



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**“PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS 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 Al_2O_3 ACTIVADA/ SOLUCIÓN ACUOSA”**

**TESIS QUE PARA RECIBIR EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA

L.Q. LILIA ESTHER LANDÍN RODRÍGUEZ

**DIRECCIÓN DE TESIS:
Dra. MARÍA DEOGRACIAS ORTIZ PÉREZ
Dr. ALEJANDRO LÓPEZ VALDIVIESO**

**ASESOR:
Dr. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUIMICAS, INGENIERIA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**“PARAMETROS FISICOQUIMICOS 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 Al_2O_3 ACTIVADA/ SOLUCIÓN ACUOSA”**

**TESIS QUE PARA RECIBIR EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA

L.Q. LILIA ESTHER LANDÍN RODRÍGUEZ

**DIRECCIÓN DE TESIS:
Dra. MARÍA DEOGRACIAS ORTIZ PÉREZ
Dr. ALEJANDRO LÓPEZ VALDIVIESO**

Asesor: Dr. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA

SINODALES:

PRESIDENTE:

Dr. ALEJANDRO LÓPEZ VALDIVIESO

SECRETARIO:

Dr. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA

VOCAL:

M.C. ANTONIO CARDONA BENAVIDES

SAN LUIS POTOSÍ, SLP

MARZO DE 2006

PROYECTO REALIZADO EN:

LABORATORIO DE BIOQUÍMICA DE LA FACULTAD DE MEDICINA Y
LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUPERFICIE DEL INSTITUTO DE METALURGIA

Apoyo del proyecto por el *Programa de restauración en comunidades afectadas con hidroarsenismo y/o hidrofluorosis.*

*Proyecto financiado por:
CONACYT SIHGO 2002. Clave del proyecto 2002-020613*

Apoyo del proyecto por el Fondo Sectorial SEMARNAT-CONACYT 2002-C01-0362

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,
Becario CONACYT 186249

LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL
PROGRAMA DE FORTALECIMIENTO AL POSGRADO NACIONAL (PIFOP-SEP)

AGRADECIMIENTOS

A la **Maestra Pury** por los consejos y por la oportunidad de trabajar con ella en este proyecto, por todo el apoyo y confianza brindada durante la maestría.

Al **Dr. Alejandro López Valdivieso** por haberme asesorado en la realización de la tesis y por compartir sus conocimientos.

Al **Dr. Javier Castro Larragoitia**, por los consejos y apoyo en el desarrollo de la tesis.

Al **M.C. Antonio Cardona Benavides** por las aportaciones al trabajo las cuales ayudaron a mejorarlo enormemente y por su paciencia.

A la **I.Q. Juana Bertha Martínez Leyva** de la Comisión Nacional del Agua por el apoyo otorgado en la realización de la tesis

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), por haberme otorgado una beca para realizar mis estudios.

DEDICO ESTA TESIS

A mis padres **Esther Rodríguez Torres y Tito Ignacio Landín Rivera** por el cariño que siempre me han brindado y por haberme apoyado incondicionalmente en el tiempo que permanecí en la maestría.

¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE GENERAL

Resumen	1
I. Introducción	4
I.1 Técnicas de análisis para arsénico en agua	6
I.2 Agua subterránea perteneciente al acuífero de San Luis	7
I.3 Remoción de arsénico y fluoruros en agua	8
II. Planteamiento del Problema	10
II.1. Objetivo general	11
II.2 Objetivos específicos	11
III. Materiales y Métodos	12
III.1 Muestreo	12
III.2 Reactivos.	14
III.3 Cuantificación de arsénico	14
III.4 Cuantificación de fluoruros	16
III.5 Validación de los métodos analíticos	16
III.6 Análisis Físicoquímico del agua.	17
III.7 Remoción de arsénico (V) y fluoruros en soluciones acuosas por adsorción con alúmina activada	18
III.7.1 Preparación de las soluciones	19
III.7.2 Estudios de adsorción	19
III.7.3 Determinación del potencial zeta	20
III.8 Análisis estadístico	21
IV. Resultados y Discusión	22

IV.1 Calidad en las mediciones analíticas	22
IV.2 Análisis estadístico de los datos	24
IV.3 Fluoruros	24
IV.4 Arsénico	27
IV. 5 Calidad del agua subterránea	30
IV.6 Constituyentes mayores	30
IV.7 Remoción de Arsénico (V) y fluoruros por adsorción con alúmina activada.	37
IV.7.1 Efecto el tiempo de contacto	37
IV.7.2 Efecto del pH y de la fuerza iónica sobre el pH del punto de carga cero pH_{pzc} de Al_2O_3	38
IV.7.3 Efecto del pH y ion fluoruro sobre el potencial zeta de Al_2O_3 y adsorción del ion fluoruro sobre Al_2O_3	39
IV.7.4. Efecto del pH y de As(V) sobre el potencial zeta de Al_2O_3 y adsorción de As(V) sobre Al_2O_3	42
IV.7.5 Isotermas de adsorción	45
IV.7.6 Efecto de la afinidad de la superficie de alúmina en la adsorción de los iones fluoruros y As(V)	47
V. Conclusiones	51
VI. Bibliografía	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos utilizados en la determinación de parámetros fisicoquímicos.	17
Tabla 2. Ciclos empleados en el análisis de arsénico total por HG-AFS.	22
Tabla 3. Parámetros de calidad en la validación de los métodos analíticos.	23
Tabla 4. Resultados obtenidos para los componentes principales en las muestras de agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.	32
Tabla 5. Resultados de las isotermas de Langmuir indicando la constante K y la máxima capacidad de adsorción q_{max} , calculadas por mínimos cuadrados.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los aprovechamientos muestreados en la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.	13
Figura 2. Ubicación de la concentración de fluoruros en el agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.	26
Figura 3. Ubicación de la concentración de As total en el agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.	28
Figura 4. Correlaciones en el agua subterránea de los elementos mayores.	29
Figura 5. Correlaciones en el agua subterránea de los elementos mayores.	31
Figura 6. Diagrama de Piper.	35
Figura 7. Ubicación de las familias de agua que predominan en el agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.	36
Figura 8. Efecto del tiempo de contacto sobre la adsorción de fluoruros en alúmina.	37
Figura 9. Efecto del tiempo de contacto sobre la adsorción de As (V) en alúmina.	36

Figura 10. Electrocinética de Al_2O_3 en función del pH y diferente fuerza iónica.	39
Figura 11. Efecto del pH en la electrocinética de Al_2O_3 en presencia del ion fluoruro.	40
Figura 12. Influencia del pH en la capacidad de adsorción del ion fluoruro.	41
Figura 13. Efecto del pH en la electrocinética de Al_2O_3 en presencia de los iones arseniato.	42
Figura 14. Influencia del pH en la capacidad de adsorción de arseniato.	44
Figura 15. Diagrama Eh-pH Sistema $\text{As-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ a 25°C y 1 bar de presión	44
Figura 16. Diagrama de especiación del arseniato en función del pH (Fuerza iónica 0.01 M).	45
Figura 17. Isotherma de adsorción para fluoruros sobre alúmina.	46
Figura 18. Isotherma de adsorción para As(V) sobre alúmina.	47
Figura 19. Isotherma de adsorción para fluoruros sobre alúmina en presencia de As .	49
Figura 20. Isotherma de adsorción para As(V) sobre alúmina en presencia de fluoruros.	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Curvas de calibración en la validación de los métodos analíticos.	59
ANEXO II. Resultados de As total, fluoruros, y familias de agua de las muestras de agua de los pozos profundos en la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.	60
ANEXO III. Análisis geoquímicos de muestras de agua subterránea pertenecientes a los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí.	66
ANEXO IV. Diagramas de Stiff para las muestras de agua subterránea de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.	72

RESUMEN

En la Ciudad de San Luis Potosí, el agua subterránea ha tenido significantes problemas de calidad debido a las altas concentraciones de fluoruros, que al consumirla conlleva a efectos en salud como la fluorosis dental y esquelética, así como daño reproductivo y neurológico. La importancia de la calidad del agua subterránea estriba en que es la principal fuente de agua para uso y consumo humano que abastece a la población de la Ciudad, sin embargo la magnitud del problema no está bien definida. Otro elemento tóxico que se relaciona en ocasiones al fluoruro y puede estar presente en agua subterránea es el arsénico, el cual causa diversos daños a la salud, como cáncer y daño neurológico.

La determinación de estos elementos y su remoción tienen gran importancia en los estudios de contaminación ambiental, para lo que diferentes técnicas han sido utilizadas con tales propósitos. Se realizó un muestreo de la totalidad de los pozos (126) pertenecientes al acuífero profundo que son de uso público-urbano pertenecientes a la Ciudad capital, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada. Se evaluaron las concentraciones de arsénico y fluoruros, utilizando los métodos de Espectrometría de Fluorescencia Atómica (HG-AFS) y Potenciométrico respectivamente. Además se determinó la calidad del agua subterránea con la medición de Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , CO_3^{-2} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} , y los parámetros fisicoquímicos de conductividad eléctrica, color aparente, sólidos totales, alcalinidad, y dureza total.

Los métodos utilizados son apropiados para la determinación de arsénico total y fluoruros en agua para uso y consumo humano, con límites de detección de 0,4 $\mu\text{g/L}$ y 0,010 mg/L respectivamente. La precisión de 9,94 % y 1,61%(RSD), rango lineal de 1 - 70 $\mu\text{g/L}$ para As y 0,2 - 5 mg/L para fluoruros, la exactitud fue de 92 - 104% y 97,58% respectivamente.

En el agua de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí el As disuelto se encontró entre 1,7 - 14,8 $\mu\text{g/L}$ y la concentración de fluoruros tiene un rango de 0,35 - 4,16 mg/L .

La zona de mayor contaminación se encuentra localizada en el suroeste, oeste, sureste y noroeste de la Ciudad. De los 91 pozos muestreados, 53 pozos (58,24 %), exceden 0,010 $\mu\text{g As/L}$ (Valor de la guía de OMS) y ningún pozo excede 0,025 mg As/L, límite máximo permisible establecido en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 (NOM-127). Referente al fluoruro, el 71,43% (65) de los pozos en la Ciudad de San Luis Potosí exceden de 1,5 mg/L (NOM-127), y el 84,62% son mayores a 0,7 mg/L, este último valor es el límite recomendado de acuerdo a la temperatura de la Ciudad de la cual depende el consumo de agua de la población.

Para el caso de Soledad de Graciano Sánchez de 28 pozos el 35,71% (10 pozos) exceden de 1,5 mg F⁻/L y el 53,57% excede de 0,7 mg F⁻/L. Arriba de 0,010 mg As/L se encuentran el 25% de los pozos (7). El As del agua subterránea correlaciona positivamente con fluoruros y con la temperatura del agua, medida a la descarga del pozo.

La remoción de fluoruros y arsénico (V) en soluciones acuosas por adsorción usando alúmina activada como adsorbente fue evaluada como una función del tiempo de contacto, del pH y de la concentración inicial de los iones. Se estudió el efecto del pH sobre el potencial zeta de Al_2O_3 a través de mediciones de movilidad electroforética para delinear los mecanismos involucrados en la remoción de los iones fluoruros y arseniatos.

En la adsorción de As (V) y fluoruros por separado sobre Al_2O_3 , los resultados demostraron que el proceso se equilibra en 20 min. Las condiciones de adsorción óptimas para ambos elementos fueron a un pH de 5,5. El equilibrio de adsorción fue descrito con el modelo de la isoterma de Langmuir determinando la capacidad máxima de adsorción, que es para As 301,95 $\mu\text{mol/g Al}_2\text{O}_3$ siendo mayor que para fluoruros la cual es de 242,46 $\mu\text{mol/g Al}_2\text{O}_3$. El pH del punto de carga cero de la alúmina se determinó que es a pH de 9,2. El fluoruro disminuye levemente el potencial zeta a valores de pH menores del pzc mientras que el As(V) disminuye el valor de pzc y hace

más negativa la curva del potencial zeta a pH menores de 11, aún cuando la superficie de alúmina es eléctricamente negativa.

Al determinar la capacidad máxima de adsorción estando presentes los dos elementos, el fluoruro presenta una mayor afinidad a la superficie que As (V), por formación de especies Al-F en la superficie de la alúmina, esto debido al intercambio del fluoruro con grupos OH⁻ en la superficie, mientras que el As (V) parece ser que se adsorbe a través del enlace hidrogeno e interacción electrostática, los cuales son mas débiles que la energía de adsorción para la formación de las especies Al-F.

Con estos resultados se observa que la mayor parte del agua que se surte a la población de la Ciudad de San Luis Potosí, como agua de uso y consumo humano no está dentro de esta clasificación y por su baja calidad no es apta para su consumo. Por otro lado, se propone a la alúmina como un material con un potencial excelente para usarlo como un adsorbente, para la remoción de As y de fluoruros, cuando se encuentran solos o combinados en el agua, el cual es comparable con otros sistemas de remoción.

I. INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) se encuentra en forma natural en rocas sedimentarias y volcánicas, así como en aguas geotermales. Se presenta como impureza en los depósitos mineros en forma de sulfuro de arsénico y arsenopirita, o como arseniato y arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. El As está presente en el agua por disolución natural de minerales de depósitos geológicos, la descarga de efluentes industriales y la sedimentación atmosférica.¹

En México el límite máximo permisible de As en agua para uso y consumo humano establecido en la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994 (NOM-127) es de 0,025 mg/L². En los últimos años, se advierte una tendencia general en países industrializados a reducir los límites máximos permisibles de As en agua de bebida. En Junio del 2001, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América ha establecido un nivel máximo de contaminante para As en agua de beber, requiriendo que los suministros de agua pública reduzcan el arsénico de 0,05 a 0,010 mg/L para el año 2006³, este valor es propuesto también como valor guía por la Organización Mundial de la Salud. Esta situación genera un gran interés en usar métodos de análisis confiables para la cuantificación de As a estas concentraciones y en usar métodos de bajo costo y materiales para remover al arsénico del agua que es utilizada para el consumo humano.

Los efectos de la exposición de As en la salud son: manifestaciones neurológicas, cambio vasculares, diabetes y cáncer (pulmón, hígado, riñón, vejiga y próstata)⁴. En la Ciudad de San Luis Potosí (Cd. SLP) la Comisión Nacional del Agua reporta que la concentración de As en pozos profundos está dentro de lo permitido por la NOM-127.⁵

El agua subterránea al circular a través de material geológico con minerales que contienen flúor, disuelven pequeñas cantidades, constituyendo así el origen de la contaminación natural del agua. En la cuenca de SLP los efectos naturales de

interacción agua-material geológico ocasionan elevadas concentraciones de F^- disuelto en el agua subterránea termal. Se ha detectado que la fuente de F^- se encuentra en las rocas volcánicas fracturadas, por lo que al circular el agua subterránea a través de las fracturas interacciona con su matriz vítrea y con minerales como topacio por lo que el F^- pasa rápidamente a la solución.⁶

En muchas regiones de Sonora, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, y Durango, los niveles de fluoruro en el agua subterránea que se abastece como agua de consumo a la población exceden el límite máximo permisible en la NOM-127 y su presencia se convierte en un problema de salud pública.⁷ Esto implica un potencial de riesgo en la salud humana, ya que la exposición a concentraciones mayores de F^- provoca fluorosis dental, fluorosis esquelética, daño reproductivo y daño neurológico.⁸ Los factores de riesgo son: temperatura ambiente, agua hervida y el uso de agua hervida para la preparación y cocción de los alimentos. Tomando en cuenta la media de temperaturas máximas diarias observadas durante un periodo mínimo de un año en grados centígrados, para San Luis Potosí (periodo 1971-2000) es de $38^{\circ}C$ ⁹, se espera que haya una alta ingesta de agua, por cual de acuerdo al calculo establecido por Gallagan y Vermillion¹⁰, la concentración óptima de fluoruros en el agua para SLP debe ser entre 0,6 – 0,7mg/L.

En la Cd. SLP en el año de 1992, se encontró que la prevalencia y severidad de fluorosis dental en niños (11-13 años) se incrementa conforme lo hace la concentración de fluoruros en el agua. A niveles de F^- en el agua menores a 0,7 mg/L se encontró una prevalencia de 69% de fluorosis dental, esto se puede deber a que los niños pueden tomar agua ocasionalmente de otras fuentes diferentes al área en donde viven, mientras que cuando los niveles de fluoruro en agua son mayores a 2,0 mg/L la prevalencia es del 98%.¹² Este estudio se realizó en 1992 cuando el 82% de los niños tomaban agua de la llave y la utilizaban para la preparación de los alimentos en un 92% .

De Lira y Nieto en 1989 realizaron un estudio de agua en 59 pozos profundos pertenecientes al municipio de San Luis Potosí, en donde encontraron que el 62,82% de los abastecimientos tenían concentraciones de fluoruro mayor a lo óptimo recomendado (0,7ppm-1,0ppm).¹²

Jasso en 1995, analizó 63 pozos, sus resultados muestran que el 52.8% de los pozos estaban fuera de los límites establecidos por la ley general de Salud del año de 1991, que era de 1.5mg/L.¹³ Comisión Nacional del Agua y Servicios de Salud del Estado de San Luis Potosí en el 2002, monitorearon 32 pozos profundos equivalente al 28% del total, donde encontraron que el 94% de las concentraciones de flúor superan el valor de la norma, de estos resultados, el 63% de los pozos presentan concentraciones por encima de 3 mg/L.⁵ Medellín *et al.* en 1993 encontraron una correlación entre el fluoruro y el termalismo del agua ($r^2 = 0.79$) el cual indica un flujo a través de las rocas de origen volcánico.¹⁴

I.1 Técnicas de análisis para arsénico en agua

Debido a que la concentración de As en agua recomendada por la EPA es de 10 µg/L es necesario contar con un método analítico confiable en la medición de estos niveles de cuantificación. Las técnicas utilizadas para el análisis de As en agua son las siguientes: Plasma acoplada inductivamente/Espectrometría de masas (ICP/MS), Plasma acoplada inductivamente/Espectrometría de emisión atómica (ICP/AES), Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito (GFAAS), Espectrometría de absorción atómica por generador de hidruros (GHAAS)¹⁵.

Generador de hidruros combinado con espectrometría de fluorescencia atómica (HG/AFS) es una nueva técnica que reduce las interferencias de la matriz de la muestra por la generación del hidruro, ya que generalmente incrementa la sensibilidad de detección. Esta técnica ha sido utilizada por tener la sensibilidad necesaria para los análisis de arsénico en especies oceánicas, agua costera,¹⁶ cabello humano y muestras biológicas, obteniéndose una excelente linealidad.^{17,18}

Gómez-Ariza *et al* en 1999 en su estudio, comparan la técnica de ICP-MS y AFS para la especiación de As en muestras ambientales, en las cuales evaluaron el límite de detección, rango lineal, repetibilidad y reproducibilidad. Los autores encontraron que ambas técnicas tienen un límite de detección de 0,1 a 0,3 µg As/L y la precisión <10 % de coeficiente de variación; los rangos lineales obtenidos cubren varias órdenes de magnitud. Una mejor precisión y reproducibilidad fueron obtenidos con AFS en comparación con ICP-MS, atribuyéndose al bajo número de parámetros involucrados con el detector de AFS.¹⁹ Además AFS tiene como beneficios un menor costo y corto tiempo de análisis. Por lo tanto AFS, es una técnica adecuada para la determinación de As en muestras ambientales.

I.2 Agua subterránea perteneciente al acuífero de San Luis

El valle en el que se encuentra SLP, está incluido en una cuenca endorreica que contiene un sistema acuífero compuesto por material volcánico y sedimentario que incluye un acuífero somero en donde el agua que circula por material granular y un acuífero profundo que circula por material granular, flujos lávicos tobas e ignimbritas, en una parte del área se han identificado que están separados por una capa de material granular de baja permeabilidad. Para el abastecimiento público-urbano, doméstico e industrial se extrae agua del acuífero profundo, donde más del 70% de los pozos captan agua que en la descarga tiene una temperatura mayor a 30°C.²⁰

Las principales unidades volcánicas por las que circula el agua de jerarquía regional, son rocas ígneas lávicas, ignimbritas con soldamiento variable y tobas. Su composición varía de félsica (Riolita San Miguelito, Ignimbrita Cantera, Riolita Panalillo) a intermedia (Latita Portezuelo). El análisis conjunto de la temperatura y la concentración de Li⁺ confirma que el agua termal (entre 33,8 a 40,4°C) puede asociarse con un sistema de flujo regional que ha circulado por las rocas volcánicas riolíticas fracturadas, en el caso de las aguas de San Luis Potosí. El agua subterránea (23,3 a 26,8°C) de menor temperatura tiene bajas concentraciones de Li⁺ y se asocia con la porción del acuífero correspondiente al material granular de relleno. El estudio de las características físicas y

químicas del agua subterránea sugiere que existe un sistema de flujo regional, que circula preferentemente por las rocas volcánicas fracturadas que afloran en la parte alta, y relativamente plana, ubicada al occidente de la Sierra de San Miguelito ²⁰

En el caso de ciertos elementos traza como Zn, Li, F, B y Fe, su concentración natural en aguas termales es proporcional a su salinidad, en el agua subterránea (acuífero profundo) que abastece las necesidades de SLP, la totalidad del fluoruro (0,3 a 3,6 mg/L) se deriva de la interacción agua-roca. ^{20, 21, 22}

I.3 Remoción de arsénico y fluoruros en agua

Dentro de las tecnologías de tratamiento de agua que han sido desarrolladas para la remoción de fluoruros y As se encuentran las siguientes: adsorción-coprecipitación usando sales de aluminio, adsorción con alúmina activada, osmosis inversa, coagulación modificada/filtración y electrodiálisis. ¹⁵

La alúmina activada es un adsorbente que se aplica para la remoción de arsénico de soluciones acuosas. Una de las desventajas de este adsorbente, es que tiene bajas capacidades de adsorción así como lenta cinética de adsorción. Para remover As y F⁻ hay diversos requerimientos que deben ser conocidos como el que sea seguro, de fácil operación con un nivel máximo de contaminante, alta eficiencia y bajo costo.

Los óxidos de aluminio e hidróxidos exhiben anforetismo dependiendo del pH de la carga de la superficie. El punto de carga cero (pzc) de la alúmina se encuentra a un pH alrededor de 9 ²³. A pH mayor del pzc la alúmina tiene una carga eléctrica de superficie negativa, y a bajos pH del pzc, la carga eléctrica de la superficie es positiva. La densidad de la carga de la superficie de la alúmina depende principalmente del pH y de la fuerza iónica. El punto de carga cero es el valor del pH al cual la fuerza iónica no afecta la densidad de la carga de la superficie. ²⁴ El conocimiento del pzc es importante porque es posible definir mecanismos de adsorción de iones con base a como modifican estos iones el valor de pzc.

La remoción de fluoruros en soluciones acuosas ha sido investigada usando $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ a través de estudios de electrocinética y adsorción, en los cuales se encontró que la máxima remoción está entre un pH 5 y 6. El punto de carga cero ocurre a un pH de 9,2, el potencial zeta de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ en la presencia de fluoruros cambia los signos hacia valores de pH más ácidos en comparación con el pzc, indicando adsorción específica de fluoruros. La adsorción del fluoruro sobre alúmina bajo condiciones ácidas se debe principalmente a un reemplazo de grupos OH^- de la superficie por F^- ²⁴. Cuando la temperatura incrementa de 10 a 40 °C el pH al cual ocurre el pzc disminuye, indicando la desorción del protón de la superficie de la alúmina. La adsorción del ion fluoruro sigue la isoterma de adsorción de Langmuir. ²⁵

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Ciudad de San Luis Potosí el agua que se utiliza para uso y consumo humano proviene básicamente del agua subterránea explotada (mínimo un 90%) del Valle de San Luis Potosí, y lo restante del agua de la Potabilizadora los Filtros que proviene de la presa San José. El agua subterránea que es utilizada para uso y consumo humano tiene problemas de calidad debido a las altas concentraciones de fluoruros, lo cual se ha demostrado en estudios anteriores, en los que la concentración de fluoruros^{12,13,14} sobrepasa el límite máximo permisible por la NOM-127 de 1.5 mg/L. La exposición se comprueba por la alta incidencia (98%) de la población infantil que en 1992 presentó algún grado de fluorosis dental¹¹.

Se ha encontrado que en lugares donde el agua contiene altas concentraciones de fluoruros, el arsénico puede estar presente, por lo cual también es necesario determinar la concentración de As en el agua de los pozos. El último estudio en el que se analizó As y fluoruros en agua, cubrió solo un 28 % (32) de los pozos y para poder realizar cualquier acción es indispensable conocer la situación actual en la totalidad de los pozos.

Además, se requiere de una solución para disminuir la exposición a fluoruros y arsénico, por lo cual es necesario probar un sistema adecuado de tratamiento que disminuya la concentración de fluoruros y arsénico en el agua por debajo de los límites permitidos (para arsénico 10 µg/L y fluoruros 1.5 mg/L).

II.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de arsénico y fluoruros en el agua de los pozos profundos de la Ciudad de San Luis Potosí, así como los mecanismos de adsorción de estos elementos en la interfase alúmina activada sobre solución acuosa.

II.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el método de análisis para cuantificar arsénico por Espectrometría de Fluorescencia Atómica. Evaluar el método analítico para cuantificar fluoruros en agua subterránea.
- Determinar la concentración de As total y fluoruros, en el agua de los pozos profundos de la Ciudad de San Luis Potosí que se utiliza para el abastecimiento de la población.
- Determinar la calidad del agua para consumo, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos.
- Determinar los mecanismos de adsorción de fluoruros y arsénico en la interfase de Al_2O_3 sobre solución acuosa y la afinidad de Al_2O_3 cuando los dos elementos se encuentran en la solución.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1 Muestreo

Se realizó un muestreo en Julio-Agosto de 2004 de agua subterránea que se capta del acuífero del Valle de San Luis, en los 126 pozos profundos que actualmente se encuentran en operación, y que se utilizan para uso público-urbano, (Fig 1). De estos, 91 pozos corresponden a la Ciudad de San Luis Potosí, 28 a Soledad de Graciano Sánchez, y uno en cada una de las comunidades de Bocas, La Pila, El Jaralito, Cerro de San Pedro, Cándido Navarro, El Huizache y Pozos. Se tomaron 2 muestras de agua superficial en la Planta los Filtros, una que contiene la mezcla de zona termal, el pozo de Lomas II y Planta los Filtros y otra muestra que pertenece únicamente a la planta en donde el agua proviene de la presa San José.

El muestreo de agua se realizó de acuerdo a la NOM-014-SSA1-1993,²⁶ se utilizaron envases de polipropileno con tapones del mismo material de boca ancha con capacidad de 1L previamente enjuagados con agua desionizada. En campo se tomó la temperatura ambiente, temperatura del agua, pH del agua y coordenadas del aprovechamiento. En el laboratorio la muestra se preservó en la oscuridad en refrigeración a una temperatura de 4°C de acuerdo al método 1060 de Standard Methods.²⁷

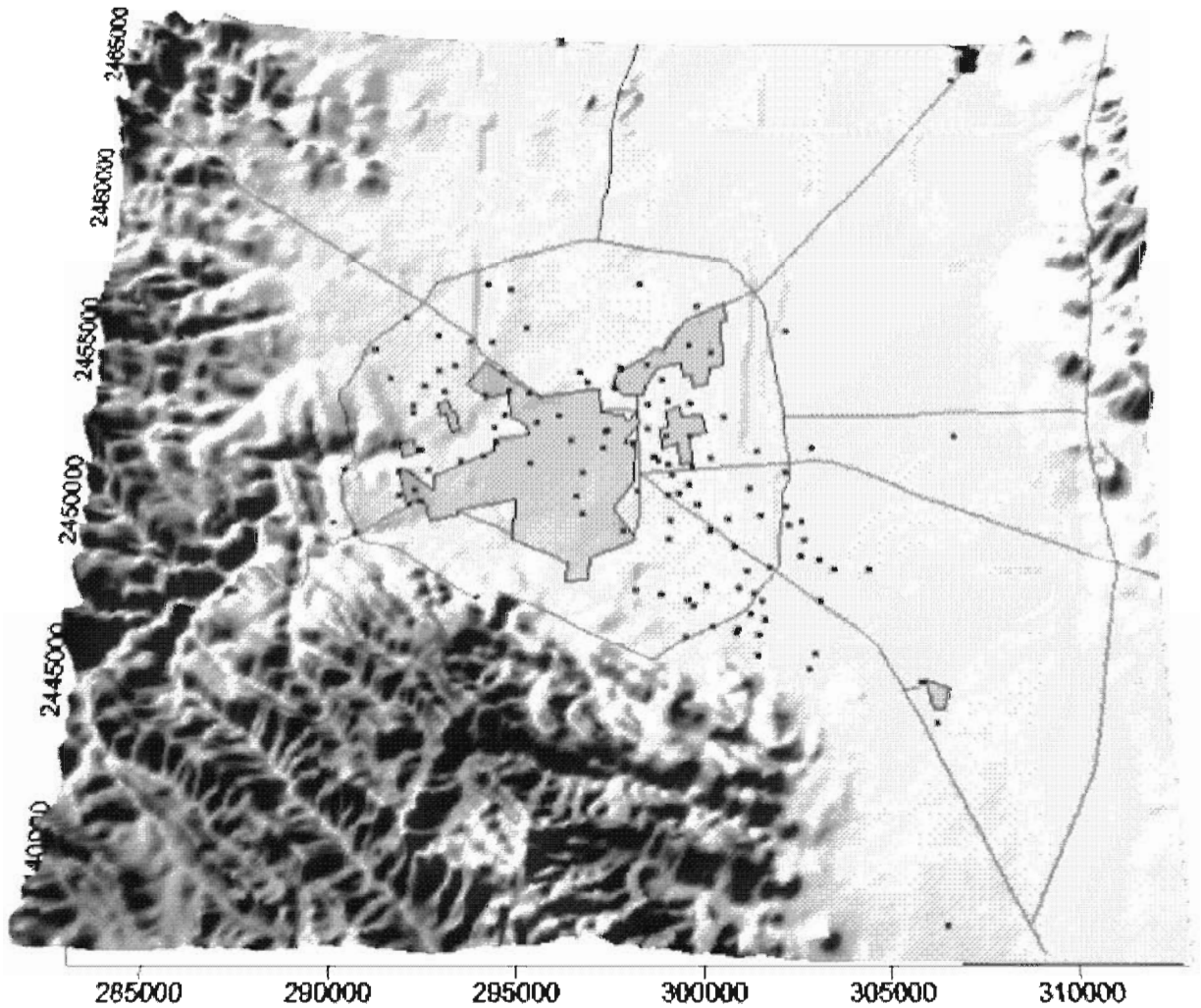


Figura 1. Localización de los aprovechamientos muestreados en la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.

— : Vías de comunicación terrestre.

III.2 Reactivos.

- Estándar de As, $1000 \pm 3 \mu\text{g/mL}$ (High-Purity # 317815 Charleston, SC)
- Ioduro de potasio KI (SIGMA St. Louis MO, USA)
- Ácido ascórbico $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (SIGMA St. Louis MO, USA)
- HCl (J.T. Baker Xalostoc Edo. de Méx. México)
- Borohidruro de sodio BH_4Na (Fluka Steinheim, Switzerland)
- NaOH (J.T. Baker Xalostoc Edo. De Méx. México)
- Argón de ultra alta pureza (Praxair)
- Fluoruro de sodio, NaF (Riedel-de Haen, Seelze)
- Ácido acético glacial CH_3COOH (J.T. Baker Xalostoc Edo. de Méx. México)
- Cloruro de sodio NaCl (J.T. Baker Xalostoc Edo. de Méx. México)
- Ácido tetra-acético trans -1-2 –Diamino ciclohexano CDTA (SIGMA St. Louis MO, USA)
- Materiales de referencia certificados de CIDETEC: MRMM0105022303, MRMM0205022303, MRMM0305022303, MRMM0405022303, MRMM0505022303 Querétaro. México
- Material de referencia de fluoruros NIST #3183 , Acculon New Haven, CT USA
- Estándar certificado de fluoruros High Purity #IC-Fluoride Charleston SC USA
- Material de referencia de fluoruros CHNACIA NCS ZC 76304 Beijing China
- Arseniato diácido de potasio anhidro, AsH_2KO_4 (Fluka Steinheim, Switzerland)
- HNO_3 (J.T. Baker Xalostoc Edo. De Méx. México)
- Agua desionizada (resistividad $17,4 \text{ M}\Omega/\text{cm}$ a 25°C).
- NaNO_3 (Caledon, Georgetown, Ont, Canadá)

III.3 Cuantificación de arsénico

La determinación de As total en agua subterránea se realizó por la técnica de Espectrofotometría de Fluorescencia Atómica por Generador de Hidruros (HG/AFS), utilizando el equipo PSA Analytical 10.055 Millennium Excalibur System. Como fuente de radiación se utilizó una lámpara de cátodo hueco de descarga de arsénico Phototron Lamps. Las especies volátiles y el hidrógeno procedentes del reactor fueron

transportadas por un flujo de argón, la flama es producida por hidrógeno-aire. La medición se realizó a una longitud de onda de 193,7 nm, y el modo de medición fue de altura de pico.

Las soluciones patrón de arsénico de una concentración de 1000 µg/L se prepararon por dilución con agua desionizada a partir de un estándar de As. Se preparó diariamente la solución patrón y los estándares de la curva de calibración. Se utilizó una solución de KI al 50% m/v por disolución en ácido ascórbico al 10% m/v. Los estándares de la curva de calibración y las muestras fueron acidificados al 30% utilizando HCl. Se preparó una solución de borohidruro de sodio al 0,7 % m/V por disolución en NaOH 0,1M.

El pretratamiento de la muestras de agua subterránea se describe a continuación: Para generar el hidruro volátil, el Arsénico total es reducido de As (V) a As (III) con una solución de yoduro de potasio al 50 % - ácido ascórbico al 10 % para la determinación de As total. La atomización se lleva a cabo por la generación de un hidruro, el cual se produce por la acción de un reductor como el borohidruro de sodio al reaccionar con la muestra que ha sido acidificada al 30%. Las muestras de agua se prepararon directamente en tubos de 50 mL, conteniendo 12,5 mL de muestra, 7,5 mL de HCl concentrado, 500 µL de solución de KI-ácido ascórbico y 4,5 mL de agua desionizada para completar un volumen final de 25 mL. Las lecturas de cada muestra se realizaron por triplicado.

El instrumento progresa a través de un ciclo involucrando tres etapas: en la primera de retraso (T_1) corresponde al tiempo en el que la muestra llegue a la válvula de intercambio y se establezca un valor de línea base, el de análisis (T_2) es el tiempo total en el que la muestra esta siendo analizada y la última etapa de memoria (T_3) es el tiempo para que la señal de la muestra decaiga al valor de la línea base.

III.4 Cuantificación de fluoruros

Los fluoruros fueron determinados potenciométricamente ^{28,29} usando un electrodo selectivo de ión específico, en conjunción con un electrodo de referencia de calomel Orion 96 - 09 y un potenciómetro Beckman Φ 350 que cuenta con una escala expandida en milivoltios.

El estándar patrón se preparó a partir de la sal de NaF 100 mg F⁻ /L, se utilizó una solución amortiguadora TISAB, que se preparó en un vaso de precipitado de 1L conteniendo 500 mL de agua desionizada y añadiendo 57 mL de CH₃COOH, 58 g de NaCl y 4 g de CDTA. Con agitación se le añade lentamente NaOH 6N (aproximadamente 125 mL) hasta un pH entre 5,3 y 5,5, se transfirió a un matraz volumétrico de 1L y se aforó con agua desionizada.

Las muestras se prepararon en vasos de polipropileno de 50 mL, tomando 5 mL de la solución de TISAB y 5 mL de la muestras, manteniendo la agitación se sumerge el electrodo en la solución y se tomó la lectura en mV después de 2 minutos para cada una de las muestras. La medición de los estándares y las muestras de agua se realizó por triplicado.

III.5 Validación de los métodos analíticos

Se realizó la validación del método analítico para verificar el desempeño de los parámetros de calidad. Los parámetros de límite de detección, límite de cuantificación, sensibilidad y linealidad se evaluaron construyendo 6 curvas de calibración experimentales, utilizando 6 estándares y el blanco en un intervalo de concentración de 1-70 μ g/L y de 100 a 400 μ g/L para As y para fluoruros de 0,2 – 5 mg/L.

La precisión se evaluó como repetibilidad y precisión intermedia. La primera con la realización de 6 curvas de calibración por triplicado con 6 estándares, realizadas bajo las mismas condiciones de trabajo, mismo analista y mismo día. La precisión

intermedia se realizó con 6 curvas de calibración por triplicado con diferente analista y en diferente día.

Para determinar la exactitud del método de As se utilizaron materiales de referencia certificados de CIDETEC. En el caso de fluoruros se utilizaron los siguientes estándares certificados: NIST #3183, High Purity, y CHNACIA, los cuales se analizaron como muestras en la curva de calibración.

III.6 Análisis Físicoquímico del agua.

Las muestras de agua subterránea fueron transportadas al laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina, UASLP para la determinación de F⁻ y As y para la determinación de Na⁺, Ca⁺², K⁺, CO₃⁻² HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁻², conductividad eléctrica, color aparente, sólidos totales, alcalinidad, y dureza total, se llevaron al laboratorio de Calidad del Agua de la Gerencia Estatal en San Luis Potosí, Área Técnica de Comisión Nacional del Agua. Las determinaciones del laboratorio se realizaron de acuerdo a los siguientes métodos analíticos.

Tabla 1. Métodos utilizados en la determinación de parámetros físicoquímicos.

Parámetro	Método de prueba	Método Analítico	Unidades
Conductividad eléctrica	NMX-AA-093-SCFI-2001	Electrométrico	µmhos/cm.
Potencial de hidrógeno	NMX-AA-008-SCFI-2000	Electrométrico	u. de pH
Color aparente	NMX-AA-045-SCFI-2001	Comparación visual	Pt-Co
Sólidos totales	NMX-AA-034-SCFI-2001	Gravimétrico	mg/L
Alcalinidad fenofataleína	NMX-AA-036-SCFI-2001	Volumétrico	mg/L CaCO ₃

Alcalinidad total	NMX-AA-036-SCFI-2001	Volumétrico	mg/L CaCO ₃
Carbonatos	NMX-AA-036-SCFI-2001	Volumétrico	mg/L
Bicarbonatos	NMX-AA-036-SCFI-2001	Volumétrico	mg/L
Durezas	NMX-AA-072-SCFI-2001	Volumétrico EDTA	mg/L CaCO ₃
Sodio y Potasio		Flamométrico	mg/L
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001	Argentométrico	mg/L
Sulfatos	NMX-AA-074-SCFI-2001	Turbidimétrico	mg/L
Fluoruros	NMX-AA-077-SCFI-2001 4500-C, Standard Methods	Potenciométrico	mg/L
Arsénico total		Espectrométrico	µg/L

III.7 Remoción de arsénico (V) y fluoruros en soluciones acuosas por adsorción con alúmina activada

Se utilizó un material patentado ABA2000AS el cual es alúmina activada (Al₂O₃) de la compañía Selecto Scientific, EUA, formulado para la remoción de Arsénico (V). Tiene una alta superficie de área mayor a 280 m²/g, tamaño del poro 0,55 (cm³/g), tamaño de malla 28 x 40 y volumen 47 (lbs/ft³) lo que le permite mayor eficiencia para la remoción de As (V), tamaño de partícula uniforme, bajo contenido de sílice y alta pureza. Este material también remueve As (III) si es preoxidado a As (V). Este producto puede ser usado en varios productos de filtración, y puede ser empacado en largas columnas para aplicaciones de alto volumen incluyendo plantas de tratamiento para agua de beber y plantas de tratamiento de desechos.

III.7.1 Preparación de las soluciones

Se preparó la solución patrón de As a partir de la sal de KH_2AsO_4 y para fluoruros la sal de NaF. Las soluciones de prueba para ambos elementos fueron preparadas con una concentración de 1000 mg/L, diluyendo 0,24 g de AsH_2KO_4 y 0,221g de NaF ambas se disolvieron en agua desionizada en un matraz de 1000 mL. Antes de mezclar con el adsorbente, el pH de cada solución fue ajustado al valor requerido con HNO_3 0,1M o NaOH 0,1 M. Todas las soluciones y suspensiones fueron preparadas con agua desionizada.

III.7.2 Estudios de adsorción

Los experimentos fueron llevados a cabo en matraces Erlenmeyer de 125 mL. Una cantidad conocida de alumina (1 g) fue puesta en contacto con 100 mL de solución acuosa con concentraciones conocidas de As o F^- a temperatura de 25 °C y pH deseado, para las pruebas de fluoruros se utilizó material de polipropileno. Los matraces fueron agitados en orbitales con una velocidad de 250 revoluciones por minuto por un periodo de 20 min, el cual es el tiempo óptimo para el equilibrio de adsorción (preexaminado). Después de los 20 min., el pH de la solución fue tomado y registrado como el pH final. La concentración de As total y fluoruros fue determinada en las muestras antes de mezclarse con la alúmina.

La alúmina fue separada del medio con filtración en vacío (MILLIPORE 0,22 μm). La cantidad adsorbida fue determinada por diferencia entre la concentración del metal inicial y la final después de que el equilibrio fue alcanzado. Cada experimento se repitió tres veces y los resultados están dados como un promedio.

La determinación de As total se realizó utilizando un equipo de PSA Analytical 10.055 con generador de hidruros. La calibración se llevó a cabo utilizando diluciones de un estándar comercial certificado de As de una concentración de 1g/L. Para la generación del hidruro se empleo borohidruro de sodio 0.7 % (preparado en NaOH 0.1 M), se utilizaron dos curvas de calibración: una de 1- 40 $\mu\text{g/L}$ y la curva de 100 – 400 $\mu\text{g/L}$ y

los análisis de fluoruros se realizaron con un electrodo selectivo de ión específico para fluoruro, Orion 96 – 09, utilizando curvas de calibración de 1 – 20 mg/L.

Para determinar el efecto del tiempo de contacto para As se utilizaron 3 soluciones de concentraciones de 1000, 500 y 100 µg/L y para fluoruros soluciones de 100, 50 y 10 mg/L. En la determinación del efecto del pH inicial se utilizaron concentraciones de 500 y 100 µg/L para arsénico y de 12 y 4 mg/L de concentración inicial de fluoruros, con un gramo del adsorbente.

III.7.3 Determinación del potencial zeta

Previamente la alúmina fue triturada en un molino de bolas de ágata por 20 minutos para obtener un tamaño de partícula fina. Las mediciones de electroforesis fueron preparadas como se describe a continuación: una cantidad medida de alúmina (200 mg) fue añadida a soluciones de 100 mL de NaNO₃ 0,01 M y 0,001M utilizado como electrolito de soporte para mantener la fuerza iónica. Las suspensiones fueron agitadas por 20 min., se ajustó el pH con soluciones de NaOH 0,1M y HNO₃ 0,1 M a una temperatura de 20°C. El mismo procedimiento fue utilizado para los estudios en presencia de los iones fluoruros o arseniatos. Después del tiempo de agitación la suspensión fue transferida a un vaso con agitación para ajustar el pH al valor deseado, la suspensión fue entonces acondicionada por 20 min., y el pH fue registrado y reportado como pH final. Después de acondicionar, la suspensión fue inmediatamente transferida a la celda de electroforesis de una unidad fabricada por Zeta Meter, Inc. Se localizaron 10 partículas diferentes para determinar su movilidad electroforética, que es convertida a potencial Zeta.

Se determinó el potencial zeta en presencia de fluoruros o de As (V). Para el caso de fluoruros se utilizó una solución de 12 mg/L y para arsénico 10 mg/L ambos conteniendo NaNO₃ 0,01M, y 200 mg de Al₂O₃, manteniendo la suspensión en agitación por 20 min. Después del tiempo de contacto se dejó reposar la solución por 15 min. Se utilizó el sobrenadante para realizar las lecturas de movilidad electroforética, el resto de

la solución se filtró en bomba al vacío, y se determinó la concentración final de fluoruros y arsénico en la solución.

III.8 Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se evaluó la normalidad de los datos para las 19 variables por medio de estadísticas descriptivas con el programa de STATISTICA y SPSS en donde se obtuvieron los valores de: media aritmética, mediana, mínimo, máximo, desviación estándar, sesgo y kurtosis. Se realizó la evaluación gráfica por medio de los histogramas, las pruebas de bandas de ajuste Kolmogorov – Smirnov.

Se utilizó el programa Surfer v.8 para ubicar los pozos en mapas de la zona de estudio, el programa de Aquachem v.4 para obtener el diagrama de Piper y los diagramas de Stiff de cada muestra así como el programa de PRHEEQC para el cálculo de los índices de saturación.

Los datos de las isothermas de adsorción se analizaron por el modelo de Langmuir en donde se obtuvieron los valores de las constantes con el programa STATISTICA v.6 por estimaciones no lineales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 Calidad en las mediciones analíticas

Se optimizaron las condiciones de trabajo para el análisis de Arsénico en agua por la técnica de Espectrometría de Fluorescencia Atómica por Generador de Hidruros (HG-AFS), se encontró que a un mayor tiempo de análisis la sensibilidad aumenta, por lo cual se emplearon dos ciclos de análisis (Tabla 2). Las características del desempeño analítico en las determinaciones de arsénico total y fluoruros se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Ciclos empleados en el análisis de arsénico total por HG-AFS.

Ciclo	Tiempo, s			Vol. muestra ml	Sensibilidad	Intervalo Lineal, µg/L
	Retraso	Análisis	Memoria			
1	10	5	40	3	1,59	100 - 400
2	15	30	30	7,5	4,13	1 - 70

Se demostró la exactitud de los métodos, en los cuales se determinó la concentración de As y fluoruros en materiales de referencia, obteniéndose para fluoruros una exactitud de 97,58% (permitida 97-103%). Las concentraciones determinadas de As total en los materiales de referencia por el método empleado usando una técnica de calibración estándar acuosa simple tuvieron concordancia con los valores de los certificados.

Respecto a la precisión, en la repetibilidad se obtuvo un coeficiente de variación de 9,94 % (permitido $\leq 36\%$) para As y para fluoruros 1,61% ($\leq 5\%$). En la precisión intermedia para As se obtuvo un coeficiente de variación (CV) de 15,65% ($\leq 21\%$)³⁰ y para fluoruros un CV 4,30% (permitido 10%)³⁰. En todos los casos los CV obtenidos en los datos experimentales es menor al nivel de aceptación. En las curvas de

calibración se encontró linealidad en dos intervalos de trabajo: 1 a 70 µg/L y 100 a 400 µg/L para As (anexo I).

Tabla 3. Parámetros de calidad en la validación de los métodos analíticos.

Parámetro	Arsénico (GH-AFS)	Fluoruros (ESIE)
Límite de detección	0,44 µg/L	0,010 mg/L
Límite de cuantificación	1,01 µg/L	0,060 mg/L
Sensibilidad	6,58 ± 0,30	-56,82 ± 1,56
Coefficiente de determinación	0,9989	r ² = 0,9998
Pendiente ± intervalo de confianza t(95%, n-2)	6,588 ± 0,30	-56,83 ± 1,56
Ordenada al origen ± intervalo de confianza t(95%, n-2))	6,641 ± 10,72	- 0,33 ± 0,74
Repetibilidad	9.94 %	1.61%
Reproducibilidad	15.65 %	4.3 %
Exactitud	92 – 104%	97.58 %

Los resultados de las características analíticas de método HG-AFS (límite de detección y cuantificación, precisión y exactitud) son comparables con otros obtenidos en investigaciones previas³¹. Las ventajas de este sistema son su simplicidad y bajo costo de operación. Los métodos empleados pueden ser aplicados para la determinación de fluoruros y arsénico total en muestras de agua para uso y consumo humano.

IV.2 Análisis estadístico de los datos

Se evaluó la normalidad en las 19 variables, de acuerdo a los resultados obtenidos las variables: temperatura, pH y sodio son las únicas que presentan una distribución normal, debido a esto se utilizó la prueba no paramétrica de Spearman para el análisis de correlación.

IV.3 Fluoruros

Las concentraciones de fluoruros se encuentran en el rango de 0,35 – 4,16 mg/L con una media de 2,3 mg/L y límites de confianza (LC) de $\pm 0,02$ a 0,05. En la Ciudad de San Luis Potosí, el **71,43 %** del agua subterránea de los pozos, excede de **1,5 mg F⁻/L** que establece la NOM-127, con un intervalo de 0,35 - 4,16 mg/L, y el **84,62% son mayores a 0,7 mg/L**, este último valor es el límite recomendado de acuerdo a la temperatura ambiente de la cual depende el consumo de agua de la población.

Para el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, el 35,71 % de las muestras lo exceden con un intervalo de concentración de 0,24 a 3,07 mg/L (LC = $\pm 0,02$ - 0,07), y el 53,57% excede de 0,7 mg/L. Las zonas donde se encuentra mayor concentración de fluoruros son al suroeste, donde se encuentran las colonias: Lomas, Los Filtros, Universitaria, Halcones. Al este con las colonias Jardines del Valle, y San Luis I; al sureste donde se localiza la zona termal, la zona industrial San Luis, con algunas colonias como: Dalias, Simón Díaz, El Aguaje, y Salk; al oeste y noroeste, siendo el pozo de Muñoz ubicado en la calle de Muñoz esquina con García Diego el que presenta la mayor concentración en fluoruros de 4,16 mg/L, siguiendo el de Valle de Santiago (4,12 mg/L) y Halcones (4.02 mg/L. (Fig. 2). En el estudio de Grimaldo (1992)¹¹ se observó una alta prevalencia de fluorosis dental aún en las zonas de menor

concentración de fluoruros en agua de grifo, debido a que la población puede tomar agua de otras fuentes diferentes a donde viven, de esta manera con los resultados obtenidos en este estudio se puede asumir que toda la Ciudad de San Luis Potosí es zona de riesgo por la movilidad que pueda tener la población. Actualmente se ha estimado que un 90% la población toma agua purificada.

Se encontró una correlación positiva entre la temperatura de los pozos con la concentración de fluoruros ($\rho = 0,737$, $P < 0,001$) y arsénico ($\rho = 0,564$, $P < 0,001$) (Fig. 4). Para las muestras de la zona conurbada solo dos muestras exceden el límite: La Pila II con 2,07 mg/L y Pozos con 2,69 mg/L. Las muestras tomadas de la planta los filtros presentan una concentración de 0,42 mg/L ($\pm 0,048$).

Se determinó el estado de equilibrio de agua-acuífero con el mineral de fluorita CaF_2 , calculando el índice de saturación SI , los resultados muestran que un 69,15% de las aguas subterráneas presentan un valor $< - 0,52$ en SI , lo cual indica que hay subsaturación en el agua subterránea con respecto a este mineral y un 30,84% de las muestras se encuentran en equilibrio ($-0,52 < SI < 0,52$).

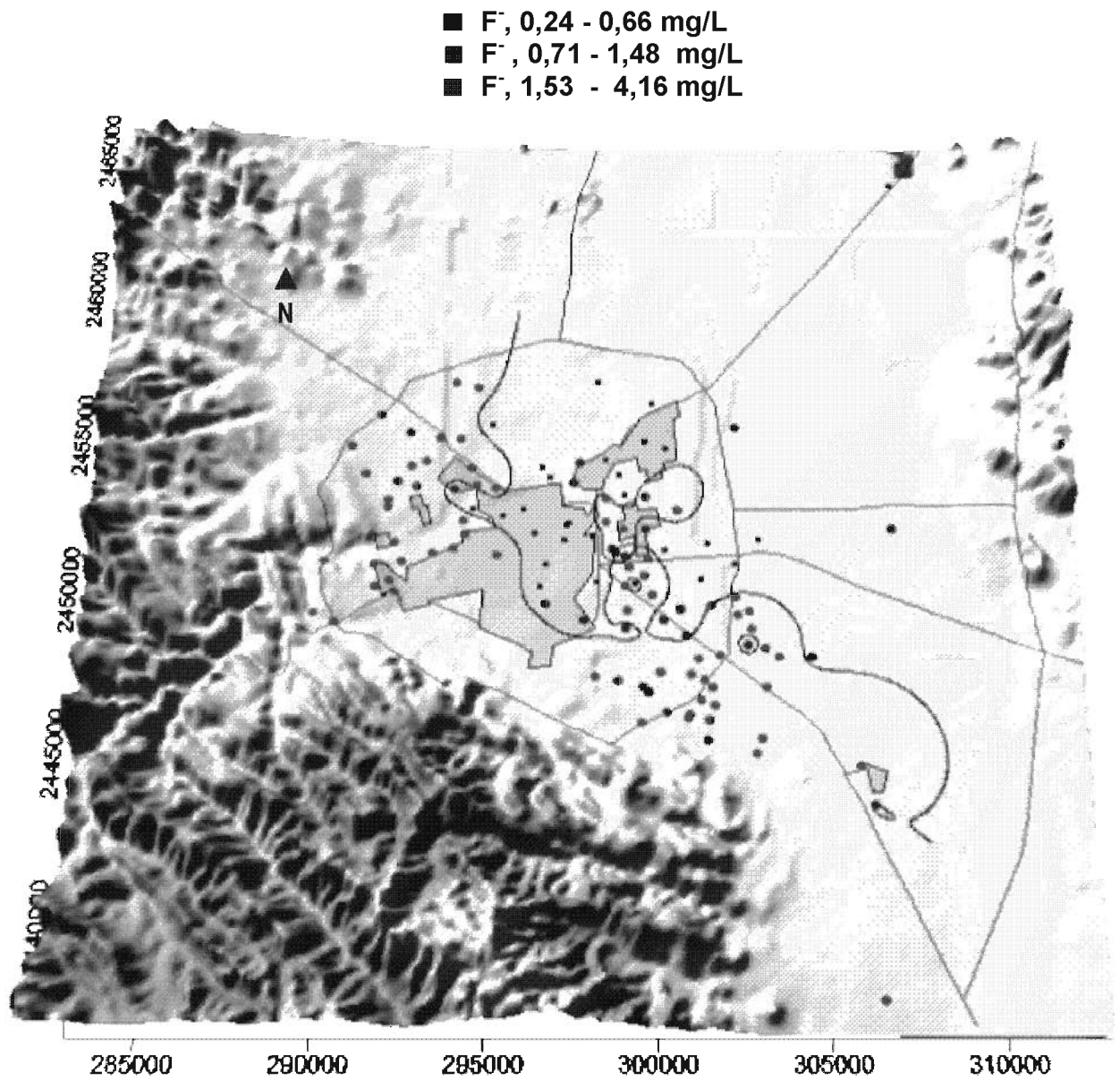


Figura 2. Ubicación de la concentración de fluoruros en el agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.

— Vías de comunicación terrestre.

~ Línea de isoconcentración para 1.5 mg F⁻/L.

IV.4 Arsénico

Las concentraciones de arsénico total en el agua subterránea variaron desde 1,75 – 14,44 $\mu\text{g/L}$ con una media de 8,64 $\mu\text{g/L}$. De las 126 muestras colectadas en la Ciudad de San Luis Potosí con un rango de 1,75 – 14,4 $\mu\text{g/L}$ (LC = 0,38 - 2,21 $\mu\text{g/L}$), el 58,24 % excede el valor guía de la OMS de 10 $\mu\text{g/L}$ y el 25 % lo excede en Soledad de Graciano Sánchez con un intervalo de concentración de 2,54 - 13,68 $\mu\text{g/L}$ (LC = 0.53- 2.25 $\mu\text{g/L}$), ninguna de las muestras excede el límite máximo permisible nacional para México de 25 $\mu\text{g/L}$. (NOM-127). De las 8 muestras tomadas del área conurbada solo las Delegaciones de Pozos, Cándido Navarro y el Jaralito contienen niveles de As por arriba del valor guía de OMS (intervalo de 10,19-14,44 $\mu\text{g/L}$). Para las muestras de la planta los filtros la concentración encontrada es menor a 1 $\mu\text{g/L}$. Las zonas en donde se localizan los pozos de mayor concentración de As total mayores a 10 $\mu\text{g/L}$ son al suroeste, sureste, oeste y algunos pozos del noreste (Fig. 3). En el anexo II se muestran las concentraciones de fluoruros, arsénico y las coordenadas para cada uno de los aprovechamientos de agua.

La concentración de As disuelto muestra correlación positiva con alcalinidad total ($\rho=0,538$, $P<0,001$). Altas correlaciones también son notables entre As total y fluoruros ($\rho=0,747$, $P<0,001$), y As total con temperatura ($\rho=0,564$, $P<0,001$) (Figura 4).

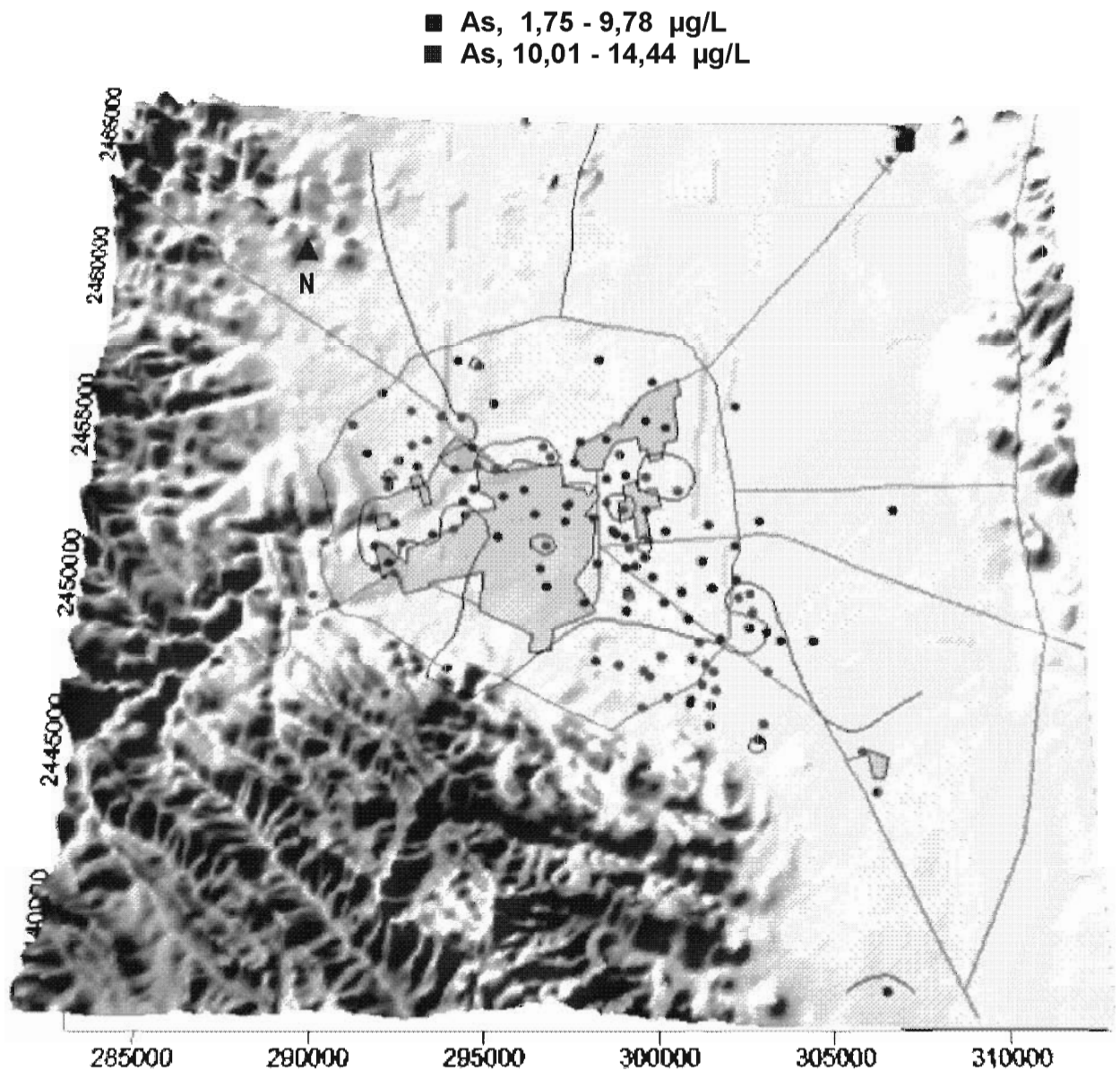
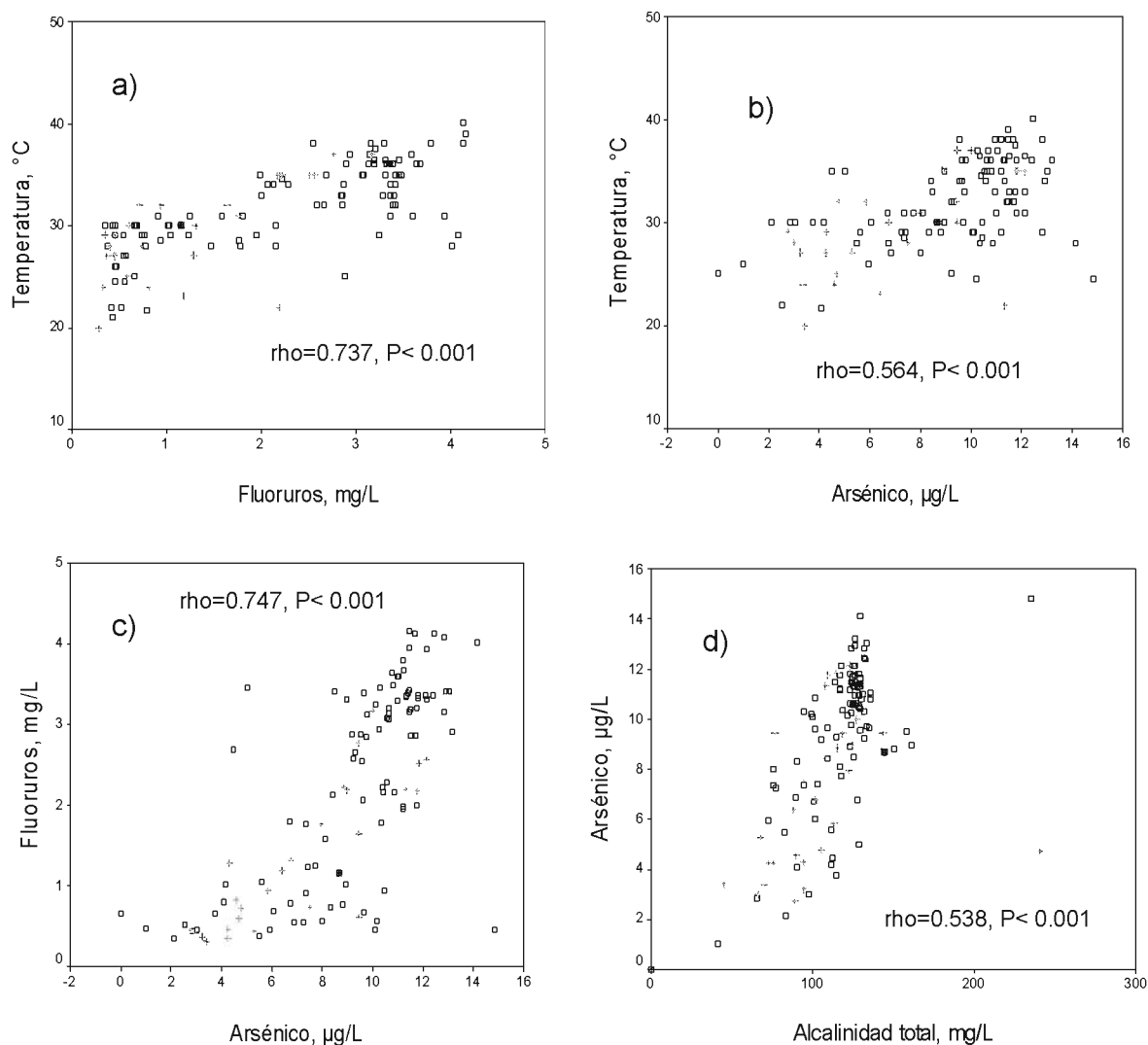


Figura 3. Ubicación de la concentración de As total en el agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.

— Vías de comunicación terrestre.

~ Línea de isoconcentración para 10 µg As/L.



L Cd. San Luis Potosí
 J Soledad de Graciano Sánchez
 C Cerro de San Pedro

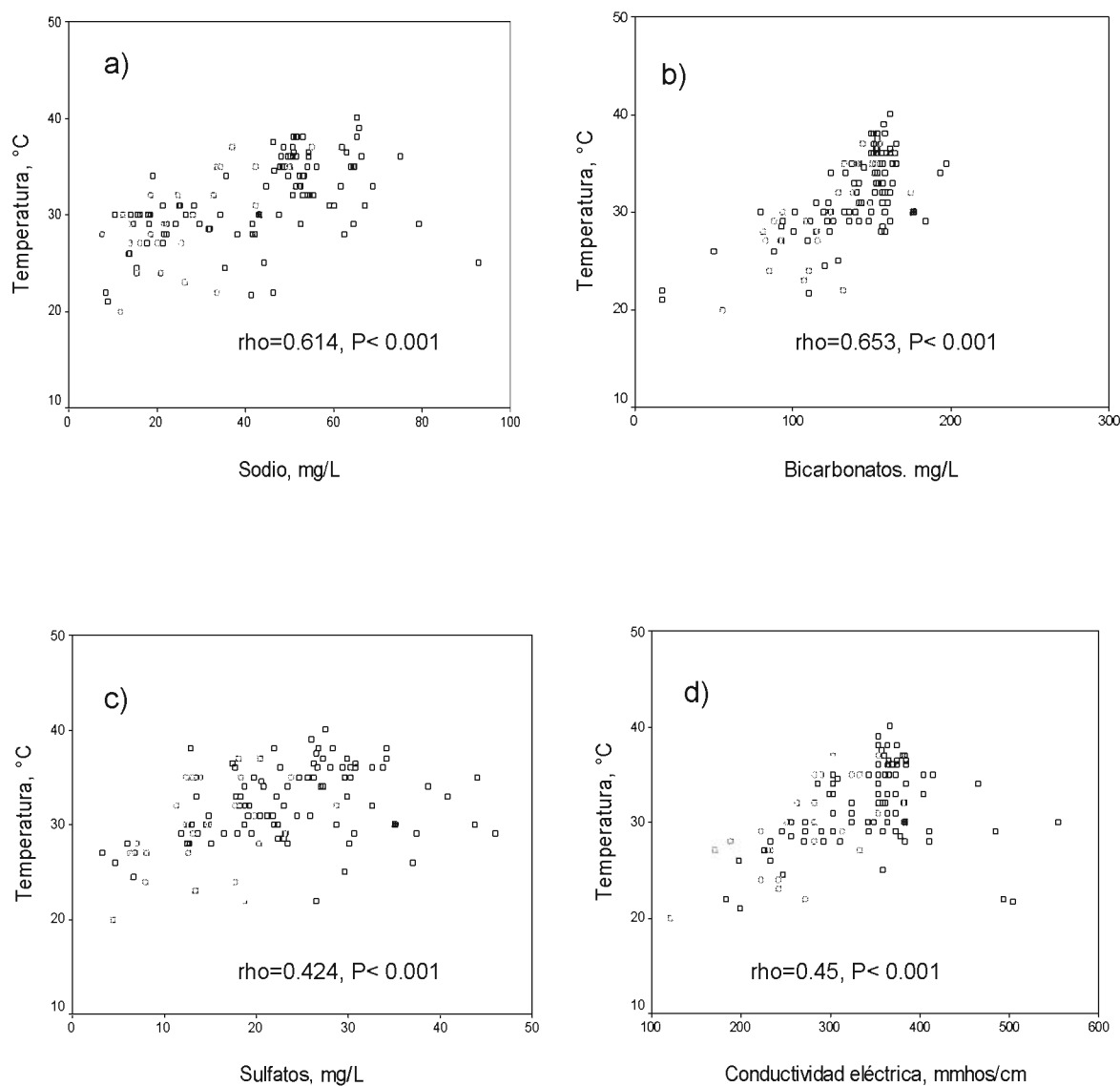
Figura 4. Correlaciones en el agua subterránea de los elementos mayores. a) Temperatura vs fluoruros, b) temperatura vs arsénico, c) arsénico vs fluoruros, d) arsénico vs alcalinidad total y e) Arsénico vs pH.

IV. 5 Calidad del agua subterránea

Los resultados promedio obtenidos de las características físicas, organolépticas y algunas de las características químicas se muestran en la tabla 4. Estos resultados se compararon con la NOM-127, en cuanto a la calidad del agua se encontró que ninguno de los parámetros analizados se encuentra por arriba del valor límite de la NOM-127. Para el calcio y potasio que no están en la NOM-127, se tomó como referencia la guía de la Comunidad Europea (Directiva 80/778/EEC), en los cuales los requisitos son más estrictos, ya que los límites son establecidos en base a estudios de toxicología. De acuerdo a los resultados, la concentración de potasio en el 88 % del agua, sobrepasa la concentración máxima admisible de 12 mg/L, y para el calcio el 4,2% excede el nivel guía de la Comunidad Europea.

IV.6 Constituyentes mayores

Los resultados de la composición química del agua subterránea para cada una de las muestras tomadas en los pozos se muestran en el anexo III. Se evaluó la exactitud de los análisis con el error del balance de carga el cual fue menor al 5% en el 90 % de las muestras y del 6 – 12 % en el 10 % restante. Los datos muestran que las temperaturas en el agua subterránea son muy variables, con un rango entre 20 y 40 °C. Estas diferencias de temperaturas producen un cambio en la relación de los constituyentes químicos en el agua subterránea y en las características hidrológicas que sugieren diferentes caminos de fuentes de agua e interacción agua-roca. La temperatura correlaciona significativamente con las concentraciones de Na^+ ($\rho= 0,614$, $P<0,001$), HCO_3^- ($\rho=0,653$, $P<0,001$), SO_4^{2-} ($\rho= 0,424$, $P<0,001$) y conductividad eléctrica ($\rho= 0,45$, $P< 0,001$) en el agua subterránea (Fig. 5).



- L Cd. San Luis Potosí
- L Soledad de Graciano Sánchez
- C Cerro de San Pedro

Figura 5. Correlaciones en el agua subterránea de los elementos mayores. a) temperatura vs sodio, b) temperatura vs bicarbonatos, c) temperatura vs Sulfatos y d) temperatura vs conductividad eléctrica.

Tabla 4. Resultados obtenidos para los componentes principales en las muestras de agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.

Característica	Concentración promedio	Intervalo de concentración	Límite permisible (NOM-127)	Cumplimiento NOM-127
pH en unidades de pH	7,3	6,55 – 7,77	6,5-8,5	√
Cond. Eléctrica, mmhos/cm	345,6	121 - 1158		
Color Aparente, Pt - Co	2,5	< 2,5	20 unidades de color verdadero	√
Sólidos Totales, mg/L	273,4	158 - 717	1000,00	√
Alcalinidad Fenoft. mg/L CaCO ₃	1,7	0,0- 11,1		
Alcalinidad Total, mg/L CaCO ₃	115,3	13,77 – 344,25		
Dureza total, mg/L CaCO ₃	62	31,21 -255,10	500,00	√
Dureza de Calcio, mg/L CaCO ₃	56,7	19,19 - 222,45		
Dureza de Magnesio, mg/L CaCO ₃	5,3	1,01 – 46,94		
Sodio, mg/L	41,2	7,5 – 135,7	200,00	√
Potasio, mg/L	21,7	3,0 – 177,9	12 *	
Carbonatos, mg/L	1,0	0,0 – 4,0		
Bicarbonatos, mg/L	140,7	16,80 – 419,99		
Cloruros, mg/L	15,2	3,79 – 82,29	250,00	√
Sulfatos, mg/L	25,6	3,28 – 209,27	400,00	√
Fluoruros, mg/L	2,3	0,24 – 4,16	1,5	X
Calcio, mg/L	28,2	7,69 – 69,94	100 *	
Magnesio, mg/L	10,2	0,40 – 18,80	50	√

* Guía de la Comunidad Europea.

Los resultados en los análisis químicos muestran variaciones en la composición química y también indican una salinidad entre 158-402 mg/L, con excepción de la muestra de la Delegación de Bocas que indica una alta salinidad de 717 mg/L. La mayoría de los pozos presentaron valores de conductividad eléctrica en un rango de 121- 555 mmhos/cm, con excepción de tres pozos Alameda II, 21 de Marzo y Bocas que presentaron valores de 916, 1006 y 1158 mmhos/cm. Para los cloruros los pozos de Bocas, El Huizache y 21 de marzo presentan concentraciones elevadas de cloruros 49,45, 73,85 y 82,29 mg/L respectivamente, para el pozo de 21 de marzo los resultados de conductividad eléctrica y cloruros indican que el agua extraída tiene un porcentaje elevado de agua del acuífero superior.

Del diagrama de Piper (Fig. 6) se obtiene que en la mayor parte de los aprovechamientos, el agua pertenece a la familia de las bicarbonatadas sódicas HCO_3^- - Na^+ con un 53,8%, que corresponden al flujo regional a través de ignimibritas el cual es termal, todas las muestras de agua que pertenecen a la familia HCO_3^- - Na^+ presentan altas concentraciones de fluoruros. El agua de la familia Bicarbonatada-mixta (Ca^{2+} - Na^+ - K^+) representa el 44,5% de las muestras con un flujo intermedio que circula a través material granular indiferenciado. El agua en el pozo de Av. México es mixta- mixta (HCO_3^- - SO_4^{2-} - Cl^-)-(Ca^{+2} - Na^+ - K^+). La figura 7 muestra la ubicación de los pozos de acuerdo al tipo de familia.

Las dos muestras tomadas de la planta los Filtros (descarga y mezcla) presentan concentraciones de sólidos totales de 216 mg/L, conductividad eléctrica en un intervalo de (183-199 mmhos/cm) y pertenecen a la familia sulfatada-mixta catiónica (SO_4^{2-} - Ca^{+2} - K^+ - Na^+) con un pH de 6,72 a 7,51.

Al evaluar los índices de saturación de la composición promedio del agua de la Ciudad, la mayoría de los pozos están subsaturados ($SI < -0,85$) con dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ en un 92,52% y una pequeña parte 7,47% están en equilibrio ($-0,85 < SI < 0,85$). Para la calcita el 59% se encuentra como subsaturada ($SI < -0,41$), el 39,6% en equilibrio y 0,9% sobre saturada ($SI > 0,41$). Esto sugiere que el camino de flujo para el

componente geotérmico del agua subterránea en el acuífero profundo no circula a través de la secuencia calcárea cretácea, sino que es únicamente contenido en las volcánicas silíceas. Esto es soportado por el hecho que el Na⁺ es el catión dominante, derivado de procesos de devitrificación de la disolución de la matriz de estas rocas. La concentración del material disuelto de las rocas volcánicas es probablemente aun más incrementada por la alta temperatura del agua circulante. Los diagramas de Stiff para cada una de las muestras de agua subterránea se muestran en el anexo IV.

El pH de las aguas subterráneas son ácidas a neutras (6,49-7,87). Las concentraciones de K⁺ son muy altas con una media de 21,7 mg/L (intervalo de 3 – 177,9 mg/L).

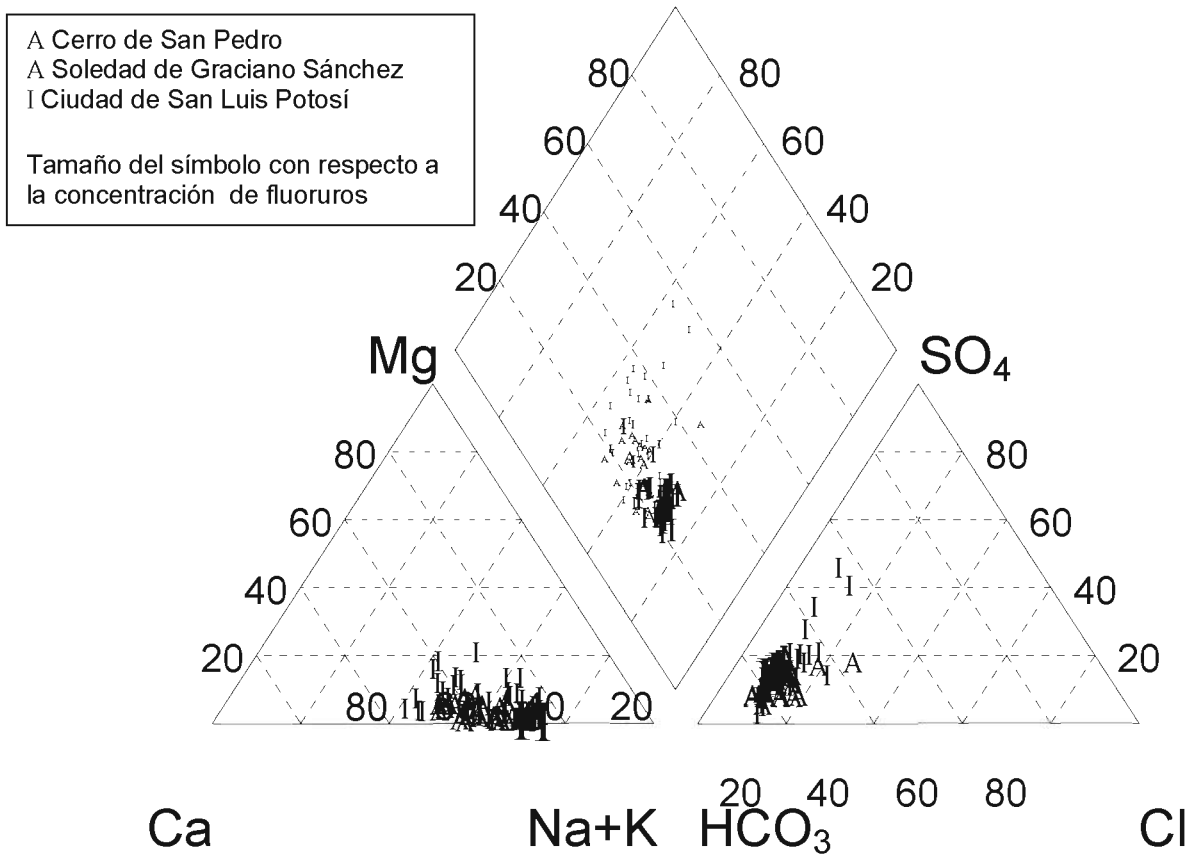


Figura 6. Diagrama de Piper. Se observa que hay dos familias principales de agua que predominan: Bicarbonatada-mixta y bicarbonatada-sódica.

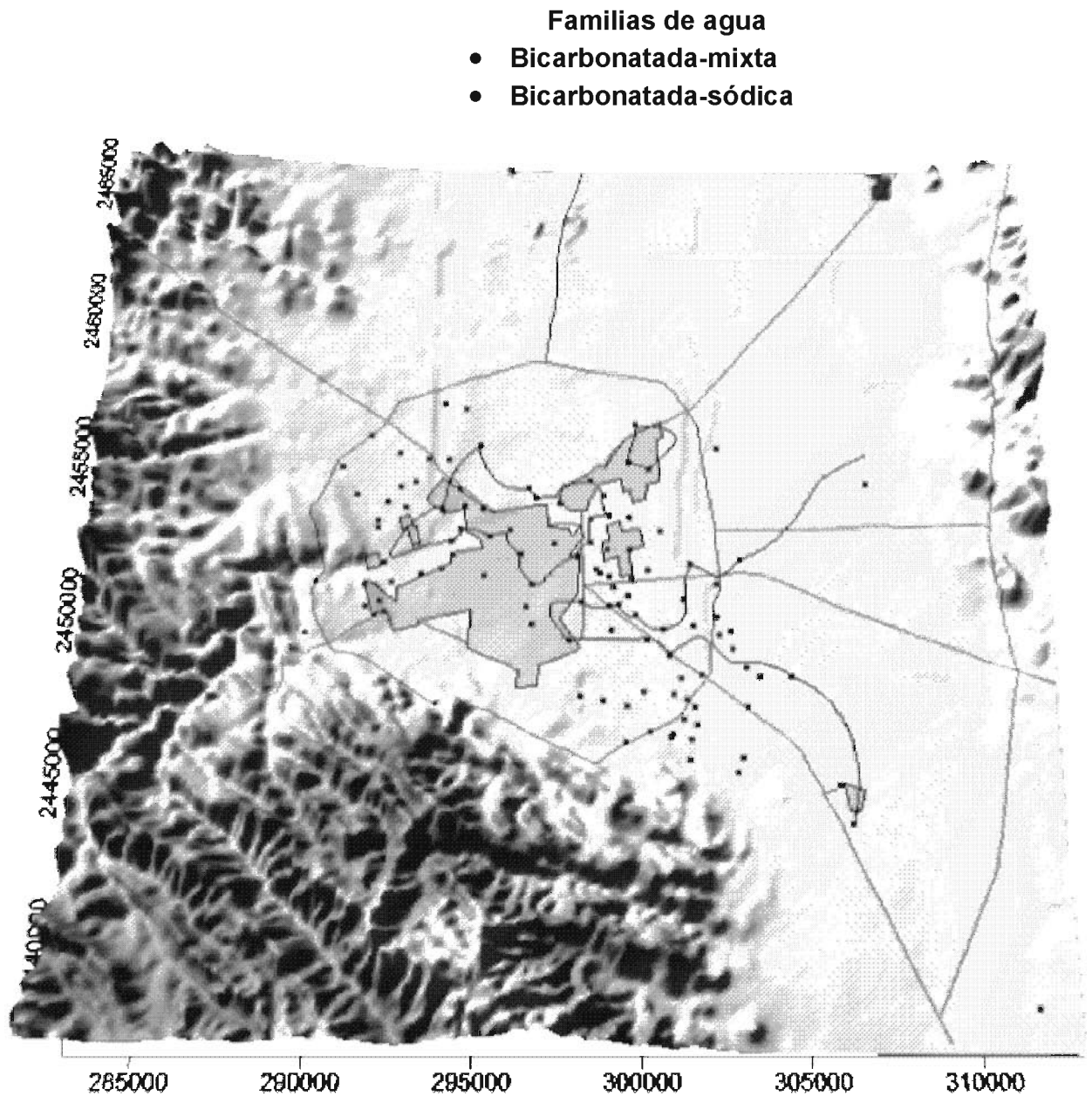


Figura 7. Ubicación de las familias de agua que predominan en el agua subterránea de los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.

— Vías de comunicación terrestre.

~ Línea para la familia bicarbonatada-sódica.

IV.7 Remoción de Arsénico (V) y fluoruros por adsorción con alúmina activada

La adsorción de Arsénico (V) y fluoruros sobre alúmina activada (Al_2O_3) fue investigada como una función del tiempo de contacto, del pH, y de la concentración inicial de los iones. Además se investigó si existía interferencia en la adsorción sobre alúmina al estar juntos los iones fluoruros y arseniatos, que es la condición como se presentan en el agua. Se investigó el efecto del pH sobre el punto de carga cero (pH_{pzc}) de la alúmina, en la presencia de fluoruros y As (V).

IV.7.1 Efecto el tiempo de contacto

Se determinó el tiempo de equilibrio para la remoción de fluoruros o As(V) de soluciones acuosas usando Al_2O_3 como adsorbente. Los datos obtenidos de la adsorción de As (V) y fluoruros sobre la alúmina muestran que el tiempo de contacto de 20 min. fue suficiente para llevar a cabo el equilibrio, ya que no presenta cambios al incrementarse el tiempo. La Fig. 8 y 9, muestran que más del 90% de la adsorción de As fue alcanzada en los primeros 5 minutos y para la adsorción de fluoruros el 80% fue alcanzado en 5 min. Por lo cual los experimentos se realizaron en un tiempo de 20 min.

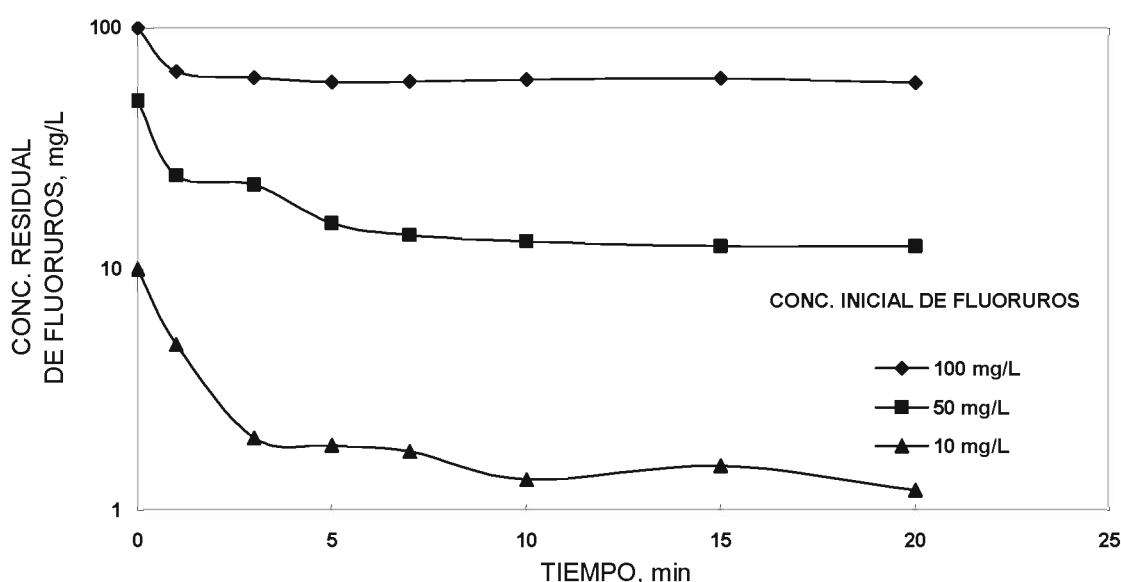


Figura 8. Efecto del tiempo de contacto sobre la adsorción de fluoruros en alúmina. Condiciones: a) 100 ml de solución de 100, 50 y 10 mg/L F^- , 1g Al_2O_3 ; pH de 5.5 temperatura 25°C.

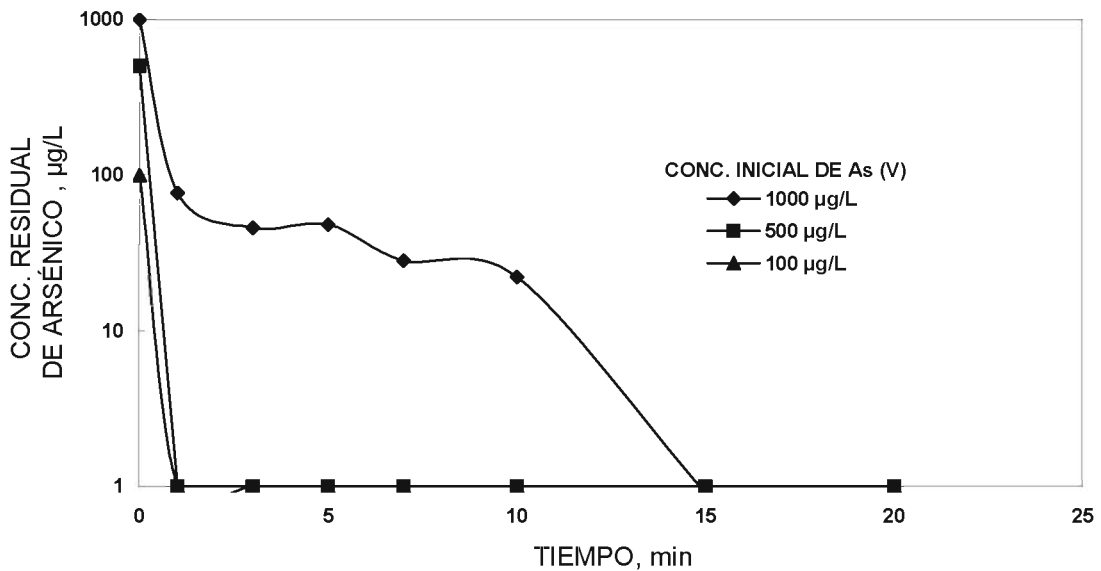


Figura 9. Efecto del tiempo de contacto sobre la adsorción de As (V) en alúmina. Condiciones: 100 ml de solución de 1000, 500 y 100 µg/L As, 1g Al₂O₃; pH de 5,5 y temperatura 25°C.

IV.7.2 Efecto del pH y de la fuerza iónica sobre el pH del punto de carga cero pH_{pzc} de Al₂O₃

En este trabajo se determinó el punto de carga cero (pH_{pzc}) de la alúmina por mediciones de electroforesis. La figura 10 muestra las curvas potencial zeta – pH para dos diferentes concentraciones de NaNO₃, estas curvas se interceptan en un mismo punto que corresponde al potencial zeta cero en el cual el valor del pH es 9,2. Este valor es igual al reportado por Reyes Bahena *et al*, esto indica que la alúmina utilizada en este trabajo tiene una alta pureza. El pH_{pzc} de la alúmina utilizada corresponde a este valor de pH en el cual la superficie llega a ser neutral y el efecto de la fuerza iónica sobre el intercambio de H⁺ disminuye. Los valores de punto de carga zeta reportados para Al₂O₃ están en un rango de pH de 8,1-9,1²⁴. La disociación de la superficie hidratada de Al₂O₃ produce una carga positiva o negativa en la superficie, que puede estar dada por las reacciones (1) y (2).^{24, 25}

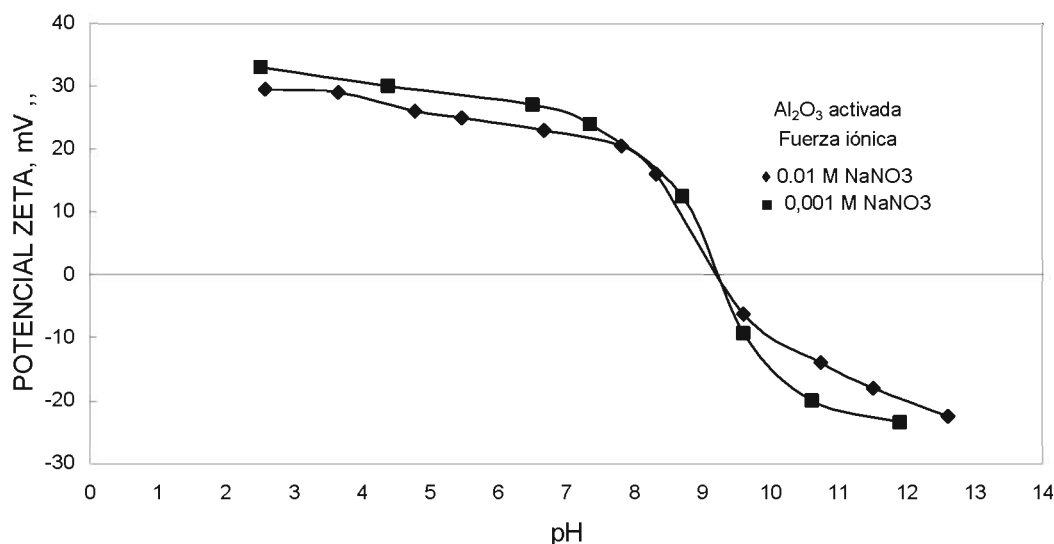


Figura 10. Potencial zeta de Al₂O₃ en función del pH a diferentes valores fuerza iónica.

IV.7.3 Efecto del pH y ion fluoruro sobre el potencial zeta de Al₂O₃ y adsorción del ion fluoruro sobre Al₂O₃

Se determinó el potencial zeta de Al₂O₃ en ausencia y presencia del ion fluoruro como una función del pH. La figura 11 muestra que con la presencia del ion fluoruro a una concentración de 12 mg/L, la reacción es un intercambio de iones fluoruros con los grupos OH⁻ de la superficie. A valores menores del potencial zeta la adsorción del ion fluoruro sobre los grupos oxidrilo de la superficie puede ser descritas por las reacciones (3) y (4).²⁴



La reacción explica una disminución de potenciales zeta medidos bajo estas condiciones.

El pH_{pzc} es estimado alrededor de 9,2 el cual está dentro del rango reportado para los óxidos de alúmina donde se incrementó la desorción del protón haciendo que la

superficie de la alúmina sea cargada negativamente y aumentando la repulsión electrostática del F^- . La alúmina estuvo cargada positivamente en un rango de pH de 2,5 – 7,5 y se carga negativamente entre un pH de 10,5 – 11,5. Este comportamiento indica que la adsorción química de F^- sobre Al_2O_3 tiene lugar aún cuando la superficie es eléctricamente negativa.

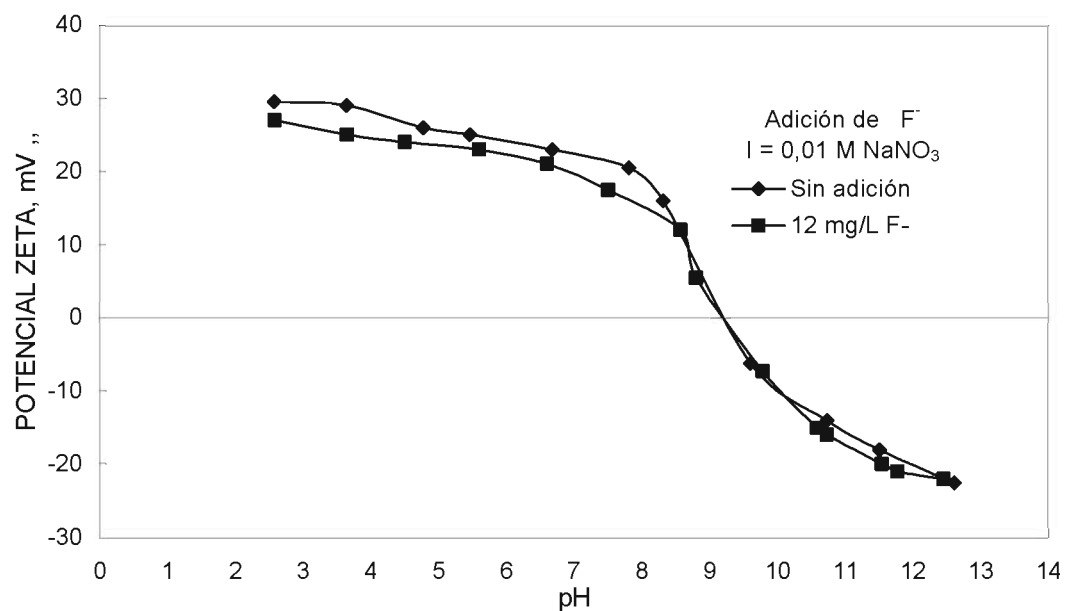


Figura 11. Efecto del pH en la electrocinética de Al_2O_3 en presencia del ion fluoruro. Condiciones: 100 ml de solución $NaNO_3$ 0.01 M, 200 mg de Al_2O_3 ; tiempo de acondicionamiento 20 min, temperatura 20 °C, y 12 mg/L fluoruros.

El efecto del pH sobre la adsorción de fluoruros en Al_2O_3 en un rango de pH de 2,5 - 12,5 con la solución acuosa conteniendo 12 mg/L de concentración inicial de fluoruros es mostrado en la figura 12. La máxima cantidad de adsorción de fluoruros ocurre a un pH de 5 – 6, la adsorción de fluoruros disminuye a valores de pH menores de 5, esto puede ser asociado con la disolución de la alúmina promovida por el fluoruro. En el diagrama de pH-solubilidad para la α Al_2O_3 ²², la solubilidad de la alúmina se incrementa significativamente como el pH disminuye abajo de 5. Se ha encontrado que el fluoruro aumenta la solubilidad de los de las especies de complejos hidroxí(óxidos)

de aluminio en la solución, bajo estas condiciones, los complejos fluoro-aluminio AlF_2^+ , AlF^{+2} , $\text{AlF}_3(\text{aq})$ y AlF_4^- son predominantes en la solución como es mostrado por el diagrama de distribución - pH reportado por Reyes Bahena *et al.*²², así como también disminuye la adsorción del fluoruro drásticamente a un pH mayor de 6,5. Bajo estas condiciones, las reacciones de intercambio (3) y (4) entre los grupos hidróxidos de la superficie y el fluoruro son menos favorables ya que la concentración de los hidróxidos acuosos incrementan y la densidad de la superficie de los sitios de $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ disminuyen conforme los sitios de AlO^- se incrementan. En adición, el incremento de pH favorece la repulsión electrostática entre la superficie cargada negativamente de la alúmina y el fluoruro aniónico.

Este valor de pH será tomado en cuenta ya que para poder utilizar la alúmina en agua subterránea, el pH del agua deberá ajustarse antes y después de mezclarla con el adsorbente.

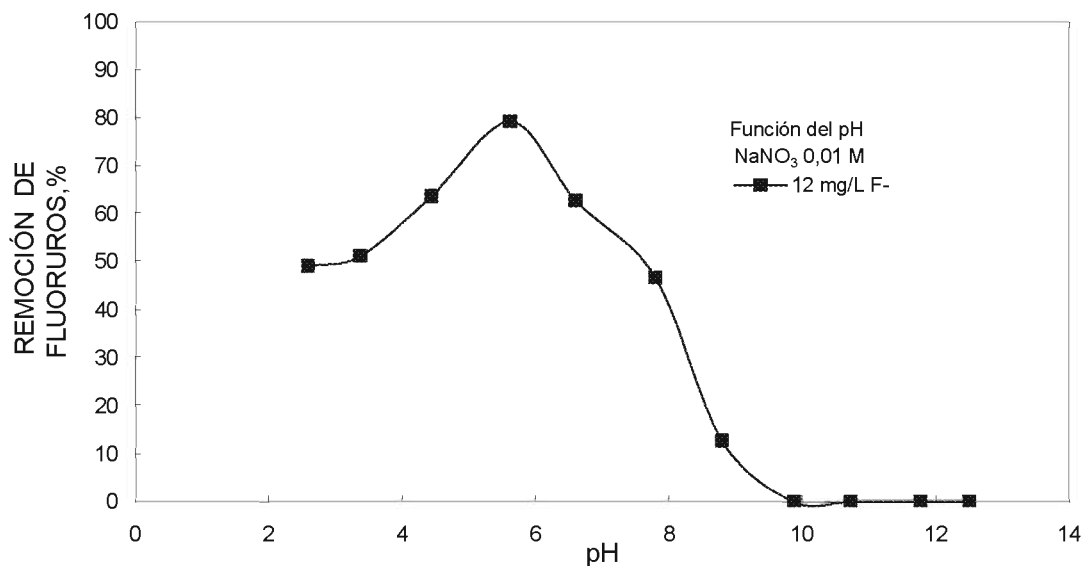


Figura 12. Influencia del pH en la capacidad de adsorción del ion fluoruro. Condiciones: 100 ml de solución NaNO₃ 0.01 M, 200 mg de Al₂O₃; tiempo de acondicionamiento: 20 min, temperatura 20 °C, y 12 mg F⁻.

IV.7.4. Efecto del pH y de As(V) sobre el potencial zeta de Al_2O_3 y adsorción de As(V) sobre Al_2O_3

Los resultados de la variación del potencial zeta de Al_2O_3 en presencia de As (V) con una concentración de 10 mg As/L se muestran en la figura 13, donde se observa que en presencia de As (V) el pzc disminuye a un pH de 8,1 y hace más negativa la curva de potencial zeta a pHs menores de 11, aun cuando la superficie de alúmina es eléctricamente negativa. Esta modificación en la curva de potencial zeta es un indicativo de que el As(V) se adsorbe de manera específica en la superficie de Al_2O_3 . La alúmina estuvo cargada positivamente entre un pH de 2,5-7,5 y cargada negativamente entre un pH de 8,5-12,5.

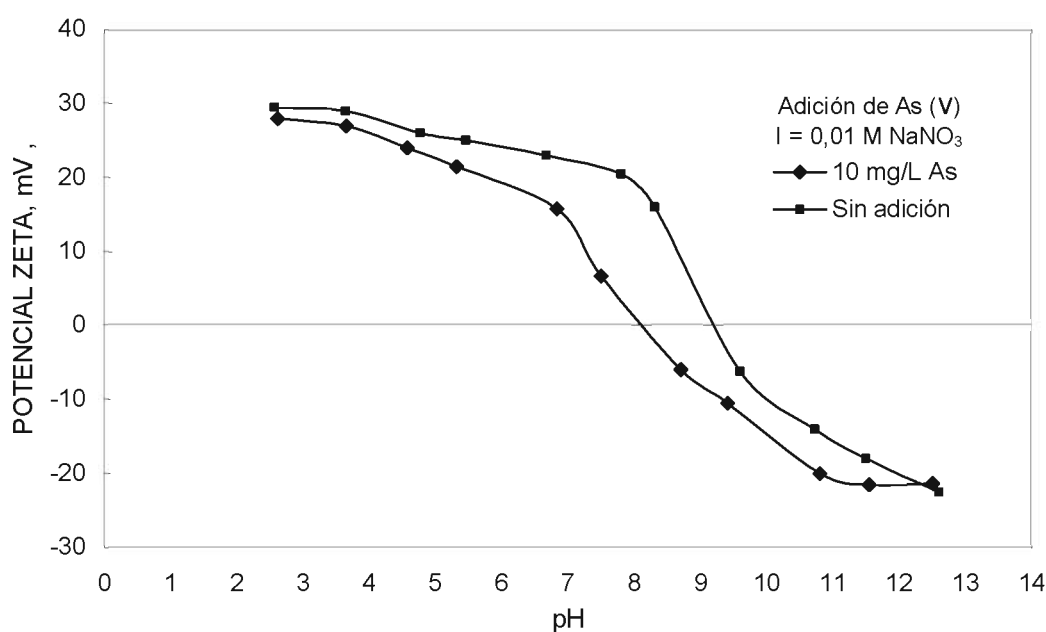


Figura 13. Efecto del pH en la electrocinética de Al_2O_3 en presencia de los iones arseniato. Condiciones: 100 ml de solución NaNO_3 0.01 M, 200 mg de Al_2O_3 , tiempo de acondicionamiento 20 min, temperatura 20 °C, y 10 mg As (V).

Para determinar el pH óptimo para la remoción completa de As (V) sobre Al_2O_3 , se llevó a cabo el equilibrio de adsorción del arseniato a once valores de pH diferentes de 2,5 – 12,5, estableciendo la concentración inicial de As (V) de 10 mg/L. El gráfico de arseniato en alúmina es mostrado en la Fig. 14. Es claro que la adsorción de la alúmina es dependiente del pH de la solución final y que la máxima adsorción es obtenida a un pH final de 5,5 – 7,5 con cerca de 29,79 mg de As (V)/g Al_2O_3 . Este resultado es consistente ya que la máxima capacidad (16 mg de As (V)/g) de alúmina activada granular para el arseniato fue obtenida a un pH de 5,2. En el diagrama de especiación del arseniato en función del pH (Fig. 16), se obtiene que el As (V) se encuentra principalmente en la forma H_2AsO_4^- en un rango de pH de 3 a 6, mientras el anión divalente HAsO_4^{2-} domina a valores altos de pH (entre pH 8 a 10,5). En la región intermedia (en el rango de pH de 6 a 8) ambas especies coexisten una con la otra. De esta manera es evidente que la especie principal, H_2AsO_4^- , puede ser efectivamente adsorbida por la alúmina a un pH de 5,5 (Fig 15). La adsorción no se lleva a cabo en valores altos de pH ya que se incrementa la repulsión electrostática de los iones AsO_4^{-3} con la carga negativa de la superficie y por lo tanto el rango de pH alto (entre 9,5-12,5) puede ser usado para la desorción.

El pH óptimo obtenido para arsénico (V) y para fluoruros fue alrededor de 5,5, este valor de pH fue seleccionado para realizar los experimentos de adsorción para ambos iones sobre Al_2O_3 .

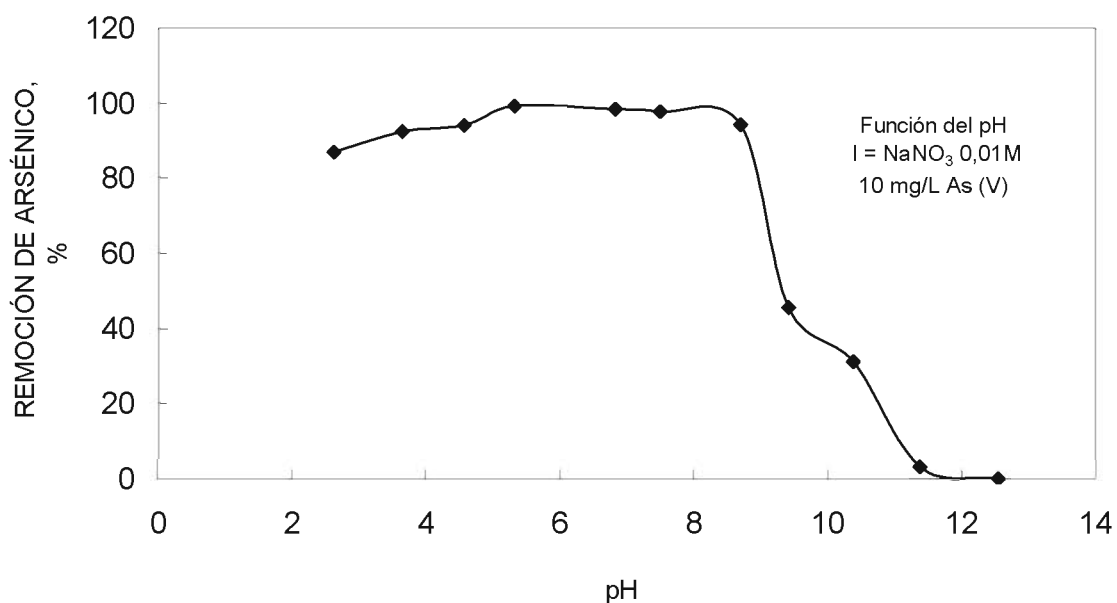


Figura 14. Influencia del pH en la capacidad de adsorción de arseniato. Condiciones: 100 ml de solución NaNO_3 0.01 M, 200 mg de Al_2O_3 ; tiempo de acondicionamiento: 20 min, temperatura 20°C , y 10 mg/L As.

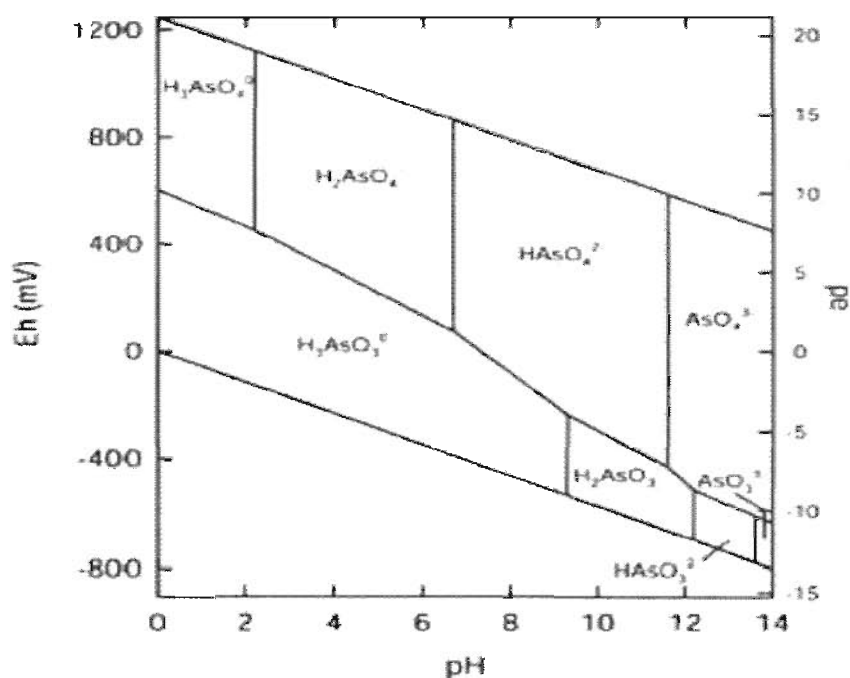


Figura 15. Diagrama Eh-pH Sistema $\text{As-O}_2\text{-H}_2\text{O}$ a 25°C y 1 bar de presión

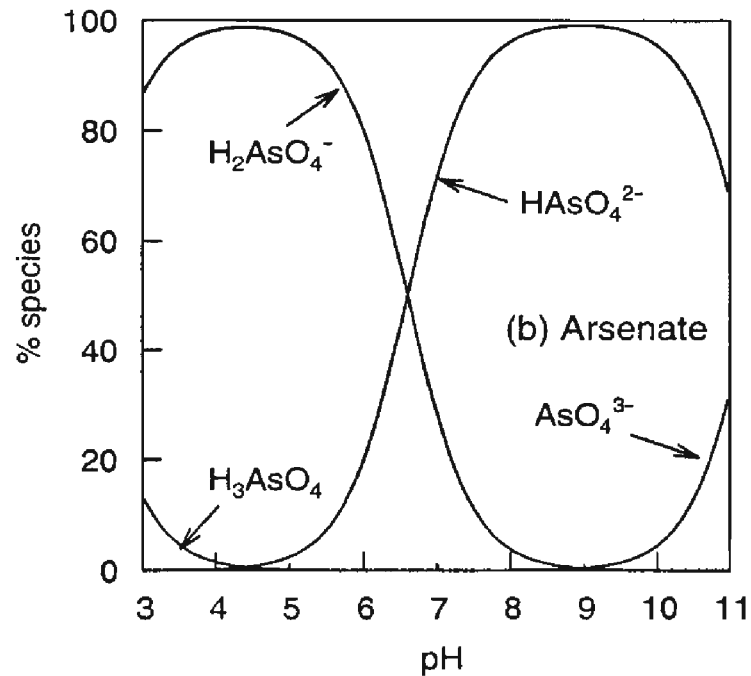


Figura 16. Diagrama de especiación del arseniato en función del pH (Fuerza iónica 0.01 M).¹

IV.7.5 Isotermas de adsorción

Una de las ecuaciones que se emplean para modelar la adsorción del sistema acuoso en equilibrio es la ecuación de Langmuir, basada en la suposición de que hay un número finito de sitios de enlace, los cuales están distribuidos homogéneamente sobre la superficie del adsorbente, estos sitios de enlace tienen la misma afinidad para adsorción de una capa molecular simple y no hay interacción entre las moléculas adsorbidas; la adsorción es limitada a completar el cubrimiento de una capa monomolecular. Las isotermas de adsorción de fluoruros se presentan en la Fig.16 y para (As V) son mostradas en la Fig.17. La ecuación de la isoterma de Langmuir ajustó bien a los datos de adsorción.

$$q = \frac{K C_e q_{max}}{1 + K C_e}$$

Donde q es el peso del sorbato dividido entre el peso del sorbente en mg/g Al_2O_3 , o $\mu\text{mol/g } Al_2O_3$, K es una constante de la isoterma, C_e es la concentración del sorbato en la solución equilibrada en mg/L y q_{max} la capacidad de adsorción en $\mu\text{mol/g } Al_2O_3$. En este estudio, los coeficientes de correlación altos (0,9908 para As y 0,9967 para F⁻) indican que la isoterma de Langmuir se ajusta bien a los datos de adsorción. La constante y la capacidad máxima de adsorción fueron calculadas por mínimos cuadrados en el programa STATISTICA.

Como resultado de ésta investigación se encuentra que la capacidad de adsorción para As (V) es de 22,61 mg/g Al_2O_3 (301,95 $\mu\text{mol/g } Al_2O_3$) y para fluoruros se obtienen una capacidad máxima de adsorción de 4,60 mg/g Al_2O_3 (242,46 $\mu\text{mol/g } Al_2O_3$). Los parámetros de adsorción calculados también muestran que As(V) es adsorbido por la alúmina en cantidades apreciables mientras que la capacidad para fluoruros es mucho menor.

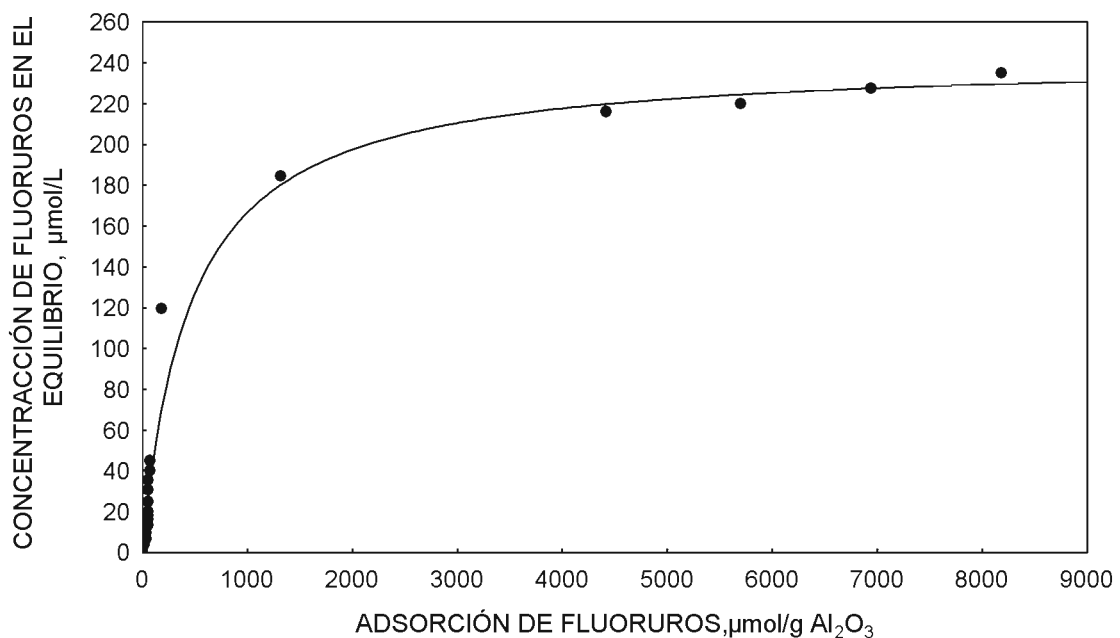


Figura 17. Isotherma de adsorción para fluoruros sobre alúmina. Se utilizaron soluciones de 1- 500 mg F /L a un pH 5.5. y temperatura de 25 °C.

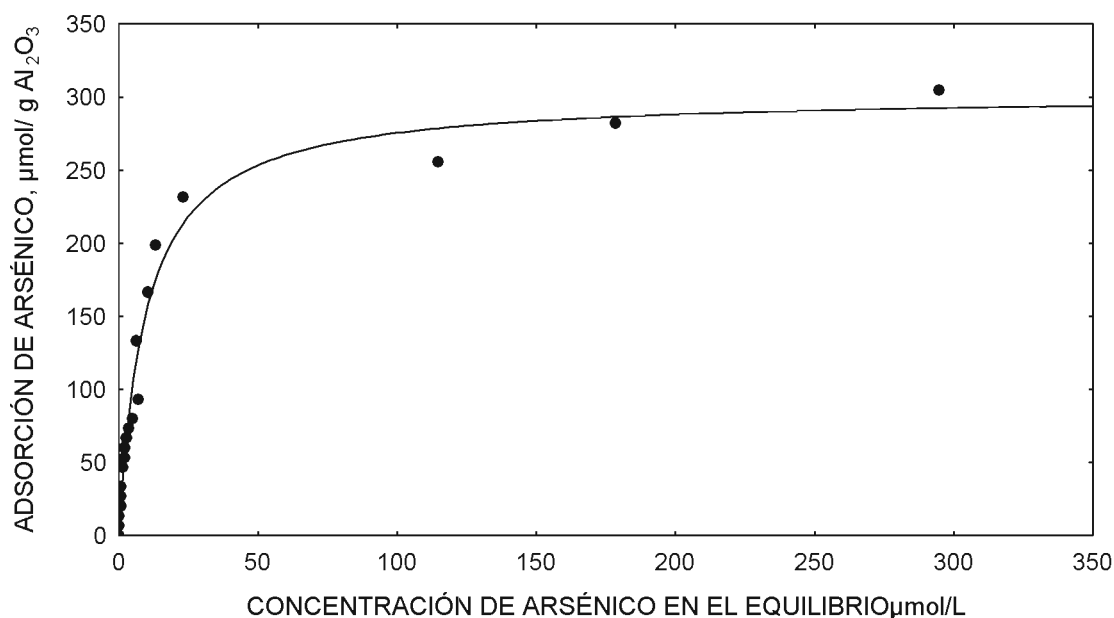


Figura 18. Isoterma de adsorción para As (V) sobre alúmina. Se utilizaron soluciones de 1- 500 mg/L As(V), 1g Al₂O₃ a un pH 5.5 y temperatura de 25 ° C.

IV.7.6 Efecto de la afinidad de la superficie de alúmina en la adsorción de los iones fluoruros y As(V)

La adsorción conjunta de arseniato y fluoruros sobre Al₂O₃ activada es mostrada en las figuras 18 y 19. Se determinó la adsorción para As (V) en un intervalo de concentración de 1- 400 mg/L (13,34 – 5339,74 μmol/L) con una concentración de fluoruros de 0, 10 y 100 mg/L y para determinar la adsorción de fluoruros en presencia de arseniatos se utilizaron soluciones en un intervalo de 0.5-400 mg/L (26,31 – 21052,63 μmol/L) de concentración inicial de fluoruros con concentraciones de 0,10 y 100 mg/L de As. Para cuantificar el efecto de interferencia y la selectividad de adsorción de As (V) y fluoruros sobre la alúmina, se calcularon las capacidades de adsorción para compararlas a un pH de 5,5. Los resultados indican que la presencia de As (V) no afecta la adsorción de fluoruros (Fig 18). Cuando están presentes los fluoruros, la carga eléctrica de la superficie aumenta conforme aumenta la adsorción de F⁻ y esto limita la adsorción del HAsO₄²⁻ porque es repelido por la superficie. La capacidad de adsorción (q_{max}) varía desde 242,46 μmol/g Al₂O₃ hasta 252,70 μmol/g

Al₂O₃. Los parámetros de la capacidad máxima para cada una de las condiciones son mostrados en la tabla 5.

En el caso de la adsorción de As en presencia de fluoruros (Fig.19), se observa que cuando se tiene adsorbido HAsO₄²⁻ y se añade F⁻, este último se adsorbe y llega a desplazar al HAsO₄²⁻ porque forma especies Al-F en la superficie de Al₂O₃ y también la hace más negativa eléctricamente. En ausencia de fluoruros, la máxima capacidad de adsorción de Al₂O₃ por As (V) es 301,95 μmol/g Al₂O₃, cuando se tienen 10 mg/L F⁻, esta capacidad disminuye hasta 296,07 μmol/g Al₂O₃ y con 100 mg/L disminuye aun más, a un valor de 267,93 μmol/g Al₂O₃.

Los resultados muestran que fluoruros y As (V) son efectivamente adsorbidos en la interacción del otro ion, además que la alúmina presenta una mayor selectividad por los iones fluoruros que para los arseniatos, por la formación de las especies de Al-F en la superficie de la alúmina, debido al intercambio del fluoruro con los grupos OH⁻ de la superficie, mientras que el As (V) parece ser que se adsorbe a través del enlace hidrógeno e interacción electrostática, los cuales son más débiles que la energía de adsorción para la formación de especies de Al-F. Esta selectividad de adsorción por los fluoruros es un aspecto relevante en la remediación efectiva de agua contaminada basada en la remoción de arsénico y fluoruros juntos.

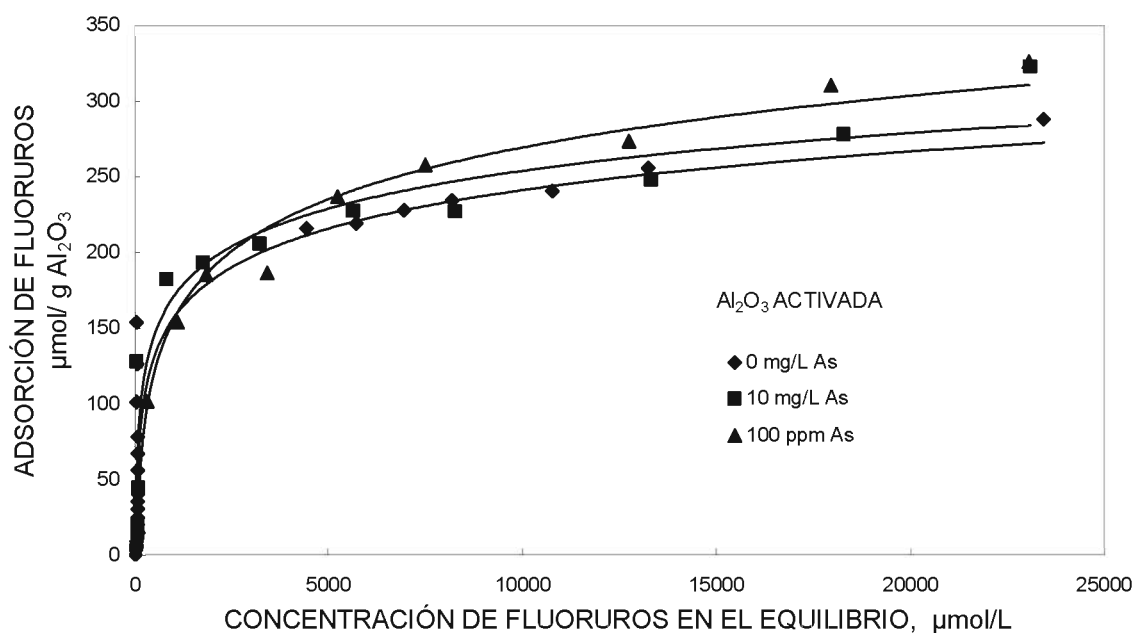


Figura 19. Isoterma de adsorción para fluoruros sobre alúmina en presencia de As. Se emplearon soluciones de 1- 500 mg/L As(V) a un pH 5,5 y temperatura de 25 °C. En presencia de As(V) con una concentración constante de 10 y 100 mg/L As.

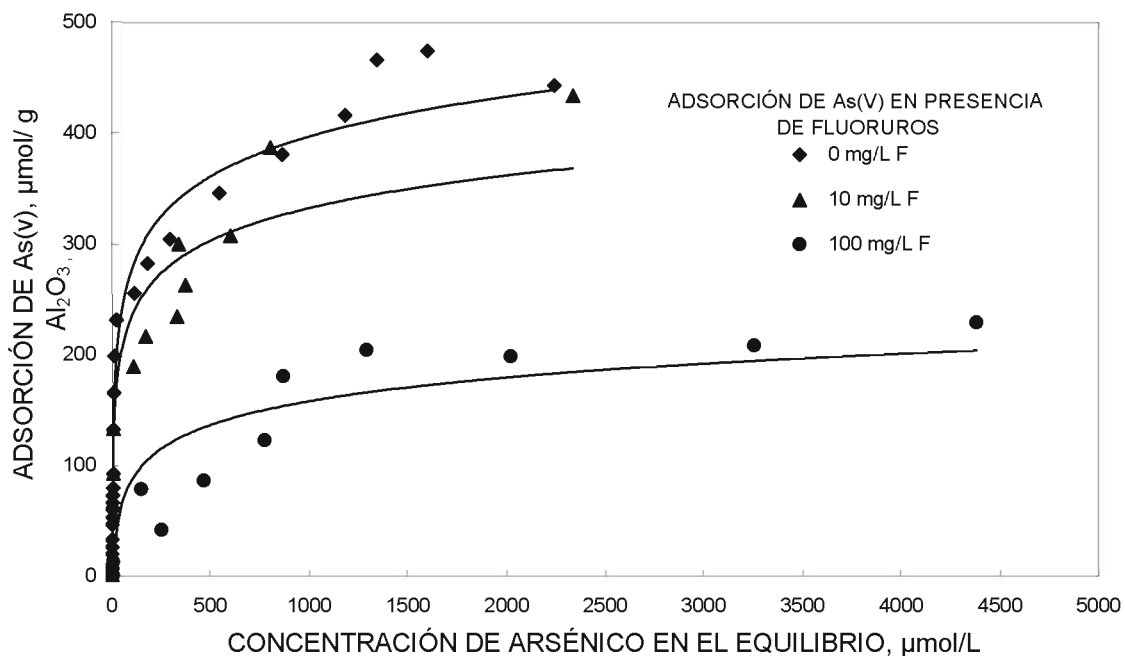


Figura 20. Isoterma de adsorción para As (V) sobre alúmina en presencia de fluoruros. Se emplearon soluciones de 1- 500 mg/L As (V) a un pH 5,5 y temperatura de 25°C. En presencia de fluoruros con concentraciones de de 5, 10 y 100 mg/L F⁻.

Tabla 5. Resultados de las isotermas de Langmuir indicando la constante K y la máxima capacidad de adsorción q_{max} , calculado por mínimos cuadrados.

Sorbato	q_{max} $\mu\text{mol} / \text{g Al}_2\text{O}_3$	K $\text{L} / \mu\text{mol}$
Arsénico (0 mg/L F)	301,45	0,1041
Arsénico (10 mg/L F)	296,07	0,078
Arsénico (100 mg/L F)	267,93	0,0195
Fluoruros (0 mg/L As (V))	242,46	0,0021
Fluoruros (10 mg/L As (V))	243,68	0,0025
Fluoruros (100 mg/L As (V))	252,70	0,0010

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró que la determinación de As en agua subterránea por la técnica de Espectrometría de Fluorescencia Atómica, produce resultados confiables de acuerdo a las características analíticas. El método empleado es de sencilla operación, con una alta sensibilidad lo cual lo hace muy atractivo para los análisis de rutina de trazas de As en muestras de agua para uso y consumo humano. Los criterios de validación del método de análisis para fluoruros en agua, son aceptables.

Se observaron altas concentraciones de fluoruros en el agua subterránea de los pozos principalmente en la zonas suroeste, oeste, noroeste y sureste de la Ciudad de San Luis Potosí, esto es debido a los efectos naturales de interacción agua-material geológico que ocasionan elevadas concentraciones de F^- disueltos en el agua subterránea termal (hasta de 4,16 mg/L) los cuales superan el límite permisible establecido en la NOM-127, en un 71,43% de las muestras.

El As total encontrado en el agua muestran que el 100% de los pozos que abastecen a la población de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y la zona conurbada, es menor a los límites máximos permisibles que establece la NOM-127, siendo los más bajos en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez. Se observaron correlaciones positivas y significativas entre la temperatura y las concentraciones de fluoruros y arsénico en el agua, así como entre el F^- y el As.

En relación a los índices de saturación se puede decir que el mineral de fluorita dolomita y la calcita, tenderán a disolverse en el agua subterránea en un porcentaje alto.

Al evaluar la adsorción de F^- y As sobre Al_2O_3 , se observó que es muy rápida en los primeros 5 min. de reacción y continúa lentamente hasta 20 min. La máxima capacidad

de adsorción por Al_2O_3 ocurre para fluoruros en un pH de 5,5 y para As de 5,5 – 7,5 con una concentración inicial de 12 mg/L y 10 mg/L respectivamente, arriba de estos valores de pH la adsorción de fluoruros y arsénico disminuye.

El pH del punto de carga cero de la alúmina se presenta en un valor de 9,2, cuando se encuentra en presencia de fluoruros, este valor no se modifica, y en presencia de As(V) el pH_{pcz} de la alúmina disminuye a un valor de pH de 8,2.

Se demostró que la alúmina utilizada en este trabajo tiene una capacidad máxima de adsorción de 4,60 mg F⁻/g Al_2O_3 en el caso de fluoruros y para As de 22,61 mg As(V)/ g Al_2O_3 . Este material puede ser usado como un adsorbente eficiente para la remoción de fluoruros y arsénico.

Arseniato puede ser removido a valores de pH neutros, y con una dosis de 1g puede ser suficiente para lograr los 10 $\mu\text{g/L}$ (Guía para As, OMS) a un pH de 7 cuando la concentración inicial de As es menor o igual a 1000 $\mu\text{g/L}$. Una concentración de 1000 $\mu\text{g/L}$ es alta ya que a esas concentraciones no son usualmente encontradas en agua contaminada con As que es utilizada para el consumo humano, y consecuentemente la expectativa de vida de la alúmina como un sistema de remoción para el tratamiento de agua de beber puede ser alta. Los fluoruros pueden ser removidos a valores de pH entre 5 y 6 con una dosis de 1g de alúmina para que el agua pueda llegar a tener una concentración $\leq 1,5$ mg/L (NOM-127) cuando la concentración inicial de fluoruros es menor o igual a 30 mg/L.

Se demostró la factibilidad de remoción conjunta de fluoruros y As, en la cual se observó que la adsorción de As se ve afectada por la presencia de iones fluoruros, ya que los fluoruros forman especies de Al-F, y por el contrario la adsorción de fluoruros no esta limitada cuando el arsénico esta presente.

Los datos obtenidos en este estudio indican que la alúmina utilizada tiene un potencial excelente para usarlo como un adsorbente, el cual es comparable con otros sistemas

para la remoción de As y puede ser utilizado para la remoción de fluoruros en los tratamientos de agua, sin embargo se requiere realizar la evaluación de la reversibilidad de la adsorción de As (V) y fluoruros sobre alúmina a diferentes valores de pH y diferentes concentraciones de la solución. Con estos datos será necesario efectuar un análisis de costo beneficio para compararlos con otros sistemas de absorción utilizados.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G., 2002. A Review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17, 517-568.
2. Norma Oficial Mexicana NOM-SSA-127-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial*.
3. Environmental Protection Agency, 1999. Arsenic rule implementation research program, Arsenic treatment technology demonstration solicitation. U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC.
4. Abernathy, C.O., Thomas, D.J., Calderon, R.L., 2003. Health effects and risk assessment of arsenic. *American Society for Nutritional Sciences.* 133, 1536S-1538S.
5. Laboratorio Estatal de Salud Pública., 2002. Evaluación de la calidad del agua en fuentes de abastecimiento para uso y consumo humano en Cd. Capital y zona conurbada SSA-CNA.
6. Price, M., Agua subterránea. *Limusa* 308-309.
7. ATSDR., 2001. Toxicological profile for fluorine, hydrogen fluoride, and fluorides. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Department of Health and Human services, Public Health Service.
8. Diaz Barriga, F., Navarro Quezada, .A., Grijalva, I.M., Grimaldo, M., Loyola Rodríguez, J.P., Ortiz, M.D., 1997. Endemic Fluorosis in Mexico. *Fluoride.* 30, 233-239.
9. Moreno Castro, D., Campos Aranda, D.F., Cisneros Almazán, R., 2004. Estadística Climatológica del observatorio meteorológico de San Luis Potosí (1877-200). Facultad de Ingeniería de la UASLP. San Luis Potosí, SLP. México.

10. Gallagan, D.J., Vermillion, J.R., 1957. Determining optimum fluoride concentration. Public Health Rep. 72, 491-493.
11. Grimaldo, M., Borja-Aburto, V.H., Ramirez, A.L., Ponce, M., Rosas, M., Díaz-Barriga, F., 1995. Endemic Fluorosis in San Luis Potosí, México. Environ. Res. 68, 25-30.
12. De Lira, S.A., Nieto, A.B., 1989. Fluoruros en el agua de consumo en la Ciudad de San Luis Potosí y área conurbada con el municipio de Soledad de Graciano Sánchez. Tesis profesional. Facultad de Química, UASLP, San Luis Potosí.
13. Jasso Espino, M.S., 1995. Concentración de fluoruros en pozos profundos y red de distribución de agua potable. Trabajo del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, UASLP, San Luis Potosí.
14. Medellín Milán, P., Alfaro de la Torre, M.C., Diaz Barriga, F., 1993. Ground water quality in the San Luis Potosí Valley. Waters Resources in North America 62-78.
15. Environmental Protection Agency., 2000. 40 CFR parts 141 y 142. National primary drinking water regulations; Arsenic and clarifications to compliance and new source contaminants monitoring: Proposed rule Vol. 65, No. 121.
16. Featherstone, A.M., Butler, E.C.V., O'Grady, B.V., Michel, P., 1998. Determination of arsenic species in sea-water by hydride generation atomic fluorescence spectroscopy. J. Anal. At. Spectrom. 13, 1355-1360.
17. Rahman, L., Coms, W.T., Bryce, D.W., Stockwell, P.B., 2000. Determination of mercury, selenium, bismuth, arsenic and antimony in human hair by microwave digestion atomic fluorescence spectrometry. Talanta. 52, 833-843.
18. Yun-Kai, L., Han-Wen, S., Chun-Gang, Y., Xiu-Ping, Y., 2002. Simultaneous determination of trace cadmium and arsenic in biological samples by hydride generation-double channel atomic fluorescence spectrometry. Anal. Chem. 74, 1525-1529.

19. Gómez Ariza, J.L., Sánchez Rodas, D., Giráldez, I., Morales, E., 2000. A comparison between ICP-MS and AFS detection for arsenic speciation in environmental samples. *Talanta*. 51, 257-268.
20. Cardona, B.A., Carrillo, R.J., Amienta, H.A., 1993. Elemento traza: contaminación y valores de fondo en aguas subterráneas de San Luis Potosí, SLP, México. *Geofís. Int.* 32, 277-286.
21. Carrillo Rivera, J.J., Cardona, A., Edmunds, W.M., 2002. Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosí basin, Mexico. *J. Hydrol.* 261, 24-47.
22. Carrillo Rivera, J.J., Cardona, A., Moss, D., 1996. Importance of the vertical component of groundwater flow: a hidrogeochemical approach in the valley of San Luis Potosí, México. *J. Hidrol.* 185, 23-44.
23. Kosmulski, M., 2002. Electric charge density of silica, alumina, and related surfaces. *Encyclopedia of Surface and Colloid Science*, vol 2. Marcel Dekker, Inc. 1627-1636.
24. Reyes Bahena, J.L., Robledo Cabrera, A., López Valdivieso, A., Herrera Urbina, R., 2002. Fluoride adsorption onto α -Al₂O₃ and its effect on the zeta potencial at the alumina-aqueous electrolyte Interfase. *Separation Science and Technology*. 37, 1973-1987.
25. López Valdivieso, A., Reyes Bahena, J.L., Song, S., Herrera Urbina, R., 2005. Temperature effect on the zeta potencial and fluoride adsorption at the α -Al₂O₃/aqueous solution interface. *Journal of Colloid and Interface Science*. En publicación.
26. Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. *Diario Oficial*.
27. Standard Methods, Method 1060-C., 1998. Sample storage and preservation. standard methods for the examination of water and wastewater, 20th Edition. Washington, DC. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

28. Norma Mexicana NMX-AA-077-SCFI-2001, Análisis de aguas- Determinación de fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
29. Standard Methods, Method 4500-C., 1998. Ion-Selective Electrode Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. Washington, DC. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
30. Horwitz, W., 1982. Evaluation of analytical methods used for regulation of foods and drugs. Anal. Chem. 54, 67A- 78A.
31. Xiu-Ping, Y., Xue-Bo, Y., Xi-Wen, H., Yan, J., 2002. Flow Injection on-line sorption preconcentration coupled with hydride generation atomic fluorescence spectrometry for determination of (ultra) trace amounts of arsenic (III) and arsenic (V) in natural water samples. Anal. Chem. 74, 2162-2166.

ANEXO I

Curvas de calibración en la validación de los métodos analíticos.

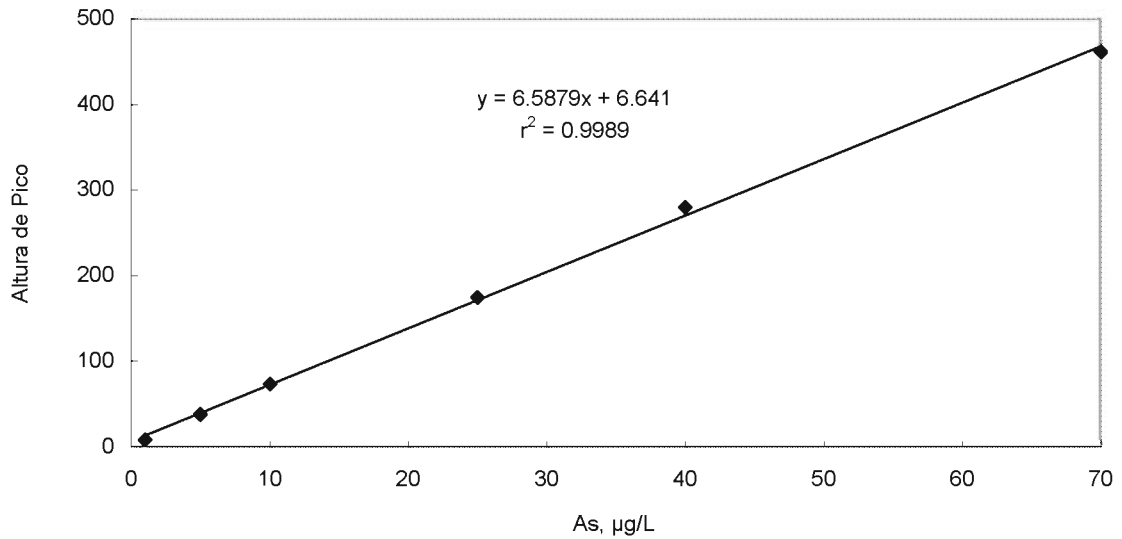


Figura 1. Curva de calibración promedio para evaluar la linealidad del método de Fluorescencia Atómica. Se realizaron 6 curvas bajo las mismas condiciones bajo las mismas condiciones

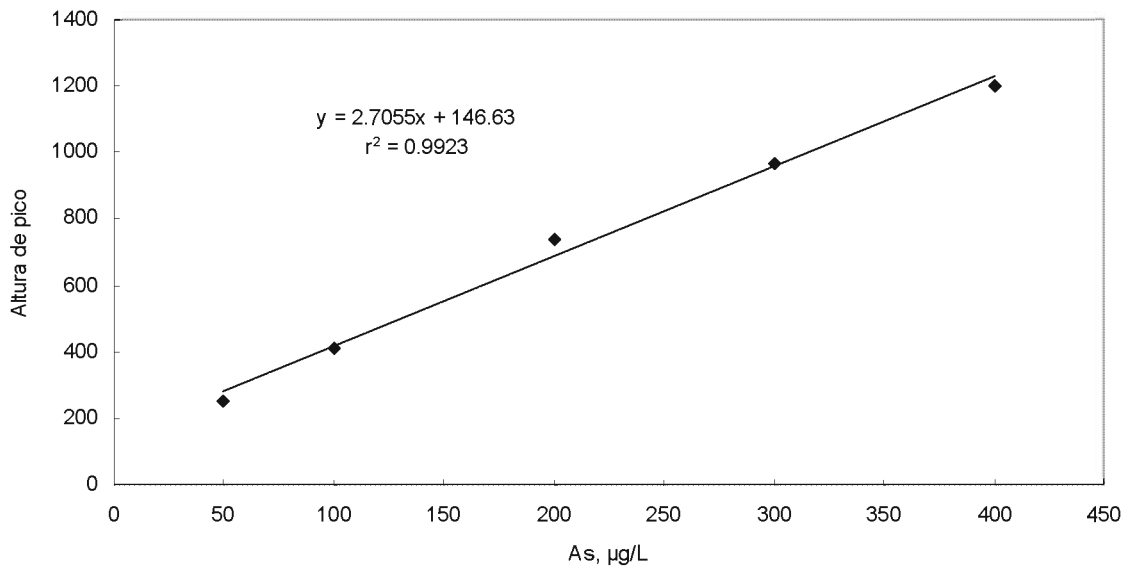


Figura 2. Curva de calibración promedio del método de Fluorescencia Atómica. Se utilizó un intervalo lineal de 50-400 µg As/L.

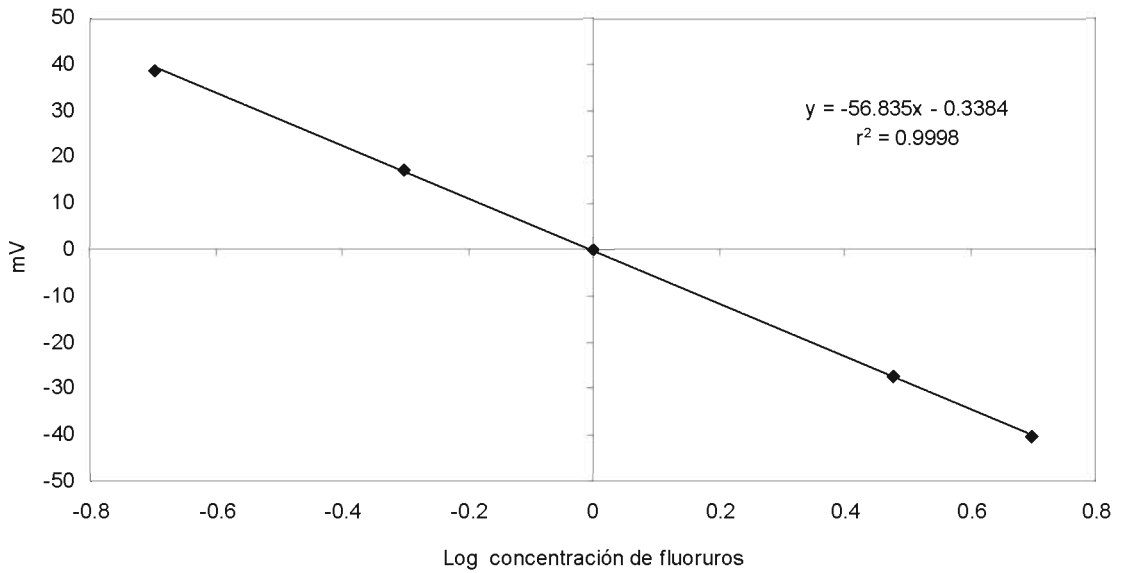


Figura 3. Curva de calibración promedio del metodo potenciometrico. Se utilizó un intervalo lineal de 0.2-5 mgF⁻/L.

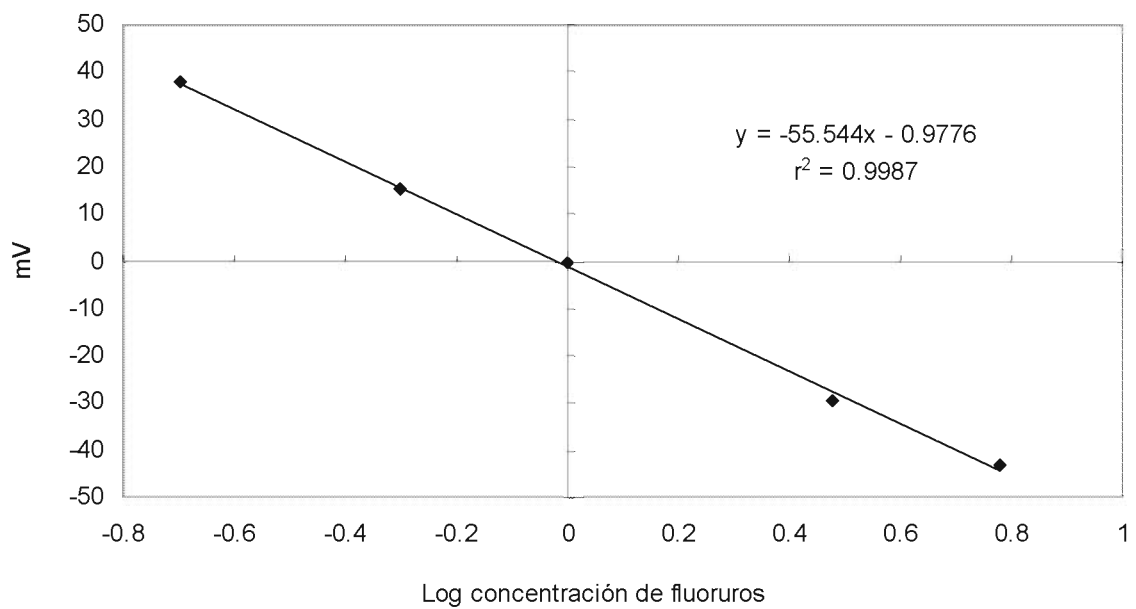


Figura 4. Curva de calibración promedio del metodo potenciometrico. Se utilizó un intervalo lineal de 1-20 mgF⁻/L.

Anexo II. Concentraciones de fluoruros y arsénico

ANEXO II

Resultados de As total, fluoruros, y familias de agua de las muestras de agua subterránea de los pozos profundos en la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.

Soledad de Graciano Sánchez, SLP.							
Clave INTERAPAS	Nombre del pozo	Coordenadas UTM		Dirección	Fluoruros, mg/L NOM 127= 1.5 mg/L	Arsénico, µg/L NOM 127= 25 µg/L	Familia de agua
		x	y				
CNA 11403	Cándido Navarro			Cándido Navarro	0,56 ± 0,07	10,19 ± 1,47	HCO ₃ -Ca
CNA248	El huizache			El Huizache, Soledad de Graciano Sánchez	0,79 ± 0,07	4,07 ± 1,52	N.D.
CSP002	Real del Potosí	307452	2454003	Fraccionamiento Real del Potosí	1,14 ± 0,03	8,68 ± 1,01	HCO ₃ - (Na-Ca-K)
SGS001	Soledad	300405.5861	2454475.3217	Negrete # 200 Centro, entre Julián de los Reyes e I. López Rayón	0,24 ± 0,02	6,41 ± 1,03	HCO ₃ - (Na-Ca-K)
SGS002	San Felipe	298527.4597	2454109.4059	Av. México y Av. Soledad San Felipe	0,34 ± 0,03	4,25 ± 1,05	HCO ₃ - (Ca-Na-K)
SGS004	Los Fresnos	297555.5594	2453358.6354	Paseo de los Fresnos #260, entre Matehuala y Avenida San Lorenzo, Col. Los Fresnos	0,73 ± 0,03	8,87 ± 0,54	HCO ₃ - (Ca-K-Na)
SGS005	Las Palmas	298502.5318	2452075.8872	Carretera 57 y Camino al Morro, Col. Las Palmas.	2,15 ± 0,03	10,37 ± 0,53	HCO ₃ - (Na-Ca-K)
SGS006	Rancho Pavón	298923.5681	2453649.1530	Martínez de la Vega y Agua Marina. Col. Pavón	0,60 ± 0,03	10,89 ± 0,53	HCO ₃ - (Ca-K-Na)
SGS007	San Francisco	300726.5712	2452475.0780	Av. San Pedro y Negrete, Col. San Francisco	2,15 ± 0,03	12,83 ± 0,53	HCO ₃ -Na
SGS008	San Antonio Infonavit	299754.3449	2451864.9122	Av. Venustiano Carranza No. 300, casi esq. Con Plutarco Elías Calles, Col. San Antonio Infonavit.	0,81 ± 0,03	5,84 ± 0,54	HCO ₃ - (Ca-Na-K)
SGS009	Polvorín	298679.4278	2451218.4066	Plaza 1° de Mayo S/n-Mapa, Jorge Eugei entre Av. Seguridad Social, Unid. Hab. Fidel Velásquez.	2,18 ± 0,03	8,85 ± 1,01	HCO ₃ - Na
SGS010	H.H.F.F.C.C.I-1	298847.5018	2451120.9926	Andador del Invierno y De la Primavera, Col. Hog. FFCC I	1,29 ± 0,03	6,75 ± 1,03	HCO ₃ - (Na-Ca-K)
SGS011	H.H.F.F.C.C.I- II	299793.4734	2450920.0571	Anahuac esquina Uxmal, Col, Hog FFCC II	2,54 ± 0,04	11,85 ± 0,99	HCO ₃ - Na
SGS013	Jardines del Valle	299236.3418	2450687.2819	Km. 0.5 Carr. SLP-Rioverde antes de Paseo de los Colorines, Col. J. Del Valle.	3,07 ± 0,05	10,01 ± 0,96	HCO ₃ - Na
SGS014	U.P.A	299671.4110	2450393.0009	Circuito poniente y circuito sur, col Hogares Ferrocarrileros	2,68 ± 0,05	9,46 ± 0,97	HCO ₃ - Na
SGS015	Benito Juárez	301697.7504	2451444.8183	San Agustín y 21 de Marzo colonia Benito Juárez Hog. Ferrocarrileros	0,32 ± 0,03	3,39 ± 1,06	HCO ₃ - (Ca-Na-K)
SGS016	21 de Marzo	301472.3786	2450262.5634	Graciano Sánchez y Francisco Villa en Pza de la Solidaridad Col. Hogares Ferrocarrileros	0,58 ± 0,04	4,70 ± 1,05	HCO ₃ - (Na-Ca-K)
SGS018	San Luis I	302485.8805	2450770.3492	Real de Catorce No. 100, Col. San Luis	0,45 ± 0,03	4,25 ± 1,05	HCO ₃ - (Na-Ca-K)

Anexo II. Concentraciones de fluoruros y arsénico

Clave INTERAPAS	Nombre del pozo	Coordenadas UTM		Dirección	Fluoruros, mg/L NOM 127= 1.5 mg/L	Arsénico, µg/L NOM 127= 25 µg/L	Familia de agua
		x	y				
SGS019	Hogares Obreros	302532.4859	2449768.1039	Circ. Líderes Obreros y Andador Talabartero, Col. Hogares Obreros	1,65 ± 0,04	9,43 ± 2,14	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SGS020	La Constancia	300009.0158	2455954.0000	Palma Real y Vía Fr.Cc. A Tampico, Col. La Constancia	0,44 ± 0,03	5,29 ± 1,04	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SGS022	San Juanita	299761.7847	2454733.6001	Porfirio Díaz s/n entre Niños Héroe y Carlos Díez Gutiérrez. Col. San Juanita	0,29 ± 0,03	3,42 ± 1,06	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)
SGS024	Rivera	302650.1081	2455184.2498	Independencia y 1° Privada de Rayón, Fracc. Rivera	0,93 ± 0,03	5,87 ± 1,04	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)
SGS025	Praderas del Maurel	299046.5532	2451871.9439	Valentín Amador s/n, entre Cedro y Roble, Fracc. Praderas del Maurel	2,51 ± 0,03	13,68 ± 0,53	HCO ₃ ⁻ -Na
SGS026	Colonia Central	298504.6112	2452884.4455	Camino Viejo a Soledad y Río Santiago, Col. Central	1,73 ± 0,03	9,33 ± 0,54	HCO ₃ ⁻ Na
SGS027	Villas del Morro	299748.9902	2452913.6549	Gral. Ignacio Martínez No. 107, entre Libertad y Lázaro Cárdenas Col. Villas del Morro	2,14 ± 0,03	13,28 ± 0,53	HCO ₃ ⁻ -Na
SGS029	Hogares Populares Pavón	299120.4203	2452970.3751	Paseo de las Aves Esq. Tucán y Zenzontle, Col. Hog. Pop Pavón	0,45 ± 0,03	3,93 ± 0,55	HCO ₃ ⁻ - (Ca-Na-K)
SGS030	Bugambilias	299141.6690	2450983.2796	Orquídeas Esq. Con Laurel, Col. Bugambilias	0,71 ± 0,03	4,78 ± 1,05	HCO ₃ ⁻ - (Ca-Na-K)
SGS031	Privada de la Hacienda	303257.8102	2451551.5016	Calzada de las Haciendas al final Frac. privada de la Hacienda	0,36 ± 0,03	3,24 ± 1,06	HCO ₃ ⁻ - (Ca-Na-K)
SGS032	H.H.F.F.C.C.I- III	300356.0878	2451212.6725	Andador Texcoco Esq. Ave. Tenochtitlán, Col. Hog. Ferrocarrileros	0,40 ± 0,04	2,99 ± 1,07	HCO ₃ ⁻ - (Ca-K-Na)
SGS033	San José del Barro	298305	2456702	San José del Barro	0,52 ± 0,07	2,54 ± 1,53	N.D.
SGS034	San José	297686.0000	2454003.0000	Rivera y San Lorenzo Col. San José	1,27 ± 0,03	3,86 ± 2,25	HCO ₃ ⁻ - (Ca-Na-K)
Ciudad San Luis Potosí, SLP							
SLP	Mezcla Planta los Filtros			Planta los Filtros	0,41 ± 0,05	NC*	SO ₄ ²⁻ -(Ca-K-Na)
SLP	Planta los Filtros			Planta los Filtros	0,41 ± 0,05	NC*	SO ₄ ²⁻ -(Ca-K-Na)
SLP	Mezcla Zona Termal			Zona Termal	3,41 ± 0,04	12,38 ± 0,98	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP	Salk II	299659.2916	2446961.5590	Ave. Salk entre Aristóteles y Sófocles	3,52 ± 0,03	11,04 ± 2,11	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP	Lomas			Sierra Vista	3,96 ± 0,08	11,45 ± 1,46	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP002	Santiago	295951.7935	2452472.7707	Av. De la Paz entre Damián Carmona y 16 de Septiembre	0,45 ± 0,02	5,48 ± 0,42	HCO ₃ ⁻ - (Ca-K-Na)
SLP003	Mercado República	296273.1127	2451714.9921	Pedro Montoya	0,38 ± 0,02	5,50 ± 2,21	HCO ₃ ⁻ - (Ca-Na-K)
SLP004	Alameda	296650.8300	2450749.0300	Alameda Juan Sarabia	0,43 ± 0,05	14,01 ± 0,39	HCO ₃ ⁻ - (Ca-Na-K)

Anexo II. Concentraciones de fluoruros y arsénico

Clave INTERAPAS	Nombre del pozo	Coordenadas UTM		Dirección	Fluoruros, mg/L NOM 127= 1.5 mg/L	Arsénico, µg/L NOM 127= 25 µg/L	Familia de agua
		x	y				
SLP005	Av. México	297244.9505	2451502.7215	Av. México con López Hermosa. Fracc. Deportivo Ferrocarrilero	0,47 ± 0,03	1,75 ± 0,49	HCO ₃ ⁻ -SO ₄ ⁻ -Cl ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP006	Oyamel	297342.8799	2452045.0308	Oyamel Con República de Perú casi Esq. con Veracruz Col. Industrial Mexicana	0,35 ± 0,03	3,28 ± 0,55	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP007	Valentín Amador	298094.9530	2451623.4680	Pról. Valentín Amador y San Lázaro Fracc. Insurgentes	0,44 ± 0,03	4,21 ± 0,55	HCO ₃ ⁻ -(Ca-K-Na)
SLP008	El Paseo	298222.6383	2450194.6726	Salvador Nava Esq. Vicente Rivera	0,66 ± 0,04	6,04 ± 2,20	HCO ₃ ⁻ -(Ca-K-Na)
SLP009	Prados Glorieta	299113.0015	2450079.5727	Carretera 57 y Av. Paseo de los Colorines.	1,74 ± 0,04	6,70 ± 2,19	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP010	Valle Dorado	299185.6258	2449319.7343	Av. Zirconio y Azabache	3,34 ± 0,04	10,98 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP011	Maya Mil	299941.7578	2449772.2788	Tenam (o Chacmol) entre Lisboa y Portugal	2,07 ± 0,05	8,43 ± 0,98	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP012	Carretera Central	300275.7169	2449055.0885	Carretera 57 Km. 422	0,88 ± 0,04	7,34 ± 1,00	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP013	Abastos II	300829.9948	2449350.9859	Estambul y Obispo Pedro Barajas , Fcto B. Anaya 2a Sección	0,97 ± 0,04	6,59 ± 1,01	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP014	Hostal del Quijote	300959.9099	2448559.3017	Carretera 57 y Av. Dalias	1,21 ± 0,04	7,72 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP015	Abastos- I	301759.5785	2449453.5188	Av. José de Gálvez y Av. Ricardo B. Anaya	1,53 ± 0,04	8,11 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP016	Industrias	301368.3492	2447814.5932	Martines de la Vega y Agua Marina	2,84 ± 0,05	10,24 ± 0,96	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP017	Prados I	301979.2278	2447956.4595	Carretera 57 y Calle 53, Fto. Prados de San Vicente 1a Sección	2,77 ± 0,05	9,75 ± 0,97	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP018	Prados II	302955.6294	2448738.1356	Calle 99 y Calle 30, Fcto Prados 2a Sección	2,01 ± 0,04	11,20 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP019	Rancho Viejo	302888.3100	2448274.2250	Calle 71 y Calle 30, Fcto Rancho Viejo	0,78 ± 0,04	6,76 ± 1,03	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)
SLP020	Ciudad 2000-I	303407.1197	2448132.6764	Cerrada de Jazmín y Calle 71, Fcto. Jardines del Rosario	2,24 ± 0,04	10,39 ± 1,00	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP021	Abastos III	302589.7042	2449181.8710	Torreón y Monclova, Unidad Abastos Infonavit,	2,02 ± 0,04	11,74 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP022	La Libertad	302930.5523	2449286.3912	Av. Santa Ana y Santa Claudia, Fcto La Libertad	1,96 ± 0,04	11,18 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP023	Juan Sarabia I	301129.3369	2447319.5418	Garantías Individuales y Obrero Mundial, Juan Sarabia	3,19 ± 0,04	12,81 ± 0,98	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP024	Juan Sarabia II	301497.9712	2447173.6929	Art. 123 y Eje 100	3,19 ± 0,04	11,48 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP026	Salk I				3,52 ± 0,03	11,57 ± 2,10	N.D.
SLP027	Salk V	300344.5181	2446178.6730	Av. Salk S/N a 100 mts del Anillo Periférico	3,54 ± 0,05	10,27 ± 0,38	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP028	Termal II	300969.3831	2446043.2737	Interior Estación Zona Termal 600 mts Anillo P.	3,39 ± 0,04	11,35 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP029	Termal I	301067.8403	2446139.9524	Noroeste 100 mts de Estación Zona Termal	3,05 ± 0,05	10,66 ± 0,96	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP030	Termal IV	301378.4704	2446585.4969	Suroeste 500 mts Estación Zona Termal	3,37 ± 0,04	11,81 ± 2,10	HCO ₃ ⁻ -Na

Anexo II. Concentraciones de fluoruros y arsénico

Clave INTERAPAS	Nombre del pozo	Coordenadas UTM		Dirección	Fluoruros, mg/L NOM 127= 1.5 mg/L	Arsénico, µg/L NOM 127= 25 µg/L	Familia de agua
		x	y				
SLP031	Juan Sarabia III	301768.3931	2446937.3937	Al final del eje 102 en la zona termal	3,22 ± 0,04	11,51 ± 2,10	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP032	Termal VI	301819.9586	2446428.0923	Al final del eje 104 en la Zona termal	3,35 ± 0,04	12,14 ± 2,09	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP033	Termal III	301658.4277	2445971.2646	Este 700 mts Estación Zona termal	3,25 ± 0,04	11,75 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP034	Termal V	301572.4975	2445390.5415	Sur 600 mts Estación Zona termal	3,50 ± 0,04	10,59 ± 2,12	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP035	Zona Industrial	303040.5577	2444986.6409	Av. Planeación S/N a espaldas de Cupro	3,17 ± 0,04	9,78 ± 1,00	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP036	Bomberos Zona Industrial	303242.1496	2445407.6860	Eje 118 junto a la estación de Bomberos	3,23 ± 0,04	10,63 ± 1,00	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP038	Pozos I	306151.6958	2444596.5753	5 de Mayo Esq. Antiguo Camino a Santa María del Río	2,72 ± 0,04	10,33 ± 0,38	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP039	Pozos II	306473.2474	2443436.8642	Comunidad de Villa de Pozos Río Moctezuma y Callejón de los Castillos	1,48 ± 0,04	14,44 ± 0,97	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)
SLP039	Pozos II grifo	306473.2474	2443436.8642	Comunidad de Villa de Pozos Río Moctezuma y Callejón de los Castillos	1,48 ± 0,04	14,03 ± 0,97	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP040	El Jaralito	311697.0000	2438265.0000	El Jaralito	0,90 ± 0,04	10,45 ± 2,12	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP042	Caja de Agua Nuevo	296450.1935	2450035.7980	Calzada de Guadalupe Esq. Con Fuero.	0,41 ± 0,05	3,38 ± 0,46	HCO ₃ ⁻ -(Ca-K-Na)
SLP043	Damián Carmona	296667.2695	2449459.5484	Calzada de Guadalupe Esq. con Carlos Díaz Gutiérrez	1,01 ± 0,04	5,60 ± 2,21	HCO ₃ ⁻ -(Ca-K-Na)
SLP045	San Luis Rey	297805.2575	2448971.7674	Laguna de Términos y Lago Malar	0,73 ± 0,04	8,80 ± 2,15	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP047	Simón Díaz I	298185.7172	2447230.4754	Prolong. Constitución (Simón Díaz) y andador Isla Esmeralda	3,45 ± 0,04	13,03 ± 0,98	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP048	Simón Díaz II	298851.7121	2447122.6720	Camino al Aguaje con Andador Isla del Carmen	3,45 ± 0,04	12,62 ± 0,98	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP051	Nicolás Zapata	295140.3098	2451018.1655	Nicolás Zapata entre Benigno Arriaga y Tomasa Steves, Col. Atlas	3,29 ± 0,05	9,65 ± 2,13	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP053	Polvillo Morales	291960.5556	2451385.5359	Polvillo esquina privada de Polvillo, residencial Morales	1,76 ± 0,02	7,36 ± 2,18	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)
SLP054	Lomas I	291400.0000	2450594.0000	Montes Aconagua y F. Canales	3,31 ± 0,03	8,95 ± 0,53	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP055	Lomas II	291838.0554	2450137.7929	Interior de la Planta los Filtros	3,40 ± 0,02	8,49 ± 1,49	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP057	Lomas III	291464.6610	2449890.6231	Montes Azules Esq. M. Blancos, Lomas II Sección	3,16 ± 0,05	10,13 ± 2,13	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP058	Lomas IV	289854.5860	2450655.7654	Cordillera Occidental Esq. Sierra Yari	3,96 ± 0,05	12,84 ± 2,08	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP060	Granjas	293776.8165	2453093.4699	Av. Granjas y Av. Vasco de Quiroga.	0,74 ± 0,02	8,34 ± 2,16	HCO ₃ ⁻ -(Na-K-Ca)
SLP062	F.D. Magdalena	294326.9095	2453785.2190	F.D. de la Magdalena Esq. V. De Quiroga	2,86 ± 0,02	9,52 ± 1,48	HCO ₃ ⁻ -Na

Anexo II. Concentraciones de fluoruros y arsénico

Clave INTERAPAS	Nombre del pozo	Coordenadas UTM		Dirección	Fluoruros, mg/L NOM 127= 1.5 mg/L	Arsénico, µg/L NOM 127= 25 µg/L	Familia de agua
		x	y				
SLP063	Santa Cruz	294480.9391	2453259.6148	Calle 3 Esq. Calle 13, Col. Industrial Aviación	1,78 ± 0,02	10,33 ± 2,12	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)
SLP064	Los Reyes	294367.6082	2452498.3746	Nefertiti y Rey Arturo, Col. Los Reyes	0,54 ± 0,02	7,24 ± 2,18	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)
SLP065	Tercera Grande	296776.6323	2453488.4389	Pról. Jaime Sordo y las Morenas.	0,45 ± 0,03	11,54 ± 0,53	HCO ₃ ⁻ -(Ca-K-Na)
SLP066	Pedrosa II	296514.6589	2453870.8053	Mural y Campo Santo, Col. Campesina.	0,66 ± 0,03	11,12 ± 0,53	HCO ₃ ⁻ -(Ca-K-Na)
SLP068	Tecnológico	292602.0576	2453158.7539	Roble y Tabaco, Fcto. Tecnológico	3,39 ± 0,02	11,40 ± 2,10	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP069	Infonavit Morales	291740.4273	2452491.7500	Periódico Oficial y V escondida	3,60 ± 0,02	11,00 ± 2,11	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP070	Las Julias	292026.7329	2453323.2204	Gorrión y Pelicanos, Col. Las Julias,	3,07 ± 0,02	10,64 ± 2,12	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP071	Lomas del Mezquital	292420.6046	2453768.2482	Prolongación Ponciano Arriaga y del Jaralito col. Morelos	3,67 ± 0,02	11,26 ± 2,11	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP072	Mezquital I	292880.3677	2453955.3327	Av. Revolución S/N, después de Prolongación Jacarandas, Col. Mezquital	3,36 ± 0,02	11,33 ± 2,11	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP073	Mezquital II	290553.3141	2454406.7667	Camino Antiguo al Desierto	3,36 ± 0,02	12,12 ± 2,09	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP074	San ángel	293328.8216	2454712.0382	San Rubén entre San Valentín y San Ignacio, Col. San Ángel	3,42 ± 0,02	11,45 ± 2,10	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP075	Saucito	293936.1671	2454731.6784	Benjamín Argumedo y Maclovio Herrera	3,36 ± 0,02	11,81 ± 2,10	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP076	Imperio Azteca	294929.6394	2455206.3402	Revolución Mexicana y Mártires de Cananea	0,55 ± 0,02	6,85 ± 2,19	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP077	Sauzalito	293935.3613	2454733.3576	Pánfilo Natera y San Vicente Mártir	2,58 ± 0,02	9,24 ± 2,14	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP078	Bocas	292077.0000	2491128.0000	Delegación de Bocas	0,66 ± 0,02	4,80 ± 0,43	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-Mg)
SLP079	Ciudad 2000-II	303814.9278	2447873.8285	Calle 24 entre calle 70 y 71, Ciudad 2000	2,30 ± 0,04	10,56 ± 1,00	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP080	Las Mercedes I	291020.2279	2453526.5725	Km. 419, C. Central Ext. La Libertad, Fcto Las Mercedes	2,89 ± 0,04	11,71 ± 0,99	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP082	Alameda II	291020.2279	2453526.5725	Millonaria en las Julias	3,48 ± 0,02	10,81 ± 2,11	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP085	Jacarandas II	292349.8446	2454890.4089	Av. Mezquitic casi Esq. Con Zacatecas col. Forestal	3,29 ± 0,02	10,97 ± 2,11	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP086	Dalias	300149.8629	2447398.7212	Antiguo Camino a Simón Díaz y T de la Huasteca,	2,93 ± 0,04	13,20 ± 0,98	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP087	Muñoz II	293794.8560	2451206.8578	Muños Esq. Con García Diego	4,16 ± 0,02	11,14 ± 1,47	HCO ₃ -Na
SLP089	Valle de Santiago	294111.3821	2451652.5611	Prolongación Albino García cerca de P. Villanueva	4,13 ± 0,02	11,65 ± 2,10	HCO ₃ -Na
SLP091	El Aguaje	299572.7025	2445839.8290	Av. Salk entre Tolomeo y Francisco Martínez de la Vega S/n, col El Aguaje	3,68 ± 0,05	11,19 ± 0,95	HCO ₃ ⁻ -Na

Anexo II. Concentraciones de fluoruros y arsénico

Clave INTERAPAS	Nombre del pozo	Coordenadas UTM		Dirección	Fluoruros, mg/L NOM 127= 1.5 mg/L	Arsénico, µg/L NOM 127= 25 µg/L	Familia de agua
		x	y				
SLP092	Balcones del Valle	293696.5785	2446849.3371	Parte sur del Parque Tangamanga I	3,83 ± 0,05	9,48 ± 1,48	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP094	Coronel Espinosa	295322.7582	2452252.8394	Coronel Espinosa s/n entre Matamoros y Pedro Moreno, Barrio de Santiago	0,57 ± 0,02	8,00 ± 2,16	HCO ₃ ⁻ -(Ca-Na-K)
SLP096	Maria Cecilia	293759.1085	2456586.6813	General Van Moltke S/n con Pánfilo Natera	2,55 ± 0,02	9,55 ± 2,14	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP097	Estrella del Oriente	304820.0453	2447880.3001	Valle de Huasteca Esq. Valle Raboso, Frac. Los Silos	1,24 ± 0,04	7,42 ± 1,02	HCO ₃ ⁻ -(Na-K-Ca)
SLP098	Españita	299118.0510	2448776.5357	Burgos Esq. Pamplona ,	1,02 ± 0,04	8,94 ± 1,01	(HCO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻ -Cl)-Ca
SLP099	Universidad	291996.1263	2449820.6960	Facultad de Ciencias Químicas, UASLP	3,90 ± 0,05	14,14 ± 2,06	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP100	Fovisste	293117.9358	2451060.4539	Obsidiana frente al #215 entre Jade y Yeso, Col. Fovisste	2,88 ± 0,02	9,20 ± 2,14	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP101	Ponciano Arriaga	294474.6100	2456429.3300	Ministerio de justicia con Juan Josfras.	2,15 ± 0,02	10,42 ± 2,12	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP103	Valles del Campestre	291744.8457	2452683.7112	Valle de Calafia y esquina Valle de Batán, Valle Campestre	2,66 ± 0,02	9,31 ± 2,14	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP105	Halcones	289645.0017	2449016.9906	Ant 106 Cerrada Rincón de la Cuesta entre Rinconada del Lago y Rincón de la Alborada, Frac. Rinconada de los Andes	4,02 ± 0,05	12,45 ± 2,09	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP106	Unidad Deportiva	299386.9321	2450144.2230	Unidad Deportiva Universitaria	0,64 ± 0,04	4,13 ± 0,44	HCO ₃ ⁻ -(Ca-K-Na)
SLP107	La Pila II	306472.0000	24379761.0000	Calle Morelos Delegación la Pila	2,00 ± 0,04	9,63 ± 0,97	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP108	Los Salazares II	291433.2445	2455419.1733	Av. Mexquitic y Anillo periférico Poniente col. Wenceslao	3,08 ± 0,02	10,55 ± 2,12	HCO ₃ ⁻ -Na
SLP109	Parque de Morales	292210.2858	2450789.0097	Parque de Morales Artistas entre Privada del Parque y Av. Del Lago	3,35 ± 0,05	10,32 ± 2,12	HCO ₃ ⁻ -Na
SLPr07	La Venadita	295097.2613	2453147.6873	Pasaje 19 Ind. Aviación	2,16 ± 0,02	10,86 ± 2,11	HCO ₃ ⁻ -(Na-Ca-K)

En negritas se resaltan los resultados que se encuentran mayores al límite máximo permisible de la NOM-127-SSA1-1994. El valor para fluoruros es 1.5 mg/L y para arsénico 25 µg/L.

NC* = No cuantificable, la concentración es menor a 1 µg/L.

ANEXO III

Análisis fisicoquímicos de muestras de agua subterránea pertenecientes a los pozos de la Ciudad de San Luis Potosí. Todos los valores de los iones y concentraciones están dados en mg/L, los valores de pH fueron determinados en campo, temperatura en °C, conductividad eléctrica (CE) en mmhos/cm, el color aparente en unidades de Pt-Co y las alcalinidades y durezas en mg/L CaCO₃.

AF=Alcalinidad fenoftaleina, AT= Alcalinidad total. La clave es de INTERAPAS.

Análisis realizados por Comisión Nacional del agua (CNA) y por Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

Clave INTERAPAS	Muestra	T	pH	CE	Color	Sólidos Totales	AF	AT	Dureza total	Dureza Ca ⁺²	Dureza Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	F ⁻ CNA	F ⁻ UASLP
CNA114 03	Cándido Navarro	24,5	7,20	247	< 2.5	221,0	0.48	98,63	76,52	72,49	4,03	15,4	10,0	0,3	120,32	9,89	6,68	29,04	0,98	0,47	0,56
CNA248	El Huizache	21,7	7,37	504	< 2.5	-	0.48	90,01	-	-	-	41,4	12,5	0,3	109,81	73,85	45,47	-	-	0,51	0,79
CSP02	Real del Potosí	30	7,65	383	< 2.5	-	4,4	144,30	88,89	87,88	1,01	43,2	21,0	2,7	176,05	15,53	35,11	35,20	0,25	1,57	1,14
SGS001	Soledad	23	7,55	242	< 2.5	207,5	2,2	87,69	42,42	41,41	1,01	26,2	19,0	1,3	106,98	9,32	13,38	16,59	0,25	1,69	0,24
SGS002	San Felipe	29	7,15	222	< 2.5	202,0	1,1	72,15	47,47	42,42	5,05	13,8	23,4	0,7	88,02	9,94	13,17	16,99	1,23	0,90	0,34
SGS004	Los Fresnos	28	7,13	282	< 2.5	250,0	2,2	94,35	64,65	61,62	3,03	18,5	34,7	1,3	115,11	11,02	20,32	24,68	0,74	1,27	0,73
SGS005	Las Palmas	35	7,53	333	< 2.5	267,0	5,6	124,32	57,58	52,53	5,05	33,6	24,7	3,3	151,67	17,86	12,97	21,04	1,23	2,72	2,15
SGS006	Rancho Pavón	30	7,20	252	< 2.5	206,0	1,1	76,59	56,57	52,53	4,04	12,3	24,0	0,7	93,44	10,95	12,36	21,04	0,98	1,25	0,60
SGS007	San Francisco	22	7,34	272	< 2.5	207,0	5,6	107,67	38,38	37,37	1,01	33,6	15,0	3,3	131,36	9,47	18,68	14,97	0,25	2,45	2,15
SGS008	San Antonio Infonavit	24	7,52	242	< 2.5	218,0	3,3	89,91	46,46	42,42	4,04	20,8	19,7	2,0	109,69	13,43	17,66	16,99	0,98	1,35	0,81
SGS009	Polvorín	35	7,76	323	< 2.5	248,0	4,4	115,44	52,53	50,51	2,02	49,9	20,0	2,7	140,84	11,65	23,79	20,23	0,49	2,60	2,18
SGS010	H.H.F.F.C.C.I-1	30	7,76	282	< 2.5	260,0	4,4	101,01	55,56	48,48	7,08	28,0	35,0	2,7	123,23	11,57	14,81	19,42	1,72	1,52	1,29
SGS011	H.H.F.F.C.C.I- II	35	6,85	289	< 2.5	244,0	< 0.48	114,90	37,23	35,24	1,99	50,0	3,5	0,3	140,18	14,83	13,92	14,12	0,48	2,00	2,54
SGS013	Jardines del Valle	37	7,60	353	< 2.5	298,0	2,1	127,21	53,06	51,02	2,04	36,8	12,1	1,3	155,20	12,03	20,42	20,44	0,50	2,88	3,07
SGS014	U.P.A.	37	6,99	303	< 2.5	249,0	< 0.48	118,25	41,28	40,27	1,01	55,1	3,5	0,3	144,27	15,28	18,11	16,13	0,25	2,10	2,68
SGS015	Benito Juárez	24	7,52	222	< 2.5	268,0	2,2	69,93	51,52	47,47	4,05	15,4	21,0	1,3	85,31	13,20	7,87	19,01	0,98	0,56	0,32
SGS016	21 de Marzo	25	6,85	1006	< 2.5	-	0,0	240,53	228,57	222,45	6,12	135,7	134	0,0	293,44	82,29	76,59	89,10	1,49	1,36	0,58

Anexo III. Análisis físicoquímicos

Clave INTERAPAS	Muestra	T	pH	CE	Color	Sólidos Totales	AF	AT	Dureza total	Dureza Ca ⁺²	Dureza Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	F CNA	F UASLP
SGS018	San Luis I	27	7,58	232	< 2.5	224,0	3,3	75,48	45,45	42,42	3,03	20,0	17,5	2,0	92,09	13,20	8,07	16,99	0,74	0,63	0,45
SGS019	Hogares Obreros	32	7,63	383	< 2.5	299,0	5,6	143,19	59,60	57,58	2,02	24,6	30,0	3,3	174,69	14,75	28,68	23,06	0,49	2,28	1,65
SGS020	La Constancia	27	7,51	171	< 2.5	173,0	2,2	67,71	39,39	36,36	3,03	13,8	18,0	1,3	82,61	5,20	6,44	14,56	0,74	0,90	0,44
SGS022	San Juanita	20	7,09	121	< 2.5	158,0	0,0	45,51	20,20	19,19	1,01	11,7	13,8	0,0	55,52	5,05	4,40	7,69	0,25	0,73	0,29
SGS024	Rivera	32	7,57	262	< 2.5	209,0	5,6	113,22	50,51	49,49	1,02	32,8	17,5	3,3	138,13	8,54	11,34	19,82	0,25	1,52	0,93
SGS025	Praderas del Maurel	35	7,60	323	< 2.5	237,5	3,3	123,21	45,45	43,43	2,02	42,4	12,5	2,0	150,32	14,75	18,28	17,40	0,49	3,02	2,51
SGS026	Colonia Central	31	7,66	353	< 2.5	272,0	11,1	122,10	51,52	50,51	1,01	42,4	20,0	6,7	148,96	19,33	19,71	20,23	0,25	1,54	1,73
SGS027	Villas del Morro	35	7,59	282	< 2.5	205,0	5,6	108,78	39,39	37,37	2,02	34,4	12,5	3,3	132,71	10,09	12,36	14,97	0,49	2,55	2,14
SGS029	Hogares Populares Pavón	29	6,89	313	< 2.5	271,0	0,0	88,80	79,80	74,75	5,05	21,5	30,9	0,0	108,34	19,25	23,28	29,94	1,23	0,89	0,45
SGS030	Bugambilias	32	7,72	282	< 2.5	280,0	4,4	105,45	65,66	60,61	5,05	18,5	25,3	2,7	128,65	11,65	17,66	24,28	1,23	1,32	0,71
SGS031	Privada de la Hacienda	27	7,66	232	< 2.5	233,7	4,4	94,35	57,58	54,55	3,03	16,2	19,0	2,7	115,11	10,09	6,24	21,85	0,74	0,66	0,36
SGS032	H.H.F.F.C.C.I- III	28	7,35	188	< 2.5	202,0	0,0	66,60	31,31	27,27	4,04	7,5	21,0	0,0	81,25	9,16	7,05	10,92	0,98	0,63	0,40
SGS033	San José del Barro	22	7,00	494	< 2.5	402,0	0,48	158,56	-	-	-	46,2	18,7	0,3	192,75	22,62	26,53	-	-	0,44	0,52
SGS034	San José	27	7,43	333	< 2.5	-	1,1	94,35	71,72	64,65	7,07	25,4	28,1	0,7	115,11	16,85	12,56	25,90	1,72	1,80	1,27
SLP	Mezcla Planta Filtros	22	7,51	183	< 2.5	216,0	0,0	13,77	44,67	30,46	14,21	8,3	20,8	0,0	16,80	6,75	50,85	12,20	3,45	0,66	0,41
SLP	Planta Los Filtros	21	6,72	199	< 2.5	-	0,0	13,77	50,76	44,67	6,09	8,9	26,3	0,0	16,80	3,79	53,90	17,89	1,48	0,41	0,41
SLP	Mezcla Zona Termal	36	7,57	365	< 2.5	273,0	4,4	132,09	50,51	49,49	1,02	66,3	15,0	2,7	161,15	14,36	29,30	19,82	0,25	3,61	3,41
SLP	Salk II	37	7,58	383	< 2.5	287,0	5,6	135,42	52,53	51,52	1,01	61,7	16,3	3,3	165,21	15,92	29,91	20,64	0,25	3,85	3,52
SLP	Lomas	30,3	7,23	373	< 2.5	-	0,96	124,48	-	-	-	60,0	8,5	0,57	151,86	18,42	31,60	-	-	2,91	3,96
SLP002	Santiago	26	6,55	197	< 2.5	-	0,0	72,29	42,64	40,61	2,03	13,6	27,2	0,0	88,20	8,95	4,66	16,27	0,49	0,63	0,45
SLP003	Mercado República	28	6,60	270	< 2.5	261,0	0,0	82,62	56,85	48,73	8,12	22,1	27,8	0,0	100,80	12,14	12,69	19,52	1,97	0,59	0,38
SLP004	Alameda	24,5	7,56	916	< 2.5	-	0,0	235,18	255,10	208,16	46,94	35,2	177,9	0,0	286,92	45,03	74,04	83,38	11,41	0,55	0,43

Anexo III. Análisis físicoquímicos

Clave INTERAPAS	Muestra	T	pH	CE	Color	Sólidos Totales	AF	AT	Dureza total	Dureza Ca ⁺²	Dureza Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	F ⁻ CNA	F ⁻ UASLP
SLP005	Av. México	26	7,01	232	< 2.5	184,0	0,0	41,07	51,52	43,43	8,09	13,8	22,0	0,0	50,11	10,64	37,05	17,40	1,97	1,03	0,47
SLP006	Oyamel	30	7,15	272	< 2.5	248,0	0,0	83,25	64,65	56,57	8,08	15,6	26,3	0,0	101,57	15,22	22,36	22,66	1,96	0,68	0,35
SLP007	Valentín Amador	30	7,10	272	< 2.5	266,0	1,1	97,68	54,55	51,52	3,03	18,5	37,5	0,7	119,17	13,97	43,79	20,64	0,74	1,05	0,44
SLP008	El Paseo	30	7,53	348	< 2.5	292,0	0,0	101,56	83,67	79,59	4,08	14,1	34,4	0,0	123,90	16,15	28,68	31,88	0,99	0,64	0,66
SLP009	Prados Glorieta	31	7,51	323	< 2.5	273,0	0,0	100,49	61,22	51,02	10,20	21,3	22,3	0,0	122,59	15,06	21,13	20,44	2,48	1,54	1,74
SLP010	Valle Dorado	38	7,16	353	< 2.5	251,0	0,0	126,14	48,98	46,94	2,04	50,8	10,8	0,0	153,89	12,58	28,28	18,80	0,50	3,24	3,34
SLP011	Maya Mil	34	7,37	303	< 2.5	250,0	0,0	109,04	46,94	44,90	2,04	19,0	20,3	0,0	133,03	11,08	20,73	17,99	0,50	1,57	2,07
SLP012	Carretera Central	31	7,51	303	< 2.5	269,0	0,0	94,07	61,22	59,18	2,04	25,1	30,3	0,0	114,77	12,97	19,09	23,71	0,50	0,86	0,88
SLP013	Abastos II	30	7,40	323	< 2.5	310,0	0,0	111,18	69,39	65,31	4,08	26,4	30,0	0,0	135,63	11,88	18,68	26,16	0,99	0,86	0,97
SLP014	Hostal del Quijote	31	7,46	364	< 2.5	322,5	0,0	117,59	75,51	69,39	6,12	28,2	33,2	0,0	143,46	15,53	25,83	27,79	1,49	1,22	1,21
SLP015	Abastos- I	31	7,45	323	< 2.5	292,0	0,0	116,52	73,47	69,39	4,08	24,9	19,3	0,0	142,16	11,72	14,81	27,79	0,99	1,49	1,53
SLP016	Industrias	37	7,21	360	< 2.5	282,0	0,0	124,00	51,02	46,94	4,08	48,6	13,3	0,0	151,28	13,74	27,26	18,80	0,99	0,86	2,84
SLP017	Prados I	33	7,32	404	< 2.5	308,0	0,0	133,63	57,14	55,10	2,04	51,3	16,7	0,0	163,02	20,50	29,91	22,07	0,50	2,82	2,77
SLP018	Prados II	35	7,83	303	< 2.5	248,0	6,7	116,55	46,46	45,45	1,01	54,1	11,3	4,0	142,19	11,80	19,71	18,21	0,25	2,50	2,01
SLP019	Rancho Viejo	28	7,71	383	< 2.5	322,0	6,7	127,65	84,85	80,81	4,04	38,1	25,9	4,0	155,73	18,63	30,11	32,37	0,98	1,20	0,78
SLP020	Ciudad 2000-I	34,5	7,75	308	< 2.5	249,0	6,7	118,77	49,49	47,47	2,02	46,6	12,5	4,0	144,90	10,64	20,52	19,01	0,49	2,70	2,24
SLP021	Abastos III	33	7,66	303	< 2.5	245,0	5,6	116,55	42,42	40,40	2,02	52,4	12,5	3,3	142,19	11,80	18,28	16,18	0,49	2,28	2,02
SLP022	La Libertad	29	7,64	303	< 2.5	236,0	5,6	116,55	45,45	43,43	2,02	52,4	11,3	3,3	142,19	11,57	17,87	17,40	0,49	2,31	1,96
SLP023	Juan Sarabia I	38	7,48	353	< 2.5	305,0	4,3	124,00	48,98	46,94	2,04	51,8	13,3	2,6	151,28	12,34	21,95	18,80	0,50	3,63	3,19
SLP024	Juan Sarabia II	38	7,48	353	< 2.5	305,0	4,3	124,00	48,98	46,94	2,04	51,8	13,3	2,6	151,28	12,34	21,95	18,80	0,50	3,63	3,19
SLP027	Salk V	36	7,68	384	< 2.5	291,0	2,1	130,42	51,02	46,94	4,08	51,5	17,5	1,3	159,11	14,36	33,79	18,80	0,99	3,21	3,54
SLP028	Termal II	36	7,33	385	< 2.5	283,0	0,0	125,07	51,02	48,98	2,04	48,0	12,1	0,0	152,59	14,13	30,32	19,62	0,50	2,99	3,39
SLP029	Termal I	37	7,61	380	< 2.5	293,0	0,0	125,07	48,98	44,90	4,08	50,7	15,8	0,0	152,59	13,59	34,20	17,99	0,99	2,97	3,05
SLP030	Termal IV	36	7,40	353	< 2.5	292,0	0,0	122,94	48,98	46,94	2,04	51,5	15,0	0,0	149,98	13,43	28,07	18,80	0,50	3,29	3,37
SLP031	Juan Sarabia III	36,5	7,47	365	< 2.5	274,0	4,3	126,14	51,02	48,98	2,04	50,8	15,0	2,6	153,89	12,03	30,73	19,62	0,50	3,36	3,22

Anexo III. Análisis físicoquímicos

Clave INTERAPAS	Muestra	T	pH	CE	Color	Sólidos Totales	AF	AT	Dureza total	Dureza Ca ⁺²	Dureza Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	F ⁻ CNA	F ⁻ UASLP
SLP032	Termal VI	36,5	7,53	374	< 2.5	294,0	4,3	125,07	51,02	48,98	2,04	54,4	17,5	2,6	152,59	13,28	26,24	19,62	0,50	3,44	3,35
SLP033	Termal III	37,5	7,18	357	< 2.5	287,0	0,0	126,14	48,98	44,90	4,08	46,3	13,8	0,0	153,89	13,59	26,44	17,99	0,99	3,04	3,25
SLP034	Termal V	35	7,61	353	< 2.5	260,0	0,0	128,28	46,94	44,90	2,04	48,9	17,5	0,0	156,50	13,59	30,32	17,99	0,50	3,71	3,50
SLP035	Zona Industrial	36	7,55	364	< 2.5	291,0	4,3	124,00	51,02	48,98	2,04	50,7	19,2	2,6	151,28	14,05	26,64	19,62	0,50	3,01	3,17
SLP036	Bomberos Zona Industrial	36	7,53	374	< 2.5	277,0	4,3	122,94	51,02	48,98	2,04	49,7	15,0	2,6	149,98	14,13	30,73	19,62	0,50	3,04	3,23
SLP038	Pozos I	35	7,20	343	< 2.5	271,0	2,1	112,25	51,02	46,94	4,08	48,3	15,8	1,3	136,94	12,97	25,62	18,80	0,99	2,78	2,72
SLP039	Pozos II	28	7,60	232	< 2.5	234,0	3,2	82,31	38,78	34,70	4,08	21,5	25,0	1,9	100,42	9,70	6,03	13,90	0,99	3,33	1,48
SLP040	El Jaralito	28,5	7,32	378	< 2.5	326,0	0,0	128,52	105,58	81,22	24,36	32,0	19,6	0,0	156,79	18,21	22,33	32,53	5,92	0,73	0,90
SLP042	Caja de Agua Nuevo	30	7,40	256	< 2.5	259,0	0,0	65,21	61,22	48,98	12,24	10,3	24,3	0,0	79,55	17,86	14,60	19,62	2,97	0,45	0,41
SLP043	Internado Damián Carmona	29	7,27	411	< 2.5	325,0	0,0	111,18	89,80	85,71	4,09	18,2	34,4	0,0	135,63	24,53	37,46	34,33	0,99	1,04	1,01
SLP045	San Luis Rey	29	7,28	485	< 2.5	387,0	0,0	150,73	116,33	106,12	10,21	24,1	35,0	0,0	183,89	24,38	45,94	42,51	2,48	0,78	0,73
SLP047	Simón Díaz I	35	7,50	373	< 2.5	282,0	3,3	133,20	56,57	55,56	1,01	64,5	18,3	2,0	162,50	15,60	26,24	22,26	0,25	3,85	3,45
SLP048	Simón Díaz II	34	7,53	385	< 2.5	306,0	2,1	126,14	57,14	55,10	2,04	52,1	20,0	1,3	153,89	17,78	27,26	22,07	0,50	3,39	3,45
SLP051	Nicolás Zapata	36	7,09	370	< 2.5	302,0	0,0	134,83	56,85	52,79	4,06	75,0	17,1	0,0	164,49	14,00	17,63	21,15	0,99	3,66	3,29
SLP053	Polvillo Morales	28,5	6,76	256	< 2.5	254,0	0,0	75,74	54,82	48,73	6,09	31,7	18,7	0,0	92,40	9,86	22,94	19,52	1,48	1,96	1,76
SLP054	Lomas I	35	7,61	414		206		161,6	88,19	70,55	17,64	64	4,3	0	197,15	14,21	44	28,20	4,29	3,31	3,31
SLP055	Lomas II	33	7,87	373	< 2.5	275,0	< 0.48	125,44	58,39	56,38	2,01	61,6	6,3	0,3	153,03	17,38	40,73	22,58	0,49	3,19	3,40
SLP056	Cortijo 5 Hermanos	34	7,04	465	< 2.5	380,0	0,0	158,36	121,82	83,25	38,57	53,0	29,1	0,0	193,19	16,69	38,67	33,35	9,37	3,07	2,87
SLP057	Lomas III	29	7,36	359	< 2.5	255,0	0,0	121,64	58,88	56,85	2,03	64,5	17,0	0,0	148,39	13,20	30,69	22,77	0,49	3,41	3,16

Anexo III. Análisis físicoquímicos

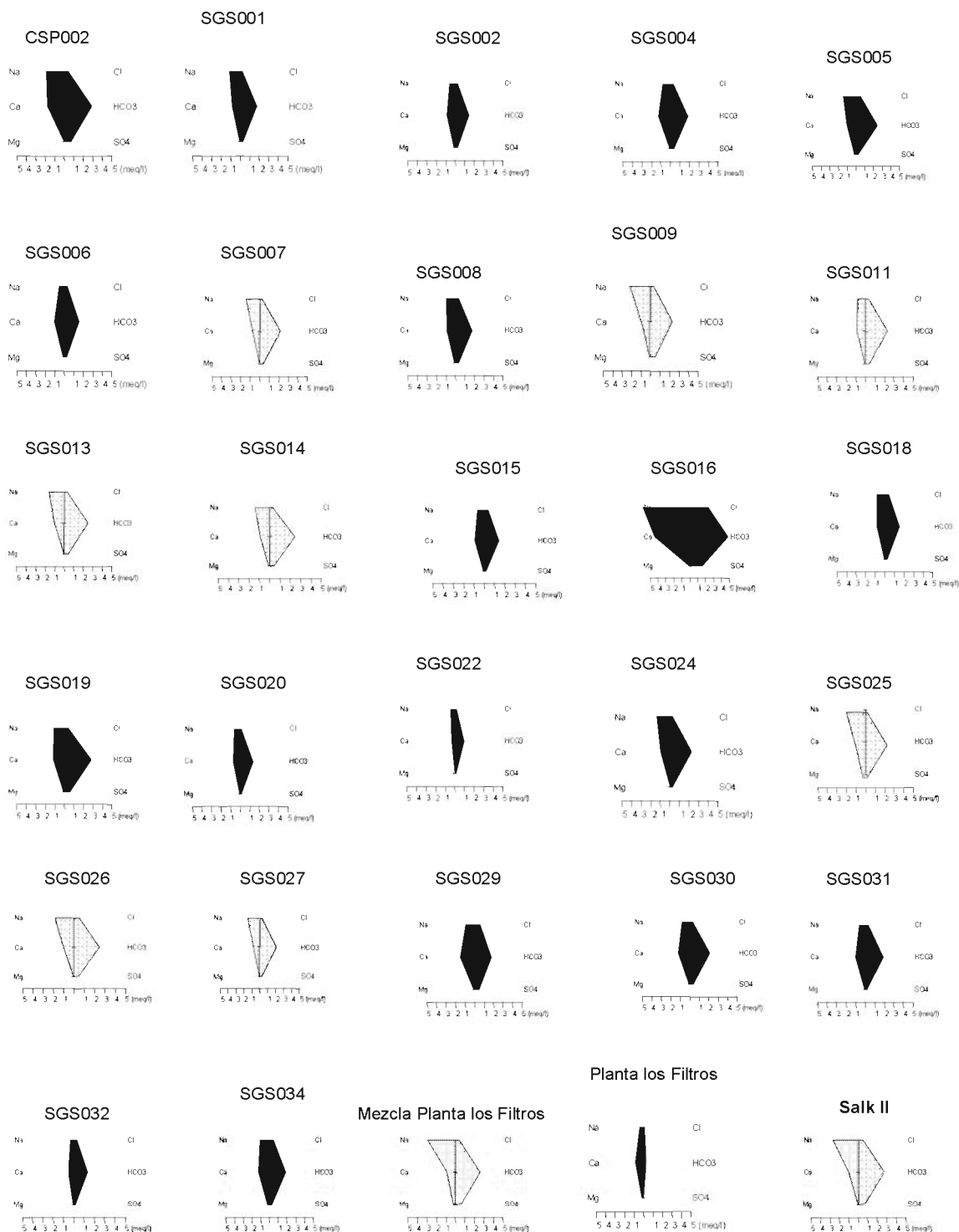
Clave INTERAPAS	Muestra	T	pH	CE	Color	Sólidos Totales	AF	AT	Dureza total	Dureza Ca ⁺²	Dureza Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	F ⁻ CNA	F ⁻ UASLP
SLP058	Lomas IV	29	7,25	373	< 2.5	286,0	0,0	131,96	56,85	54,82	2,03	79,1	21,3	0,0	160,99	14,03	23,16	21,96	0,49	4,47	3,96
SLP060	Granjas	29	7,01	290	< 2.5	265,0	0,0	90,65	58,88	54,82	4,06	29,6	45,0	0,0	110,60	12,52	16,43	21,96	0,99	1,50	0,74
SLP062	Fray Diego de la Magdalena	33	7,11	299	< 2.5	-	0,0	113,60	38,58	34,52	4,06	44,7	16,0	0,0	138,60	12,86	13,47	13,83	0,99	3,84	2,86
SLP063	Santa Cruz	28	7,04	292	< 2.5	262,0	0,0	94,10	52,79	44,67	8,12	41,5	27,5	0,0	114,80	14,03	12,41	17,89	1,97	1,96	1,78
SLP064	Los Reyes	29	6,49	245	< 2.5	224,0	0,0	76,88	42,64	40,61	2,03	22,1	26,9	0,0	93,80	12,90	11,86	16,27	0,49	0,86	0,54
SLP065	Tercera Grande	29	7,04	272	< 2.5	226,0	2,2	99,90	72,73	61,62	11,11	14,6	30,0	1,3	121,88	10,48	13,58	24,68	2,70	1,03	0,45
SLP066	Pedroza II	30	7,02	282	< 2.5	-	2,2	108,78	68,69	61,62	7,07	16,2	32,8	1,3	132,71	11,26	12,97	24,68	1,72	1,05	0,66
SLP068	Tecnológico	32	7,07	359	< 2.5	267,0	0,0	128,52	50,76	48,73	2,03	55,2	12,1	0,0	156,79	13,28	19,20	19,52	0,49	4,21	3,39
SLP069	Infonavit Morales	31	6,97	373	< 2.5	292,0	0,0	130,82	60,91	58,88	2,03	66,9	13,8	0,0	159,59	13,66	21,78	23,58	0,49	4,07	3,60
SLP070	Las Julias	35	7,10	365	< 2.5	-	0,0	127,37	-	-	-	47,7	19,6	0,0	155,39	13,43	24,73	-	-	3,97	3,07
SLP071	Lomas del Mezquital	36	6,90	363	< 2.5	294,0	0,0	127,95	52,79	50,76	2,03	54,4	14,6	0,0	156,09	13,24	22,66	20,33	0,49	4,00	3,67
SLP072	Mezquital I	34	6,96	353	< 2.5	261,0	0,0	129,67	58,88	54,82	4,06	49,6	9,2	0,0	158,19	13,50	23,35	21,96	0,99	3,97	3,36
SLP073	Mezquital II	33	7,09	353	< 2.5	263,0	0,0	126,23	58,88	54,82	4,06	68,8	12,5	0,0	153,99	13,58	22,24	21,96	0,99	3,86	3,36
SLP074	San Ángel	32	7,26	361	< 2.5	268,0	0,0	129,67	67,00	54,82	12,18	54,6	11,3	0,0	158,19	13,66	18,88	21,96	2,96	3,83	3,42
SLP075	Saucito	31	6,96	363	< 2.5	269,0	0,0	128,52	64,97	52,79	12,18	58,9	11,3	0,0	156,79	14,03	24,46	21,15	2,96	3,92	3,36
SLP076	Imperio Azteca	27	6,93	230	< 2.5	226,0	0,0	89,51	48,73	46,70	2,03	21,3	24,7	0,0	109,20	10,39	3,28	18,71	0,49	1,15	0,55
SLP077	Sauzalito	32	7,77	382	< 2.5	302,0	0,0	131,96	71,06	69,03	2,03	50,7	12,7	0,0	160,99	13,50	18,18	27,65	0,49	3,31	2,58
SLP078	Bocas	25	6,91	1158	< 2.5	717,0	0,0	344,25	215,22	174,61	40,61	92,7	30,3	0,0	419,99	49,46	209,27	69,94	9,87	1,25	0,66
SLP079	Ciudad 2000-II	34	7,63	353	< 2.5	278,0	6,7	124,32	51,52	49,49	2,03	53,2	12,5	4,0	151,67	15,37	27,05	19,82	0,49	2,62	2,30
SLP082	Alameda II	35	7,14	404	< 2.5	289,5	0,0	135,41	50,76	48,73	2,03	64,8	12,5	0,0	165,19	13,50	29,58	19,52	0,49	4,31	3,48
SLP085	Jacarandas II	33	7,19	363	< 2.5	274,0	0,0	128,52	50,76	48,73	2,03	52,1	14,2	0,0	156,79	13,50	17,81	19,52	0,49	3,83	3,29

Anexo III. Análisis fisicoquímicos

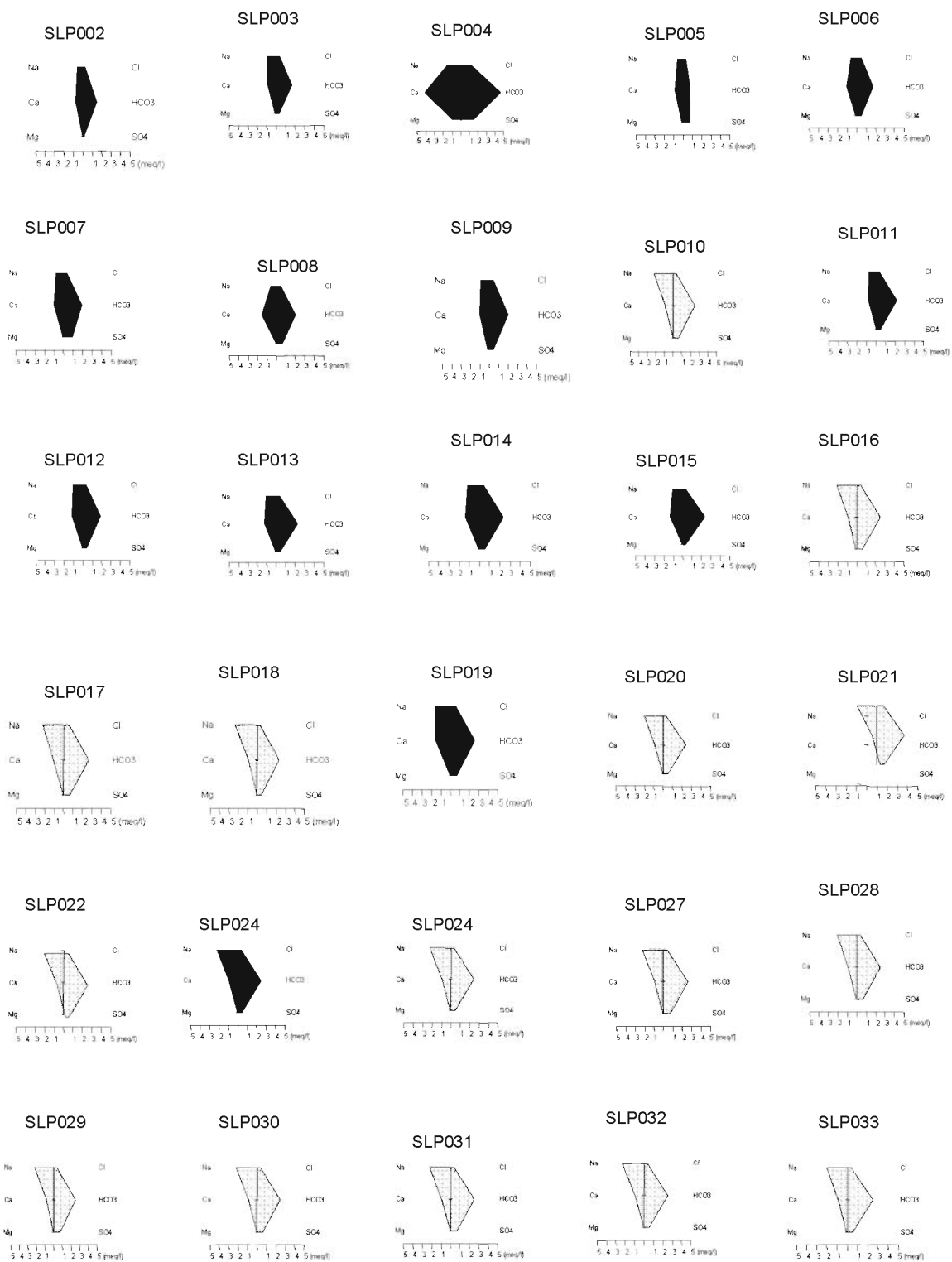
Clave INTERAPAS	Muestra	T	pH	CE	Color	Sólidos Totales	AF	AT	Dureza total	Dureza Ca ⁺²	Dureza Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	F ⁻ CNA	F ⁻ UASLP
SLP086	Muñoz II	39	7,20	353	< 2.5	256,0	< 0.48	129,27	40,27	38,26	2,01	65,7	3,0	0,3	157,70	16,78	25,93	15,33	0,49	3,38	4,16
SLP086	Dalias	36	7,57	374	< 2.5	267,5	0,0	126,14	55,10	53,06	2,04	50,1	21,0	0,0	153,89	13,35	32,66	21,25	0,50	3,19	2,93
SLP089	Valle de Santiago	38	7,12	363	< 2.5	548,0	0,0	129,67	56,85	54,82	2,03	65,1	12,1	0,0	158,19	13,66	26,81	21,96	0,49	4,42	4,13
SLP091	El Aguaje	38	7,66	374	< 2.5	287,0	2,1	122,94	46,94	44,90	2,04	51,3	18,3	1,3	149,98	14,60	34,20	17,99	0,50	3,29	3,68
SLP092	Balcones del valle	31	7,14	323	< 2.5	254,0	< 0.48	117,78	31,21	30,20	1,01	60,0	3,7	0,3	143,69	16,85	20,37	12,10	0,25	3,61	3,83
SLP094	Coronel Espinoza	27	6,78	226	< 2.5	218,0	0,0	75,74	48,73	46,70	2,03	17,7	27,8	0,0	92,40	9,10	6,74	18,71	0,49	0,71	0,57
SLP096	Maria Cecilia I	38	7,27	363	< 2.5	-	0,0	129,67	-	-	-	53,0	12,7	0,0	158,19	13,12	12,92	-	-	3,03	2,55
SLP097	Estrella del Oriente	29	7,32	343	< 2.5	272,0	0,0	102,62	48,98	42,86	6,12	41,5	35,3	0,0	125,20	18,24	19,50	17,17	1,49	0,63	1,24
SLP098	Españita	30	7,47	555	< 2.5	-	4,3	122,94	159,18	151,02	8,16	34,4	38,8	2,6	149,98	21,74	126,08	60,49	1,98	1,13	1,02
SLP099	Universidad	28	7,11	411	< 2.5	290,0	0,0	129,67	60,91	58,88	2,03	62,3	17,3	0,0	158,19	14,95	23,44	23,58	0,49	4,42	3,90
SLP100	Fovisste	25	7,01	358	< 2.5	274,0	0,0	105,57	64,97	48,73	16,24	44,1	20,0	0,0	128,80	12,14	29,58	19,52	3,95	3,27	2,88
SLP101	Ponciano Arriaga	30	7,28	342	< 2.5	-	0,0	129,67	64,97	62,94	2,03	47,5	12,9	0,0	158,19	12,90	12,64	25,21	0,49	2,21	2,15
SLP102	Las Mercedes II	32	7,71	323	< 2.5	263,0	5,6	124,32	50,51	48,48	2,03	54,1	13,8	3,3	151,67	13,20	22,97	19,42	0,49	3,17	2,89
SLP103	Valles del Campestre	32	7,02	353	< 2.5	310,0	0,0	114,75	58,88	54,82	4,06	53,0	21,3	0,0	140,00	13,50	32,63	21,96	0,99	3,04	2,66
SLP105	Halcones	40	7,01	366	< 2.5	290,0	0,0	131,96	56,85	54,82	2,03	65,1	16,0	0,0	160,99	13,73	27,50	21,96	0,49	4,32	4,02
SLP106	Unidad Deportiva	30	7,33	364	< 2.5	320,0	0,0	114,38	79,59	73,47	6,12	17,9	35,7	0,0	139,55	18,24	21,95	29,43	1,49	0,64	0,64
SLP107	La Pila II	34	7,21	286	< 2.5	238,0	0,0	101,56	36,73	34,69	2,04	35,7	17,5	0,0	123,90	10,25	18,68	13,90	0,50	1,91	2,00
SLP108	Los Salazares II	35	7,23	361	< 2.5	258,0	0,0	128,52	58,88	56,85	2,03	56,1	11,3	0,0	156,79	13,28	13,47	22,77	0,49	3,97	3,08
SLP109	Parque de Morales ANT 109	36,5	6,93	384	< 2.5	296,0	0,0	131,96	75,12	62,94	12,18	62,9	13,8	0,0	160,99	13,28	17,35	25,21	2,96	3,58	3,35
SLPr07	La Venadita	28	7,08	311	< 2.5	254,0	0,0	100,98	58,88	42,64	16,24	42,1	28,0	0,0	123,20	13,50	15,04	17,08	3,95	2,55	2,16

ANEXO IV

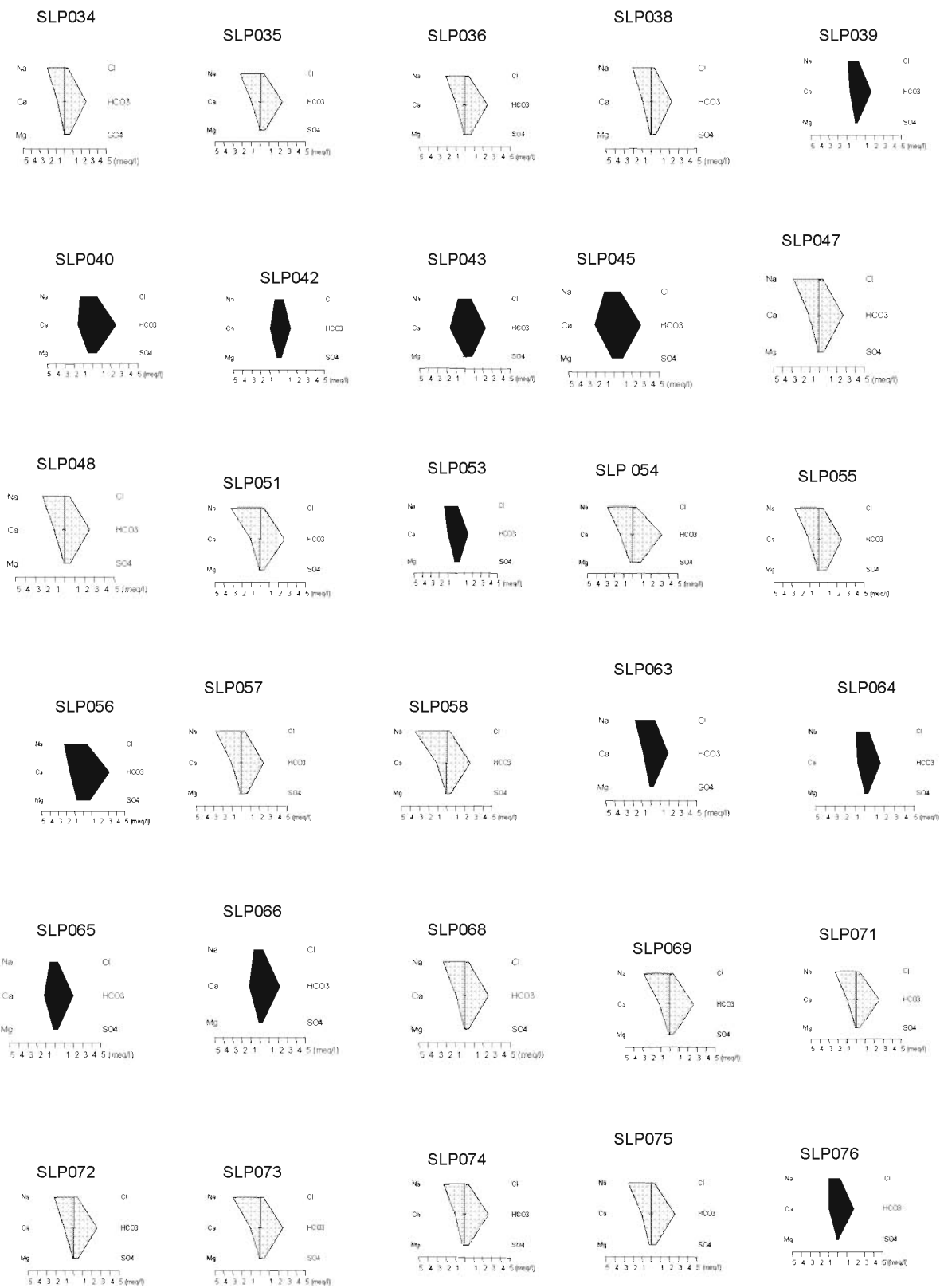
Diagramas de Stiff para las muestras de agua subterránea de la Ciudad de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y zona conurbada.



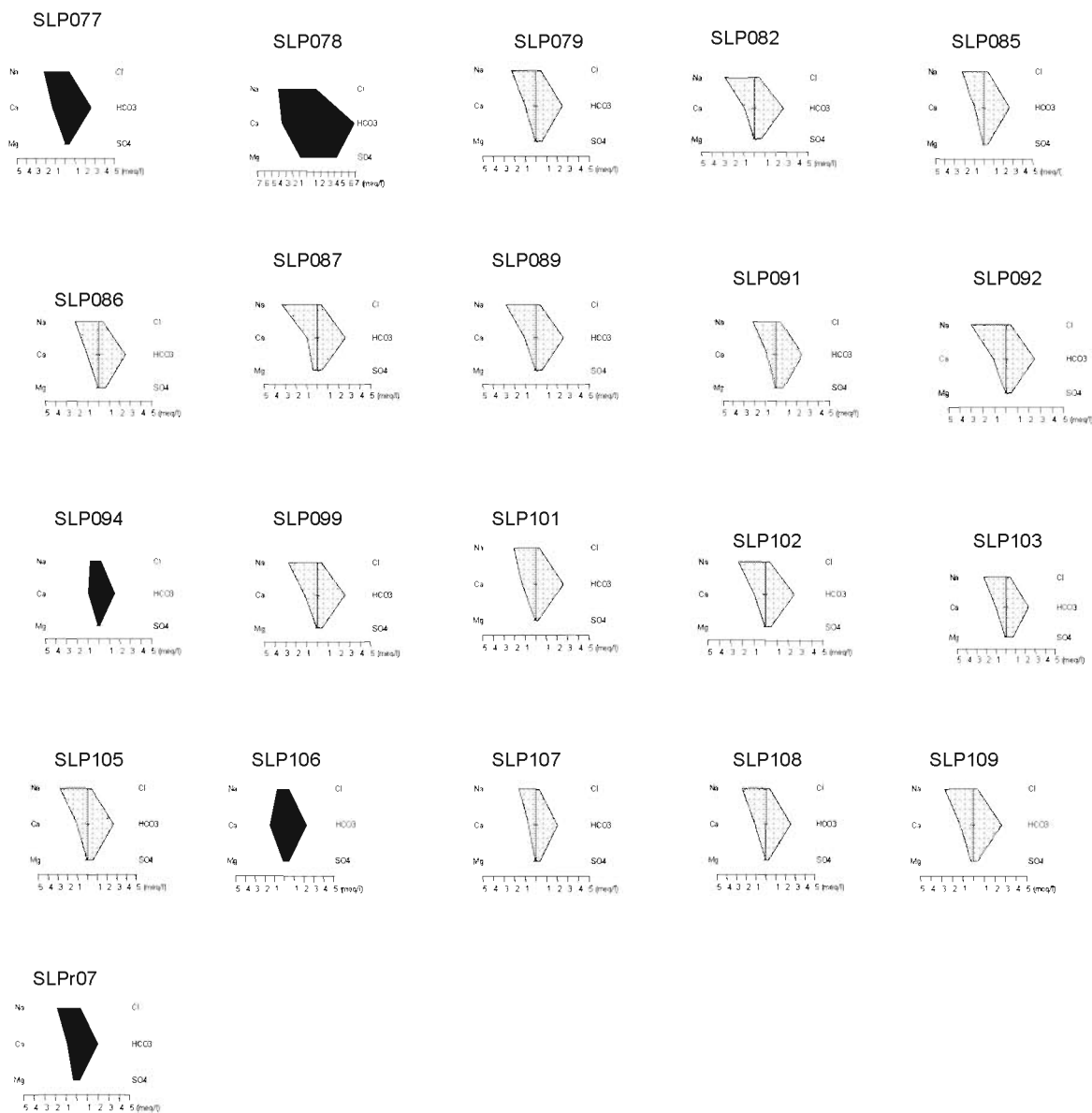
- Bicarbonatada- mixta
- Bicarbonatada sódica
- Anionica mixta-cationica mixta
- Sulfatada mixta



- Bicarbonatada- mixta
- Anionica mixta-cationica mixta
- Bicarbonatada sódica
- Sulfatada mixta



- Bicarbonatada- mixta
- Anionica mixta-cationica mixta
- Bicarbonatada sódica
- Sulfatada mixta



- Bicarbonatada- mixta
- Bicarbonatada sódica
- Anionica mixta-cationica mixta
- Sulfatada mixta