15.25	54.04
30	Rosalio Rodríguez	306193	2444218	2.96	98.75	20.15	117.50	24.37	5.14	19.26	29.06	5.87	2.09	93.84	18.20	1.94	25.31	4.78	54.15
31	Pozos - Chiqueros	305778	2444838	6.65	58.58	11.95	148.20	21.60	4.56	24.30	26.29	5.31	2.62	90.84	17.62	3.78	82.22	15.54	54.98
32	El Morro	300621	2452484	6.17	59.62	12.16	137.70	22.55	4.76	22.57	27.24	5.50	2.58	91.07	17.67	4.14	80.95	15.30	55.39

33	Ex - Hacienda El Jaralito	300071	2457619	2.17	99.77	20.35	105.20	25.49	5.38	17.25	30.18	6.10	1.72	95.93	18.61	1.45	27.77	5.25	55.69
34	Tierra Blanca	295487	2446041	2.57	99.26	20.25	59.80	29.59	6.24	9.80	34.28	6.92	0.97	29.49	5.72	2.89	98.08	18.54	57.68
35	Lázaro Núñez	305659	2445037	2.35	99.55	20.31	63.40	29.27	6.18	10.39	33.96	6.86	0.60	31.64	6.14	2.54	98.84	18.68	58.16
36	Sabas Ramírez. Col El Zapote	301824	2456820	5.65	79.22	16.16	156.70	20.83	4.39	25.69	25.52	5.15	3.26	87.22	16.92	3.55	83.03	15.69	58.33
37	Capulines	288918	2453840	2.09	99.89	20.38	60.00	29.57	6.24	9.84	34.26	6.92	0.70	31.04	6.02	2.25	99.46	18.80	58.36
38	Rancho El Sacrificio	306479	2453727	4.48	81.78	16.68	171.10	19.53	4.12	28.05	24.22	4.89	5.01	80.92	15.70	2.18	99.61	18.83	60.22
39	Estrella de Dimas	305989	2443609	11.09	48.92	9.98	215.00	99.42	20.98	35.25	20.24	4.09	4.81	81.73	15.86	7.00	56.42	10.66	61.56
40	Huerta Los Olivos	303571	2457464	3.61	83.67	17.07	123.40	23.84	5.03	20.23	28.53	5.76	5.50	78.94	15.31	2.28	99.41	18.79	61.97
41	Residencial El Cortijo	293930	2452465	3.91	83.01	16.93	118.60	24.27	5.12	19.44	28.96	5.85	1.89	94.97	18.42	3.10	84.64	16.00	62.33
42	Acapulco 306 Col. Morelos	298605	2454648	4.00	82.82	16.90	119.30	24.21	5.11	19.56	28.90	5.84	4.50	82.98	16.10	2.80	98.28	18.58	62.52
43	Leos peña - Los Gómez	305661	2451621	4.35	82.06	16.74	134.30	22.85	4.82	22.02	27.54	5.56	3.23	87.39	16.95	2.81	98.26	18.57	62.65
44	Carretera 57 a Matehuala	301091	2456257	11.48	48.07	9.81	246.00	98.22	20.72	40.33	17.44	3.52	6.19	76.15	14.77	5.48	76.16	14.39	63.22
45	Rancho El Diamante	305540	2455847	4.00	82.82	16.90	127.30	23.49	4.96	20.87	28.18	5.69	3.15	87.84	17.04	2.51	98.90	18.69	63.28
46	J. Fernando Rdz. (Gas Vip)	305998	2443460	3.87	83.11	16.95	61.40	29.45	6.21	10.07	34.14	6.90	1.02	99.89	19.38	5.29	76.82	14.52	63.96
47	Juan Castillo Martínez	305987	2453584	3.65	83.58	17.05	104.50	25.55	5.39	17.13	30.24	6.11	1.67	96.21	18.67	2.54	98.85	18.68	65.90

48	Capulines	289506	2454098	3.52	83.86	17.11	91.40	26.73	5.64	14.98	31.42	6.35	1.89	94.97	18.42	2.94	97.98	18.52	66.04
49	Bodega de Pozos - Suacero	305450	2444826	6.74	58.39	11.91	387.00	92.75	19.57	63.44	4.69	0.95	2.48	91.63	17.78	3.00	85.00	16.06	66.27
50	Concepción Mtz. (Barrio Santiago)	295298	2452210	3.39	84.15	17.17	93.30	26.56	5.60	15.30	31.25	6.31	1.19	98.93	19.19	2.73	98.45	18.61	66.88
51	Establo La Providencia	299541	2452740	7.83	56.02	11.43	204.00	99.84	21.07	33.44	21.24	4.29	5.16	80.31	15.58	3.92	81.72	15.44	67.81
52	Cándido Vargas	305970	2444148	2.78	98.98	20.19	78.60	27.89	5.89	12.89	32.58	6.58	1.19	98.93	19.19	2.54	98.84	18.68	70.53
53	Rosendo Fraga A.	305669	2444416	2.91	98.81	20.16	76.70	28.06	5.92	12.57	32.75	6.62	1.12	99.32	19.27	2.77	98.35	18.59	70.55
54	Tierra Blanca	296125	2445941	2.91	98.81	20.16	67.00	28.94	6.11	10.98	33.63	6.79	1.14	99.21	19.25	2.99	97.88	18.50	70.80
55	La Pila	307333	2438056	2.04	99.94	20.39	60.40	29.54	6.23	9.90	34.23	6.91	1.18	98.98	19.20	2.26	99.43	18.79	71.53

ANEXO XXIII. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2012.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	1.98	22.15	4.52	44.20	24.48	5.16	1.87	83.28	16.82	0.83	28.34	5.50	2.44	99.04	18.72	50.72
2	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	4.21	79.36	16.19	36.20	26.38	5.57	2.23	81.57	16.48	0.35	32.18	6.24	6.89	56.78	10.73	55.21
3	Muñoz	2451419.7	293772.8	3.01	84.96	17.33	37.50	26.07	5.50	2.15	81.92	16.55	0.38	31.95	6.20	5.67	75.32	14.23	59.82
4	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	3.07	84.67	17.27	38.10	25.93	5.47	2.03	82.49	16.66	0.42	31.61	6.13	5.37	76.39	14.44	59.98
5	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	5.38	73.93	15.08	122.80	5.76	1.22	5.31	56.20	11.35	1.54	98.13	19.04	4.24	80.49	15.21	61.90
6	Hostal Del Quijote	2448754.5	300917.4	2.78	97.84	19.96	41.40	25.14	5.31	2.12	82.07	16.58	0.55	30.60	5.94	4.15	80.83	15.28	63.05
7	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	2.27	99.25	20.25	28.70	28.17	5.94	1.73	83.92	16.95	0.66	29.69	5.76	4.34	80.13	15.15	64.05
8	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	2.27	99.26	20.25	32.50	27.26	5.75	1.88	83.21	16.81	0.37	32.06	6.22	4.40	79.91	15.10	64.13
9	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	3.74	81.57	16.64	147.00	0.00	0.00	3.41	75.99	15.35	4.34	83.04	16.11	2.25	99.46	18.80	66.90
10	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	4.07	80.04	16.33	83.80	15.05	3.18	3.72	74.57	15.06	1.16	99.44	19.29	3.78	82.17	15.53	69.39

ANEXO XXIV. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2013.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Hostal Del Quijote	2448754.5	300917.4	1.92	21.62	4.41	49.40	22.96	4.84	2.39	80.80	16.32	0.75	28.32	5.49	2.42	98.98	18.71	49.78
2	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	1.76	22.73	4.64	45.60	23.89	5.04	1.99	82.70	16.71	0.89	27.10	5.26	2.06	99.84	18.87	50.51
3	Muñoz	2451419.7	293772.8	3.33	83.36	17.01	38.80	25.54	5.39	2.26	81.41	16.44	0.41	31.35	6.08	6.21	59.16	11.18	56.10
4	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	2.85	97.47	19.88	143.60	0.00	0.00	3.70	74.62	15.07	3.95	88.80	17.23	1.69	25.48	4.82	57.00
5	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	5.03	74.92	15.28	127.40	3.95	0.83	5.29	56.25	11.36	1.44	98.33	19.08	4.09	80.61	15.24	61.79
6	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	2.76	97.74	19.94	38.70	25.57	5.39	2.15	81.94	16.55	0.40	31.48	6.11	4.75	77.97	14.74	62.73
7	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.36	98.94	20.18	36.90	26.01	5.49	2.20	81.71	16.51	0.38	31.62	6.13	4.37	79.50	15.03	63.34
8	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	2.34	99.00	20.20	33.00	26.96	5.69	2.31	81.18	16.40	0.38	31.60	6.13	4.26	79.94	15.11	63.52
9	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	2.01	99.96	20.39	28.20	28.13	5.93	1.92	83.01	16.77	0.37	31.72	6.15	3.72	82.09	15.52	64.76
10	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	3.48	82.62	16.85	82.30	14.94	3.15	3.72	74.54	15.06	1.10	99.64	19.33	3.43	83.27	15.74	70.13

ANEXO XXV. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2014.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.87	22.56	4.60	30.80	27.78	5.86	1.73	83.95	16.96	0.40	31.27	6.07	4.00	80.41	15.20	48.69
2	Hostal Del Quijote	2448754.5	300917.4	1.88	22.49	4.59	51.50	22.93	4.84	2.28	81.53	16.47	0.67	28.77	5.58	2.51	98.59	18.63	50.11
3	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	1.85	22.73	4.64	50.20	23.23	4.90	1.90	83.19	16.80	0.78	27.66	5.37	2.17	99.53	18.81	50.52
4	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	2.90	97.44	19.88	149.30	0.00	0.00	3.30	76.96	15.55	3.74	89.01	17.27	1.75	23.73	4.49	57.18
5	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	5.27	74.24	15.15	125.10	5.67	1.20	5.60	55.11	11.13	1.50	97.99	19.01	4.19	79.53	15.03	61.51
6	Muñoz	2451419.7	293772.8	2.98	97.22	19.83	43.00	24.92	5.26	2.11	82.29	16.62	0.33	31.88	6.19	5.45	73.76	13.94	61.84
7	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	2.81	97.70	19.93	41.40	25.29	5.34	2.03	82.63	16.69	0.32	32.02	6.21	5.25	74.69	14.12	62.29
8	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.32	99.08	20.21	40.20	25.58	5.40	2.15	82.08	16.58	0.33	31.88	6.19	4.29	79.09	14.95	63.32
9	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	2.05	99.85	20.37	34.60	26.89	5.67	1.90	83.19	16.80	0.35	31.75	6.16	4.30	79.03	14.94	63.94
10	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	3.38	83.19	16.97	81.80	15.82	3.34	3.78	74.81	15.11	1.20	99.19	19.24	3.41	83.14	15.71	70.38

ANEXO XXVI. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2015.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.83	22.60	4.61	25.80	28.04	5.92	1.76	83.88	16.94	0.28	32.52	6.31	3.59	82.87	15.66	49.44
2	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	1.78	22.93	4.68	49.40	21.67	4.57	2.00	82.84	16.73	0.85	27.43	5.32	2.23	99.50	18.81	50.11
3	Muñoz	2451419.7	293772.8	3.51	82.54	16.84	47.20	22.26	4.70	2.16	82.14	16.59	0.38	31.65	6.14	6.87	56.83	10.74	55.01
4	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	5.15	74.56	15.21	125.20	1.21	0.26	5.76	54.54	11.02	1.40	98.46	19.10	4.31	80.25	15.17	60.75
5	Pozo Periférico I	2457292.5	292648.8	2.87	97.47	19.88	42.70	23.48	4.95	2.17	82.07	16.58	0.35	31.90	6.19	5.17	77.12	14.58	62.18
6	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	2.33	99.05	20.21	44.10	23.10	4.87	2.11	82.35	16.64	0.38	31.65	6.14	4.67	78.91	14.91	62.77
7	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	2.51	98.51	20.10	36.10	25.26	5.33	1.95	83.05	16.78	0.32	32.15	6.24	5.06	77.51	14.65	63.09
8	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	3.85	80.89	16.50	129.70	0.00	0.00	3.61	75.83	15.32	3.92	88.83	17.23	2.26	99.43	18.79	67.84
9	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	2.31	99.09	20.21	87.00	11.52	2.43	3.85	74.80	15.11	1.06	99.77	19.35	2.74	98.39	18.60	75.71

ANEXO XXVII. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2016.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	1.39	26.30	5.37	44.10	24.15	5.09	1.95	83.07	16.78	0.84	28.41	5.51	1.84	21.36	4.04	36.79
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	1.85	23.43	4.78	36.80	25.94	5.47	2.05	82.62	16.69	0.32	32.52	6.31	3.97	79.87	15.10	48.35
3	Fracc. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.64	24.73	5.04	29.10	27.84	5.87	1.89	83.29	16.82	0.32	32.52	6.31	3.60	81.81	15.46	49.51
4	Fracc. La Florida	2450463.5	309627.3	1.57	25.17	5.14	30.20	27.57	5.82	1.91	83.21	16.81	0.35	32.23	6.25	2.95	96.99	18.33	52.35
5	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	3.25	83.89	17.11	142.20	0.00	0.00	3.82	74.91	15.13	4.47	82.36	15.98	1.94	20.60	3.89	52.12
6	Pozo Milpillas	2458615.8	297400.7	1.45	25.91	5.28	36.10	26.11	5.51	1.52	84.89	17.15	0.39	31.95	6.20	2.42	98.66	18.65	52.79
7	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	5.60	73.40	14.97	122.10	4.95	1.04	5.75	54.57	11.02	1.52	98.26	19.06	4.26	78.34	14.81	60.91
8	Muñoz	2451419.7	293772.8	2.29	99.23	20.24	48.00	23.19	4.89	2.18	82.04	16.57	0.46	31.44	6.10	4.72	75.88	14.34	62.15
9	Pozo Periférico 1	2457292.5	292648.8	2.09	99.75	20.35	41.00	24.91	5.26	2.33	81.40	16.44	0.39	31.95	6.20	3.97	79.86	15.09	63.34
10	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	2.90	97.59	19.91	76.90	16.07	3.39	3.82	74.91	15.13	1.16	99.47	19.30	2.88	97.21	18.37	76.10
11	Real Del Potosí	2452025.6	307419.8	2.15	99.60	20.32	39.80	25.20	5.32	2.24	81.79	16.52	1.03	99.88	19.38	2.95	96.97	18.33	79.86
12	Granjas La Florida	2450892.5	310022.2	2.09	99.77	20.35	47.20	23.38	4.93	1.89	83.29	16.82	1.03	99.88	19.38	2.54	98.29	18.58	80.07

ANEXO XXVIII. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2017.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Muñoz	2451419.7	293772.8	1.24	30.15	6.15	46.70	22.28	4.70	1.80	83.66	16.90	0.97	26.25	5.09	1.76	25.38	4.80	37.64
2	Delegación Villa de Pozos	2444878.1	306061.6	1.58	28.85	5.88	36.60	25.03	5.28	1.90	83.21	16.81	0.35	31.81	6.17	3.62	82.59	15.61	49.75
3	El Huizache	2460192	309021.1	1.71	28.33	5.78	34.50	25.60	5.40	1.86	83.36	16.84	0.46	30.86	5.99	3.12	84.55	15.98	49.99
4	Frac. Villa Jardín	2449573.5	303856	1.75	28.18	5.75	41.30	23.75	5.01	2.18	81.93	16.55	0.75	28.26	5.48	2.54	98.74	18.66	51.46
5	Internado Damián Carmona	2449580.1	296651.1	1.94	27.44	5.60	37.20	24.87	5.25	2.33	81.26	16.41	0.50	30.51	5.92	2.94	97.80	18.48	51.66
6	Pozo Bocas	2491335.9	292049.9	8.98	51.70	10.55	128.50	0.00	0.00	5.54	55.30	11.17	1.53	97.94	19.00	6.41	58.39	11.04	51.75
7	Real Del Potosí	2452025.6	307419.8	1.09	30.75	6.27	28.80	27.16	5.73	1.65	84.34	17.04	0.42	31.22	6.06	2.33	99.22	18.75	53.85
8	Rancho El Diamante	2456040.6	305507.8	3.18	84.51	17.24	126.30	0.60	0.13	3.44	76.23	15.40	3.88	88.87	17.24	1.76	25.42	4.80	54.81
9	Granjas La Florida	2450892.5	310022.2	2.50	99.17	20.23	52.30	20.75	4.38	2.20	81.86	16.54	0.42	31.22	6.06	4.42	79.48	15.02	62.22
10	Frac. La Florida	2450463.5	309627.3	2.50	99.16	20.23	45.80	22.53	4.75	2.10	82.31	16.63	0.45	30.98	6.01	4.88	77.67	14.68	62.30
11	La Zorra	2454259	309169.1	1.98	27.30	5.57	49.40	21.54	4.55	2.28	81.48	16.46	1.22	99.16	19.24	2.50	98.83	18.68	64.49
12	Pozo La Zamorilla	2496699.5	296144.7	4.11	81.92	16.71	93.60	9.51	2.01	3.79	74.65	15.08	1.15	99.44	19.29	3.70	82.27	15.55	68.64
13	Pozo Periférico I	2457292.5	292648.8	2.25	99.57	20.31	71.80	15.44	3.26	2.30	81.41	16.44	2.49	94.24	18.28	2.13	99.70	18.84	77.14
14	Pozo Milpillás	2458615.8	297400.7	2.12	99.80	20.36	55.60	19.86	4.19	2.71	79.56	16.07	1.11	99.58	19.32	2.56	98.68	18.65	78.59

ANEXO XXIX. Cálculo del índice de calidad del agua para riego de 2018.

ID	Nombre del pozo	Latitud	Longitud	Na	qi	Wi*qi	CE	qi	Wi*qi	HCO ₃	qi	Wi*qi	Cl	qi	Wi*qi	RAS	qi	Wi*qi	ΣWi*qi
1	Comunidad Derramaderos	2464009	282127.9	1.12	30.66	6.25	50.70	21.51	4.54	3.35	76.72	15.50	0.27	32.66	6.34	0.94	29.23	5.53	38.15
2	Fracc. La Florida	2450464	309627.3	1.92	27.58	5.63	33.40	26.11	5.51	1.84	83.47	16.86	0.43	31.29	6.07	3.28	83.79	15.84	49.90
3	Internado Damián Carmona	2449580	296651.1	1.87	27.78	5.67	53.00	20.89	4.41	1.77	83.78	16.92	0.95	26.77	5.19	2.17	99.56	18.82	51.01
4	La Zorra	2454259	309169.1	1.99	27.31	5.57	43.00	23.56	4.97	1.94	83.02	16.77	0.66	29.32	5.69	2.69	98.19	18.56	51.56
5	Fracc. Villa Jardín	2449574	303856	1.64	28.67	5.85	28.60	27.39	5.78	1.69	84.16	17.00	0.35	31.99	6.21	2.87	97.73	18.47	53.30
6	Pozo Bocas	2491336	292049.9	9.06	34.76	7.09	20.84	29.45	6.21	5.58	55.16	11.14	1.44	98.38	19.08	5.73	73.10	13.82	57.35
7	Muñoz	2451420	293772.8	3.01	84.96	17.33	53.10	20.87	4.40	2.13	82.19	16.60	0.40	31.52	6.12	5.50	74.07	14.00	58.45
8	Pozo Periférico 1	2457293	292648.8	2.68	98.87	20.17	44.10	23.26	4.91	1.89	83.25	16.82	0.44	31.18	6.05	4.59	78.05	14.75	62.69
9	Delegación Villa de Pozos	2444878	306061.6	2.46	99.23	20.24	38.90	24.65	5.20	2.01	82.72	16.71	0.47	30.94	6.00	4.64	77.85	14.71	62.87
10	El Huizache	2460192	309021.1	1.99	27.32	5.57	66.90	17.19	3.63	2.08	82.42	16.65	2.26	95.31	18.49	2.03	99.91	18.88	63.22
11	Pozo Milpillas	2458616	297400.7	1.92	27.58	5.63	30.20	26.96	5.69	2.86	78.89	15.94	1.04	99.85	19.37	2.46	98.80	18.67	65.30
12	Real Del Potosí	2452026	307419.8	2.10	99.83	20.37	40.50	24.22	5.11	2.16	82.04	16.57	0.43	31.29	6.07	2.94	97.53	18.43	66.55
13	Rancho El Diamante	2456041	305507.8	3.88	82.56	16.84	131.50	0.00	0.00	3.50	76.06	15.36	4.05	84.71	16.43	2.22	99.43	18.79	67.43
14	Pozo La Zamorilla	2496700	296144.7	4.70	80.32	16.39	12.80	31.59	6.67	3.81	74.66	15.08	1.11	99.59	19.32	3.77	81.63	15.43	72.88
15	Granjas La Florida	2450893	310022.2	2.20	99.67	20.33	54.70	20.44	4.31	1.81	83.63	16.89	1.17	99.39	19.28	2.61	98.40	18.60	79.42