

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



ESTUDIO DE CASO

**EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA (2006-2022) MANCHA URBANA DE
NUEVO CASAS GRANDES, CHIHUAHUA.**

POR:

ING. FLOR DAYANA NEVÁREZ PÉREZ

**ESTUDIO DE CASO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO
DE**

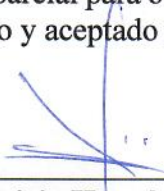
MAESTRÍA EN INGENIERIA EN HIDROLOGÍA

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

MAYO 2025



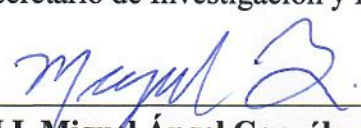
Evolución de la calidad del agua (2006-2022) mancha urbana de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua. Estudio de Caso presentado por Ing. Flor Dayana Nevárez Pérez como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Hidrología, ha sido aprobado y aceptado por:



M.I. Fabián Vinicio Hernández Martínez
Director de la Facultad de Ingeniería



Dr. Fernando Martínez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado



M.I. Miguel Ángel González Núñez
Coordinador Académico



Dra. María Socorro Espino Valdés
Directora de Tesis

Mayo 2025

Fecha

COMITÉ

Dra. María Socorro Espino Valdés

Dra. Mélida Gutiérrez Quiroz

Dr. Humberto Silva Hidalgo

M.I. Miguel Ángel Méndez Alvarado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

21 de mayo de 2025.

ING. FLOR DAYANA NEVÁREZ PÉREZ
Presente. -

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Hidrología, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por la directora **Dra. María Socorro Espino Valdés** para que lo desarrolle como Estudio de Caso, con el título **“Evolución de la calidad del agua (2006-2022) mancha urbana de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua”**.

Índice de Contenido

Agradecimientos

Resumen

Índice de Contenido

Índice de Tablas

Índice de Figuras

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Justificación
- 1.3 Hipótesis
- 1.4 Objetivos

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

- 2.1 Localización y delimitación de la zona de estudio
- 2.2 Clima
- 2.3 Tipos de suelo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

- 2.4 Uso de suelo y vegetación
- 2.5 Hidrografía superficial
- 2.6 Hidrología subterránea
- 2.7 Fisiografía y geomorfología

CAPÍTULO 3: CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

- 3.1 Geología
- 3.2 Hidrogeología

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

- 4.1 Recopilación de información histórica de calidad del agua

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

- 5.1 Evolución histórica de parámetros de calidad del agua
- 5.2 Distribución espacial de fluoruros, arsénico, SDT, dureza total. evolución en el tiempo
- 5.3 Calidad del agua con respecto a la norma para uso y consumo humano

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1 Conclusiones
 - 6.2 Recomendaciones
- Referencias



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

APÉNDICES

Apéndice A. Tablas resumen por pozo

Apéndice B. Gráficos de fluoruro

Apéndice C. Gráficos de arsénico

Apéndice D. Gráficos de nitratos

Apéndice E. Gráficos de sólidos disueltos totales

Apéndice F. Gráficos de dureza total

Apéndice G. Planos de concentraciones

Apéndice H. Concentración de los parámetros analizados, periodo 2006-2022

Curriculum Vitae

ATENTAMENTE
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. FABIÁN VINICIO HERNÁNDEZ

FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.CH.



DIRECCIÓN

**SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO**

**DR. FERNANDO MARTÍNEZ REYES
MARTÍNEZ**

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi familia, a mis amigos, a mis compañeras y profesores de la maestría, que estuvieron apoyándome de una u otra forma para sobrellevar todo el proceso; con sincero afecto les agradezco por ser parte de este logro.

Agradecimientos

Me gustaría dedicar un especial agradecimiento a la Dra. Espino Valdés por acogerme y aventurarse a guiarme en el desarrollo de este estudio de caso.

A la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Nuevo Casas Grandes y en específico al Laboratorio Regional de Calidad de Agua por su entera disposición a la hora de compartir información sumamente valiosa.

A la M.I. Précoma Mojarro por su excelente investigación que fungió como una fuente esencial.

Resumen

En este estudio se analizó la evolución de la calidad del agua subterránea utilizada como fuente de abastecimiento en la ciudad de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, durante el periodo 2006-2022. Se evaluaron cinco parámetros clave: fluoruro, arsénico, nitratos, sólidos disueltos totales (SDT) y dureza total, con base en datos históricos y recientes de 13 pozos distribuidos en la ciudad. Los resultados muestran un deterioro progresivo en algunos pozos, donde espacialmente, los más problemáticos se concentran en la zona sureste y este de la ciudad, destacando **Villahermosa, Obrera, Reforma, CROC y Tecnológico**, que superaron los límites establecidos por la NOM-127-SSA1-2021, especialmente en fluoruro y arsénico. En contraste, de manera general en los pozos los niveles de nitratos, SDT y dureza total se mantuvieron dentro de los rangos permisibles.

Este análisis evidencia la necesidad de mejorar los procesos de monitoreo y tratamiento del agua en la región, así como de aplicar medidas correctivas enfocadas en los pozos con mayores concentraciones de contaminantes y en las zonas de mayor vulnerabilidad geohidrológica para garantizar su potabilidad y la seguridad de la población.



Índice de Contenido

Agradecimientos	viii
Resumen	ix
Índice de Contenido	x
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras.....	xiii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación	3
1.3 Hipótesis	4
1.4 Objetivos.....	4
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
2.1 Localización y delimitación de la zona de estudio	6
2.2 Clima.....	8
2.3 Tipos de suelo	9
2.4 Uso de suelo y vegetación	11
2.5 Hidrografía superficial.....	12
2.6 Hidrología subterránea.....	13
2.7 Fisiografía y geomorfología	15
CAPÍTULO 3: CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO	18
3.1 Geología.....	18
3.2 Hidrogeología	33
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	37
4.1 Recopilación de información histórica de calidad del agua	37
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	40
5.1 Evolución histórica de parámetros de calidad del agua.....	40
5.2 Distribución espacial de fluoruros, arsénico, SDT, dureza total. evolución en el tiempo	54

5.3 Calidad del agua con respecto a la norma para uso y consumo humano	59
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
6.1 Conclusiones	66
6.2 Recomendaciones	67
Referencias	69
APÉNDICES	71
Apéndice A. Tablas resumen por pozo	72
Apéndice B. Gráficos de fluoruro	79
Apéndice C. Gráficos de arsénico	87
Apéndice D. Gráficos de nitratos	95
Apéndice E. Gráficos de sólidos disueltos totales	102
Apéndice F. Gráficos de dureza total	110
Apéndice G. Planos de concentraciones	117
Apéndice H. Concentración de los parámetros analizados, periodo 2006-2022	127
Curriculum Vitae	131

Índice de Tablas

Tabla 1. Información de la Carta Geológico-minera correspondiente al área de estudio. (Hernández Velázquez et al., 2003)	18
Tabla 2. Técnicas/normas utilizadas para el análisis de los distintos parámetros.	37
Tabla 3. Coordenadas de puntos evaluados para el estudio.....	38
Tabla 4 Comparación de la concentración de fluoruro con los LMP según NOM-127-SSA1 (versión previa y actual). Periodo 2006-2022.....	61
Tabla 5 Comparación de la concentración de arsénico con LMP 0.025 mg/L según NOM-127-SSA1 (versión previa y actual). Periodo 2006-2022.....	62
Tabla 6. Cumplimiento gradual para arsénico y cadmio	63
Tabla 7 Orden creciente de concentración de fluoruro.....	64
Tabla 8 Orden creciente de concentración de arsénico.	65

Índice de Figuras

Fig. 1 Ubicación de la zona de estudio, ciudad Nuevo Casas Grandes, Chihuahua.	6
Fig. 2 Plano de la ciudad Nuevo Casas Grandes, Chihuahua.	7
Fig. 3 Tipos de climas existentes en el municipio Nuevo Casas Grandes, Chih. (INEGI, 2010).	9
Fig. 4 Tipos de suelos dentro del municipio Nuevo Casas Grandes. (INEGI, 2010).	11
Fig. 5 Tipos de uso de suelo y vegetación delimitados dentro del municipio Nuevo Casas Grandes. (INEGI, 2010).	12
Fig. 6 Delimitación del acuífero Casas Grandes (CONAGUA, 2023).	14
Fig. 7 Regiones fisiográficas dentro del estado de Chihuahua. (INEGI, 2003)	16
Fig. 8 Geomorfología del municipio Nuevo Casas Grandes. (INEGI, 2010).	17
Fig. 9 Columna estratigráfica tipo. Obtenida de la carta geológica H13-4 del Servicio Geológico Mexicano.	26
Fig. 10 Mapa de localización y elementos estructurales regionales, Chihuahua (Barboza-Gudiño et al., 2016)	29
Fig. 11 Geología regional del área mineralizada de Real Viejo (Consejo de Recursos Minerales, 2003).	31
Fig. 12 Sección geológica del área mineralizada de Real Viejo (Consejo de Recursos Minerales, 2003).	32
Fig. 13 Geología regional y sección geológica Casas Grandes (Consejo de Recursos Minerales, 2003).	33
Fig. 14 Geología regional y direcciones de flujo del agua subterránea en el área de estudio. Elaboración propia.	35
Fig. 15 Localización de los pozos dentro de la ciudad Nuevo Casas Grandes. Elaboración propia.	41
Fig. 16 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de fluoruro para los años 2006-2022.	43
Fig. 17 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de fluoruro para los años 2006-2022.	44
Fig. 18 Gráfico del grupo (3). Evaluación de las concentraciones de fluoruro para los años 2006-2022.	45
Fig. 19 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de arsénico para los años 2006-2022.	46
Fig. 20 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de arsénico para los años 2006-2022.	47
Fig. 21 Gráfico del grupo (3). Evaluación de las concentraciones de arsénico para los años 2006-2022.	48
Fig. 22 Gráfico evaluación de las concentraciones de nitratos para los años 2006-2022.	49
Fig. 23 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de SDT para los años 2006-2022.	51
Fig. 24 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de SDT para los años 2006-2022.	52
Fig. 25 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de dureza total para los años 2006-2022.	53
Fig. 26 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de dureza total para los años 2006-2022.	54
Fig. 27 Planos de concentración de fluoruro para los años a) 2006 y b) 2021-2022.	55
Fig. 28 Planos de concentración de nitrato (NO ₃) para los años a) 2006 y b) 2021-2022.	56
Fig. 29 Planos de concentración de arsénico para los años a) 2006 y b) 2021-2022.	57
Fig. 30 Planos de concentración de dureza total para los años a) 2006 y b) 2021-2022.	58
Fig. 31 Planos de concentración de SDT para los años a) 2006 y b) 2021-2022.	59



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es uno de los recursos naturales más importantes con los que se cuenta en el norte de México, pues es la principal fuente para suministro de agua potable en toda la región. Su composición química es el resultado de un proceso de evolución, debido a su interacción con el medio geológico, así como a distintos factores antropogénicos.

Como se mencionó anteriormente, la química del agua es producto de la interacción física de la misma con el medio y procesos que la rodean. Los compuestos químicos disueltos en el agua tienen un origen tanto natural como antropogénico y presentan diversos efectos de acuerdo con su concentración. Si bien son varios los elementos existentes en el agua, el presente trabajo tiene como finalidad un enfoque hacia cinco de ellos: fluoruro, arsénico, nitratos, dureza total y sólidos totales disueltos. Los parámetros seleccionados han presentado un mayor cambio en cuanto al límite máximo permisible (LMP); dentro de la actualización más reciente (2021) de la NOM-127-SSA1, la cual es la Norma Oficial Mexicana en materia de calidad del agua para el uso y consumo humano.

La evolución temporal de la calidad del agua se realizó a través del análisis de 13 pozos distribuidos a lo largo de la ciudad de Nuevo Casas Grandes, los cuales para usos prácticos se expresarán mediante la siguiente nomenclatura o clave de identificación: Pozo-7, Pozo-11, Pozo-9, Pozo-13, Pozo-8R, Pozo-4, Pozo-14R, Pozo-15, Pozo-1, Pozo-3R, Pozo-5, Pozo -10, Pozo-12R.

Entre los parámetros sujetos a evaluación está el fluoruro, el cual se ha demostrado que en concentraciones excesivas es dañino para la salud, ya que provoca fluorosis dental y ósea. También los nitratos, los cuales en altas concentraciones (que principalmente se pueden observar en el agua de las zonas rurales por el uso de fertilizantes) pueden provocar cianosis en niños lactantes (Espino Valdés et al., 2024). Por otra parte, el arsénico, elemento cuya presencia podría verse incrementada por vertidos de residuos industriales; la dureza total, que se refiere a la suma de las concentraciones de carbonato de calcio y magnesio, así como los



sólidos disueltos totales (SDT), los cuales comprenden partículas disueltas (sales, minerales) (Orellana, 2005).

1.1 ANTECEDENTES

Parámetros como el fluoruro, arsénico y nitratos son ampliamente estudiados a nivel mundial, nacional y local debido a que son parámetros cuyos altos valores en agua de consumo inciden en problemas de salud (Gutiérrez et al., 2021). Sin embargo, el área evaluada dentro de Nuevo Casas Grandes no ha sido foco de estudio, lo que demuestra parte de la importancia y pertinencia de la actual investigación.

No obstante, se cuenta con el estudio realizado por Précoma Mojarro (2007), denominado “*Caracterización Hidrogeoquímica y Presencia de Flúor en la Porción Noroeste del Estado de Chihuahua, México*”, el cual recopila información de calidad del agua obtenida durante el año 2006, dentro de la misma zona de estudio. La autora logra inferir el origen de dicho ion en el agua subterránea. Este estudio funge como una base y punto comparativo para la presente investigación en materia hidroquímica.

Précoma Mojarro (2007) menciona que el incremento de los sólidos totales disueltos se desarrolla en dirección al flujo del agua subterránea, determinado en conjunto con los datos piezométricos. Lo anterior, permite identificar las zonas de descarga.

Si bien, los nitratos no están presentes en las rocas circundantes, pero se originan a partir de ciertos procesos biológicos que permiten su retorno al suelo y posterior incorporación al agua subterránea por lixiviación; por lo general su concentración es baja. Debido a la actividad agrícola de la zona de estudio, el uso de fertilizantes podría causar un incremento en las concentraciones de este ion; sin embargo, los resultados de los análisis mostraron que el agua se encontraba libre de contaminación de carácter antropogénico o de tipo orgánico (Précoma Mojarro, 2007).



El arsénico y el fluoruro son componentes que guardan una relación estrecha con el contexto geológico estructural, pues su origen radica en el tipo de rocas, especialmente ígneas, así como el posible ascenso de agua de tipo termal (Reyes Gómez et al., 2017). Los resultados de Précoma (2007), indican que algunas de las muestras de agua excedían los LMP establecidos por la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Nuevo Casas Grandes (NCG), cabecera del municipio con el mismo nombre y ubicada al norte del estado de Chihuahua, es la localidad más poblada dentro del municipio, con 62,038 habitantes según los datos vectoriales del censo de población y vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Las principales actividades económicas dentro del área de estudio son la agrícola, ganadera e industrial maquiladora. (Data México, s/f)

La ciudad de Nuevo Casas Grandes se localiza en las coordenadas 30.41552° N, 107.91166° O, tiene una superficie de 33.82 kilómetros cuadrados, lo cual representa el 1.3 % de la superficie total del municipio. El acuífero del cual se extrae el agua es Casas Grandes (Clave 0806), mismo que abarca parte de los municipios de Ascensión, Janos, Nuevo Casas Grandes, Madera, Galeana y Casas Grandes (CONAGUA, 2023).

Considerando como punto de partida el estudio hidrogeoquímico realizado por Précoma (2007) que incluye datos de calidad del agua subterránea de la ciudad de NCG, se considera importante analizar los posibles cambios que hayan podido presentarse en años recientes, así como sus posibles causas.

1.2.1 Fundamentación teórica

El estudio actual permite extender la recopilación de datos históricos de la calidad del agua, logrando una actualización de los mismos. La comparación entre datos de las distintas fechas es un factor fundamental para la detección de cambios inusuales o significativos



(Allgeier et al., 2016). También permite una aportación o generación de información de utilidad para la toma de decisiones por parte de las dependencias correspondientes, que permitan cumplir con los requerimientos poblacionales.

Un ejemplo de lo anterior es la actualización de la NOM-127-SSA1-2021, *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*, la cual es de observancia obligatoria dentro del territorio nacional y se basa en la actualización de los límites máximos permisibles para determinados parámetros para la calidad del agua para uso y consumo humano.

En comparación con su antecesora, la NOM-127-SSA1-1994, modificación del año 2000, los parámetros que generan mayor interés como son el arsénico y el fluoruro, presentan un LMP inferior. Esto representa un reto, pues supondría el requerimiento de sistemas y procesos de potabilización más complejos y costosos; esto a su vez repercute en los organismos operadores, pues deben trabajar en el refuerzo de sus aptitudes técnicas, administrativas y económicas (Bañuelos Díaz, 2022).

1.3 HIPÓTESIS

La calidad del agua que se utiliza para consumo potable en la ciudad de Nuevo Casas Grandes ha sido sujeta a algunos cambios en los parámetros de interés (arsénico, fluoruro, nitratos, dureza total, y STD) durante el período transcurrido entre los años 2006 y 2022.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la evolución de la calidad del agua subterránea procedente del acuífero Casas Grandes que es utilizada como fuente de suministro de agua potable para los habitantes de la ciudad de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, mediante la comparación de registros históricos de algunos parámetros representativos correspondientes a los años 2006 y 2017 al 2022.



1.4.2 *Objetivos específicos*

- Obtener y analizar los datos más representativos de calidad de agua subterránea utilizada en el suministro de agua potable de la ciudad de NCG (parámetros: arsénico, fluoruro, nitratos, dureza total y sólidos totales disueltos).
- Seleccionar períodos de evaluación.
- Procesar los datos mediante tablas y gráficas de Excel para determinar los posibles cambios de manera visual.
- Elaborar planos de isolíneas de concentración de los parámetros estudiados en diferentes períodos de tiempo
- Evaluar el grado de cumplimiento de la calidad del agua para consumo según la anterior Norma Oficial Mexicana (Mod. NOM-127-SSA1-1994) y los nuevos criterios de potabilidad establecidos en la NOM-127-SSA1-2021.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la porción noroeste del estado de Chihuahua y se extiende en la ciudad de Nuevo Casas Grandes (NCG), cabecera municipal de Nuevo Casas Grandes (Fig. 1). Dicha ciudad se localiza en las coordenadas 30.41552° Norte y 107.91166° Oeste, abarcando una superficie de 33.82 km^2 que representan el 1.3% de la superficie total del municipio (Fig. 2).

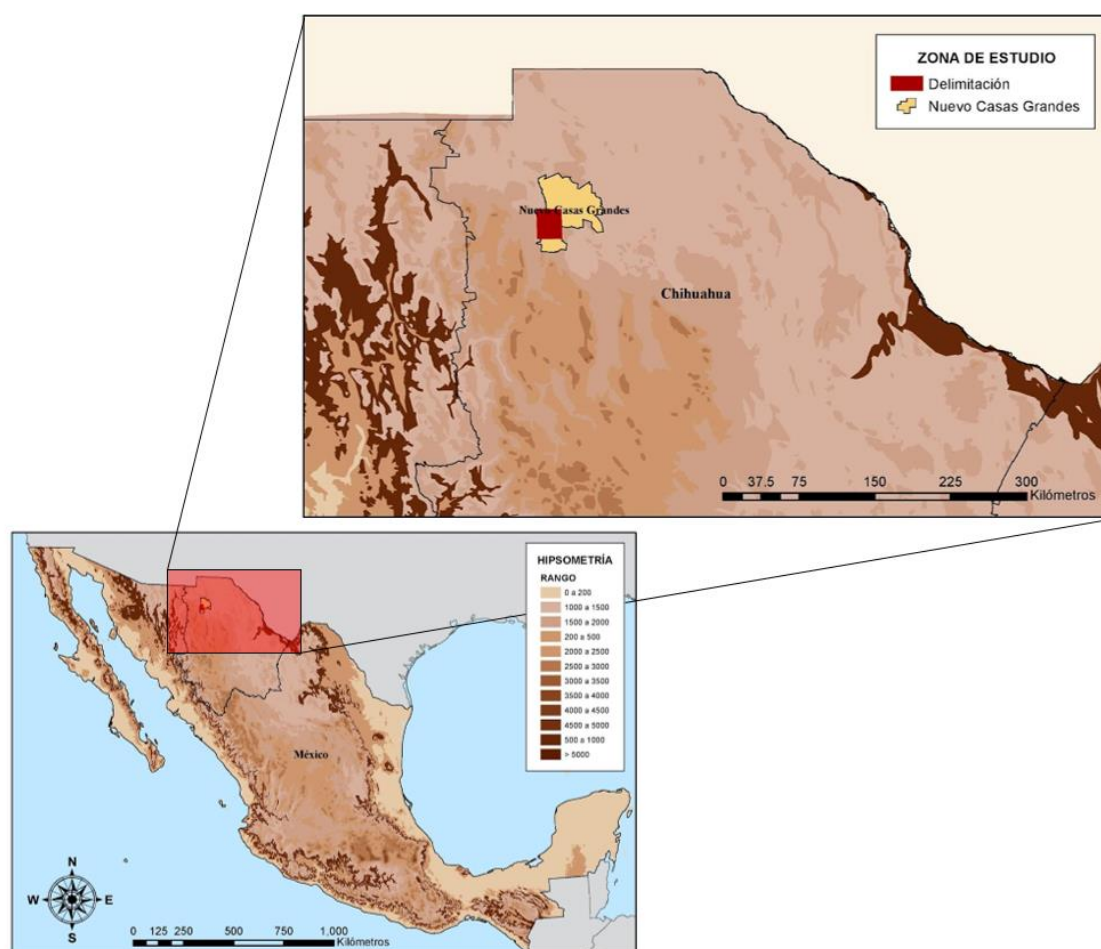


Fig. 1 Ubicación de la zona de estudio, ciudad Nuevo Casas Grandes, Chihuahua.

Esta es la localidad más poblada dentro del municipio, con un total de 62,038 habitantes según el censo de población y vivienda del año 2020 del INEGI (INEGI, s/f). Las principales actividades económicas dentro del área de estudio son la agrícola, ganadera e industrial maquiladora.

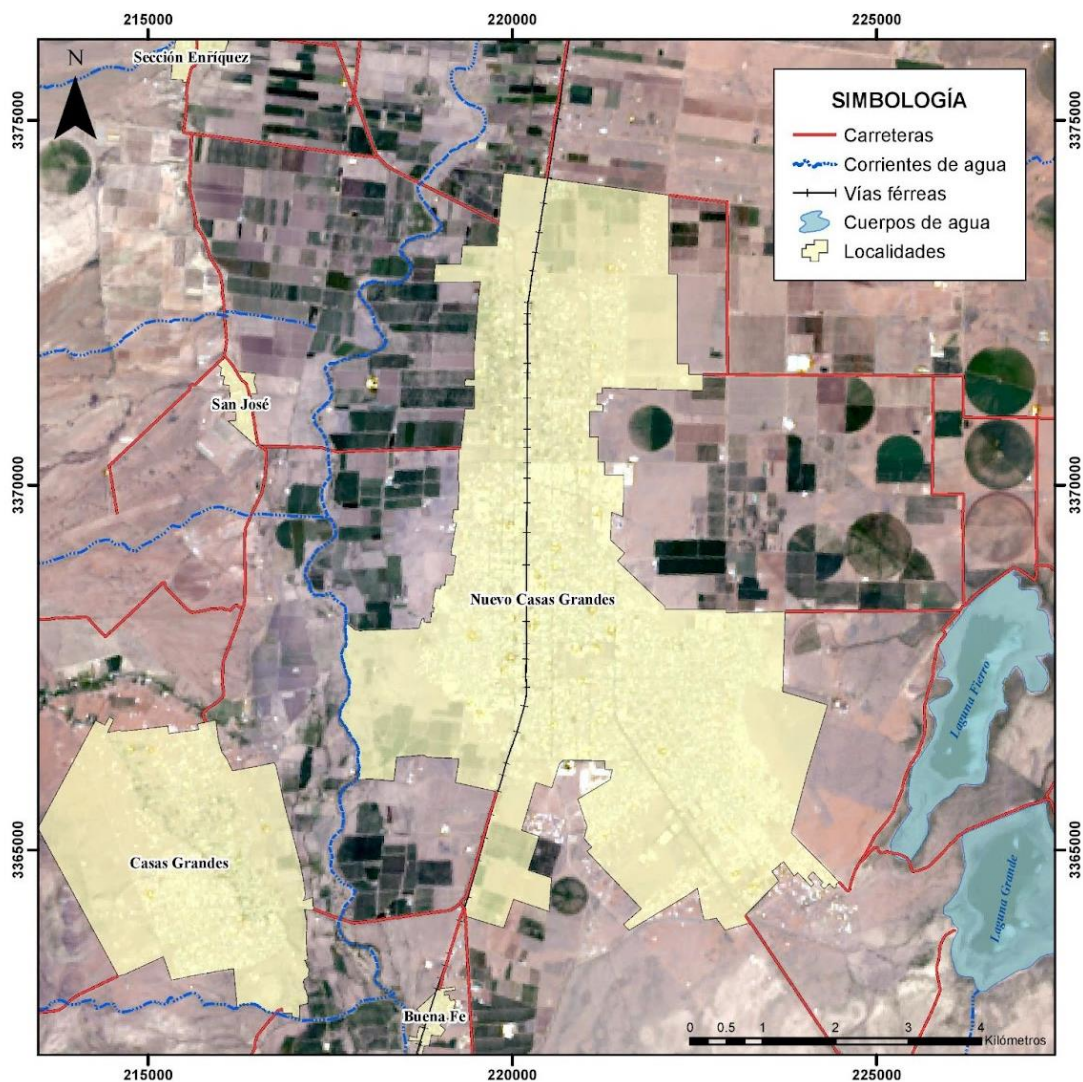


Fig. 2 Plano de la ciudad Nuevo Casas Grandes, Chihuahua.



2.2 CLIMA

En el *Compendio de Información Geográfica Municipal (2010)* (INEGI, 2010) se realizó un análisis de los climas presentes en la región, específicamente delimitados por la división política municipal de Nuevo Casas Grandes (Fig. 3). En esta zona se identificaron tres tipos de clima:

- **Muy seco templado [BWkw(x')]**: este clima está representado por un color amarillo claro, que se distribuye de manera amplia en el municipio. Se caracteriza por la aridez, precipitaciones escasas y temperaturas que varían considerablemente durante el verano e invierno (Gobierno de Navarra, s/f; INEGI, 2008).
- **Seco templado [BS0kw(x')]**: se identifica con un tono mostaza dentro del mapa. Su distribución es más puntual al norte, centro y sur. Muestra mayor presencia de precipitaciones en comparación con el clima muy seco, pero con una notable aridez. Las temperaturas son templadas a lo largo del año, con inviernos suaves y veranos cálidos (Gobierno de Navarra, s/f; INEGI, 2008).
- **Semiseco templado [BS1kw(x')]**: identificado en una pequeña porción en tono marrón al sur del municipio, muestra equilibrio entre periodos secos y lluvias moderadas. La temperatura general tiende a ser templada (Gobierno de Navarra, s/f; INEGI, 2008).

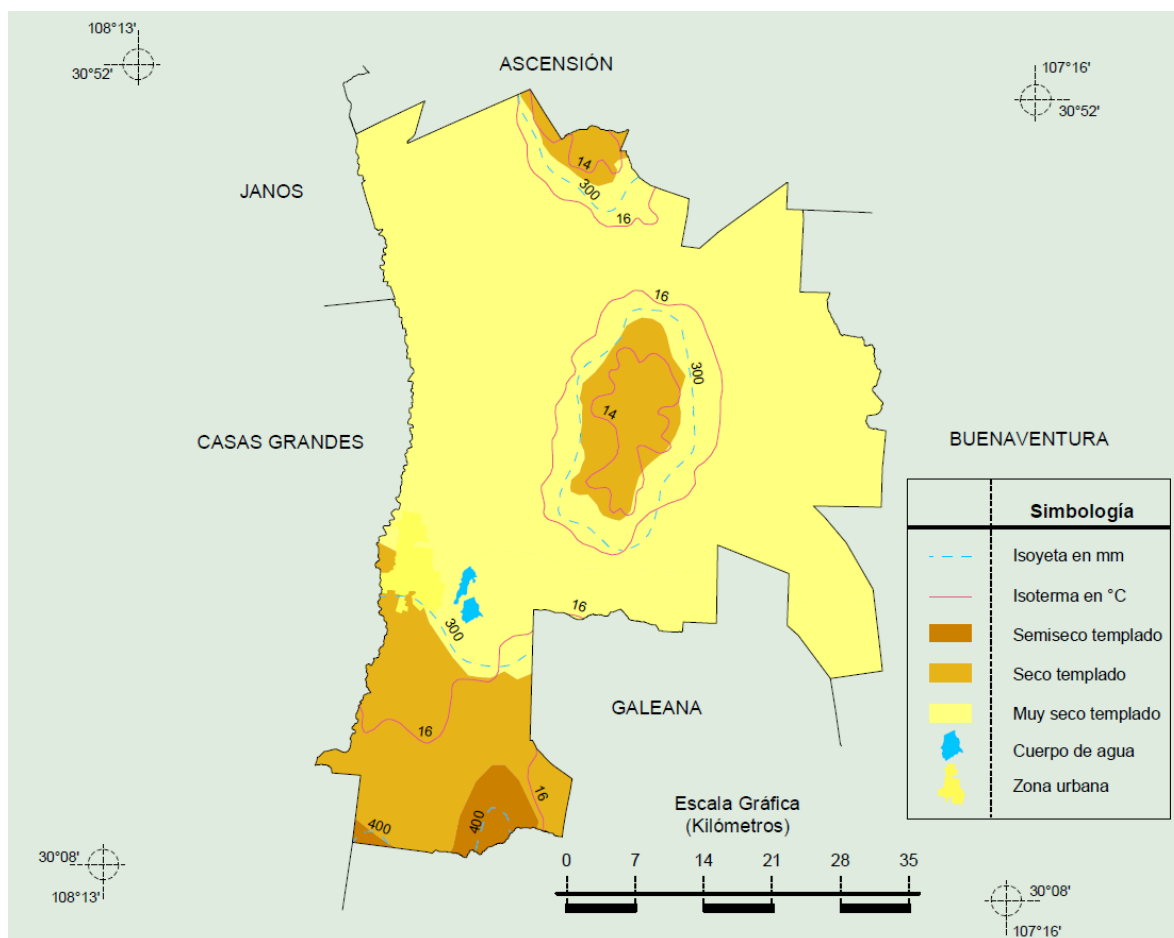


Fig. 3 Tipos de climas existentes en el municipio Nuevo Casas Grandes, Chih. (INEGI, 2010).

2.3 TIPOS DE SUELO

En la Fig. 4 elaborada con datos de INEGI (2010) se observa que el tipo de suelo predominante en el área urbana es el “**Phaeozem**”. Los Phaeozems presentan intensa lixiviación, por lo que poseen un horizonte superficial oscuro y rico en materia orgánica. Es posible su contenido de carbonatos secundarios y su saturación con bases es alta en la parte superior. Son considerados suelos que carecen de consolidación y tienen una fuerte característica básica, eólica, entre otras. Se permite la percolación a través de este tipo de suelos.



Se desarrollan en climas cálidos a frescos con suficiente humedad, que presentan una vegetación de pastizal. Todas las características anteriores los hacen óptimos para la agricultura por su porosidad y fertilidad (FAO, 2008).

Una pequeña porción al norte se encuentra sobre **“Vertisol”**. Los vertisoles son suelos de tipo muy arcillosos y con una gran proporción de arcillas expansivas (meteorización de rocas), resultando en una de sus principales consecuencias: formación de grietas de desecación. Dentro de este tipo de suelo hay un reciclado constante del mismo material. Se pueden observar en climas semiáridos a subhúmedos, y la vegetación característica es de pastizal natural, con actividades como el pastoreo y posible potencial agrícola. Su estructura pesada y el dominio de las arcillas expandibles se traduce en una humedad restringida del suelo, que varía desde el estrés hídrico hasta el exceso de agua (FAO, 2008).

Otra pequeña porción hacia el sur y este se establece sobre **“Regosol”**. Estos suelos tienen un bajo desarrollo en materiales no consolidados, no son someros, no son ricos en gravas, arena o material fluvial. Se extienden sobre terrenos erosionados, principalmente en áreas consideradas como áridas y semiáridas. Debido a su edad joven, carecen del desarrollo de su perfil. No representan un interés agrícola por su baja capacidad de retención de humedad. Su uso principal se enfoca en el pastoreo extensivo (FAO, 2008).

Hacia el oeste se puede observar una mínima presencia de **“Fluvisol”**. Los fluvisoles son suelos genéticamente jóvenes, los cuales se desarrollan en depósitos de tipo fluvial, lacustre y marino, abarcando ambientes como planicies, abanicos, valles y marismas costeras. Presentan evidencia de estratificación y débil diferenciación de horizontes. Poseen una buena fertilidad y drenaje, lo que hace que sean ideales para la agricultura. Debido a su origen, presentan una textura variable que incluye arcillas, limos, arenas y gravas (FAO, 2008).

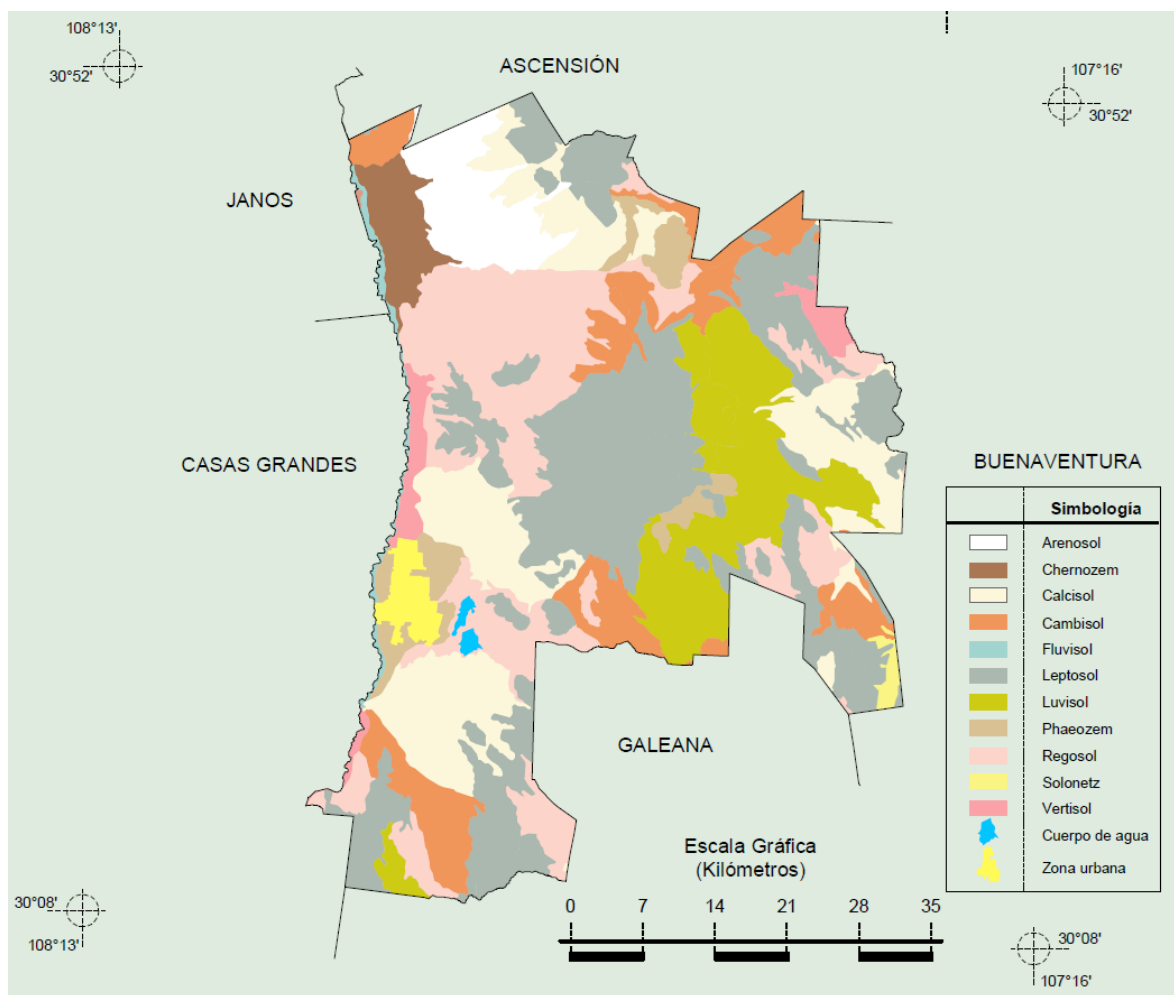


Fig. 4 Tipos de suelos dentro del municipio Nuevo Casas Grandes. (INEGI, 2010).

2.4 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

Dentro de la zona de estudio, con una delimitación cercana a la mancha urbana de NCG, destacan dos categorías de uso de suelo y vegetación (Fig. 5). La primera es la **agricultura**, la cual se extiende con una dirección preferencial NE-SW a lo largo del río Casas Grandes, identificada de color blanco. Se refiere específicamente a la agricultura de riego, denominada así por la aplicación de uso de agua bajo cualquier técnica de riego (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2017).

Al oriente de la ciudad se observa una tonalidad olivo que representa la vegetación identificada como **“pastizal”**. Este tipo de vegetación se distingue por el cambio de

coloración a lo largo del año, siendo amarillenta pálida durante gran parte de éste y reverdeciendo únicamente en las temporadas de lluvia o de mayor humedad (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2017)

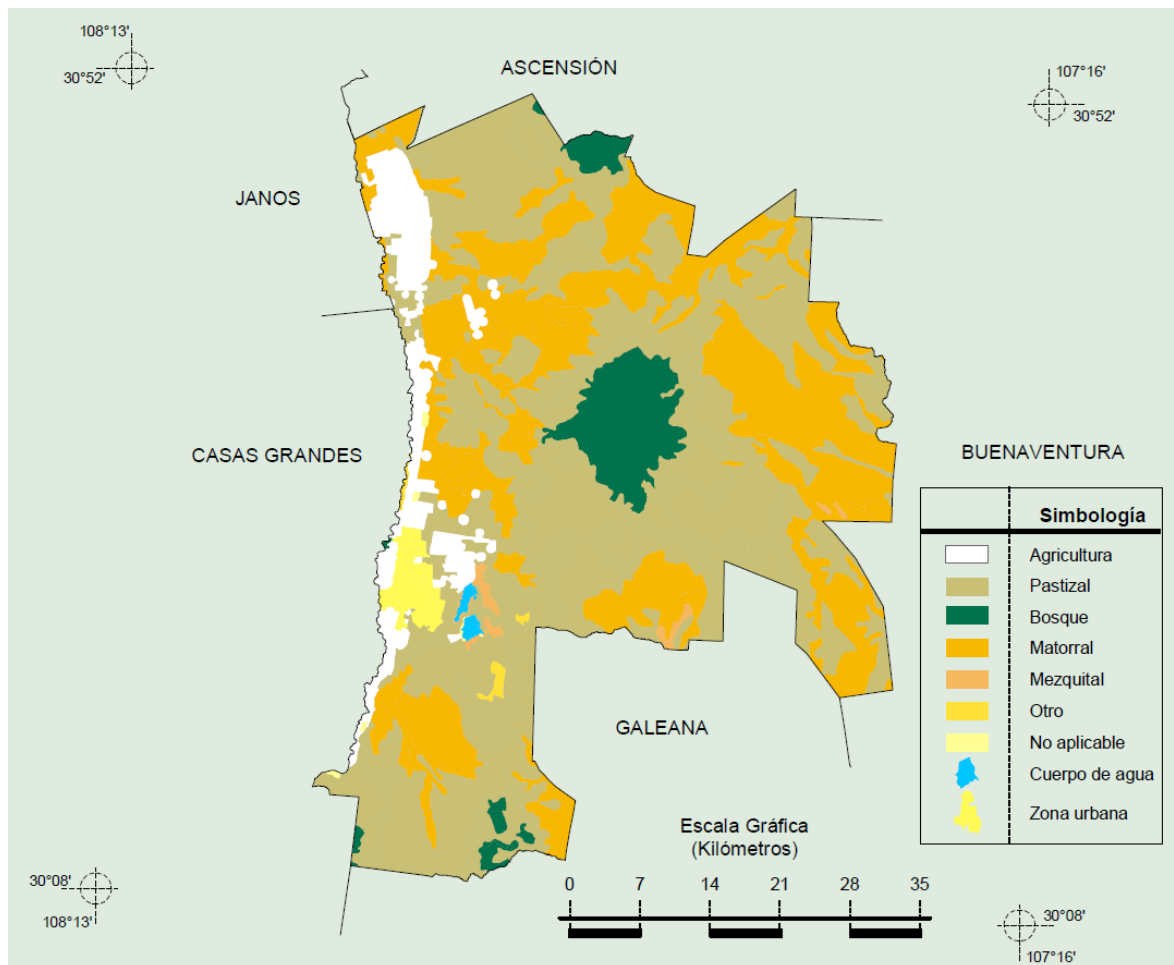


Fig. 5 Tipos de uso de suelo y vegetación delimitados dentro del municipio Nuevo Casas Grandes. (INEGI, 2010).

2.5 HIDROGRAFÍA SUPERFICIAL

La zona de estudio está localizada dentro de la Región Hidrográfica RH-34, conocida como Cuencas Cerradas del Norte, Casas Grandes. Esta región se encuentra en la vertiente interior del país. Su naturaleza es endorreica, lo que significa que no tiene salida directa al mar, y presenta un patrón de drenaje



predominantemente dendrítico, caracterizado por la ramificación en forma de árbol de los cauces de los ríos (CONAGUA, 2023).

Los flujos de agua que se encuentran en esta área contribuyen al caudal del río Casas Grandes, el cual fluye en dirección norte. Además de este río principal, existen varios arroyos intermitentes en la región, que tienden a perder su flujo de agua al pie de las montañas o desarrollan recorridos muy cortos antes de desaparecer. Este comportamiento hidrológico es típico de áreas donde la capacidad de retención del suelo y la escasez de lluvias afectan significativamente los escurrimientos superficiales (CONAGUA, 2023).

2.6 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

El acuífero del cual se extrae el agua es el llamado “Casas Grandes”, mismo que abarca parte de los municipios de Ascensión, Janos, Nuevo Casas Grandes, Madera, Galeana y Casas Grandes. (Fig. 6)

The map displays the Casas Grandes region in Chihuahua, Mexico. The city of Casas Grandes is centrally located, marked with a yellow square. A thick blue line delineates the study area. Surrounding locations include Ascension, El Sabin, Janos, Laguna de Santa Maria, Buena Ventura, Ignacio Zaragoza, Nacori Chico, and Baja Babicora. Major rivers shown are the Rio Bavispe, Rio Grande, and Rio San Pedro. An inset map in the bottom left corner shows the state of Chihuahua with a red dot indicating the location of Casas Grandes. A scale bar at the bottom indicates distances up to 40 Kilometros.



2.7 FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La ciudad de Nuevo Casas Grandes pertenece principalmente a la provincia fisiográfica de **Sierras y Llanuras del Norte** (Fig. 7). Esta provincia presenta una distribución del terreno característica, puesto que cuenta con la formación de montañas elevadas orientadas preferencialmente hacia el N-NW que están separadas por planicies aluviales de gran extensión. Su formación está indicada durante el Terciario Medio y Superior (Velázquez Aguirre & Ordaz Ayala, 1992).

Específicamente, el área de interés se encuentra dentro de la subprovincia de Llanuras y Médanos del Norte, la cual se caracteriza por una topografía predominantemente plana, que incluye amplias extensiones de llanuras y la formación de depósitos eólicos identificados como médanos (dunas de arena). La altitud en esta región oscila entre los 1,000 y 1,500 m.s.n.m. Debido al clima árido de la zona, se cuenta con escasas corrientes de aguas superficiales; por lo anterior, el agua subterránea juega un papel importante en el suministro de agua (INEGI, 2010).

Los sistemas de topoformas que se desarrollan en dicha región son de **bajada con lomerío**, identificada de color mostaza, distribuida en gran parte del municipio de NCG, tal como se muestra en la Figura 8. También se encuentra la **sierra escarpada y sierra alta**, que se encuentran en algunas porciones al norte, centro y sur del municipio, coincidiendo con las zonas de mayor elevación, tal como sus nombres lo indican. Por último, está la **llanura aluvial salina**, con una distribución a lo largo de ríos, principalmente del río Casas Grandes (INEGI, 2010).

Regiones Fisiográficas

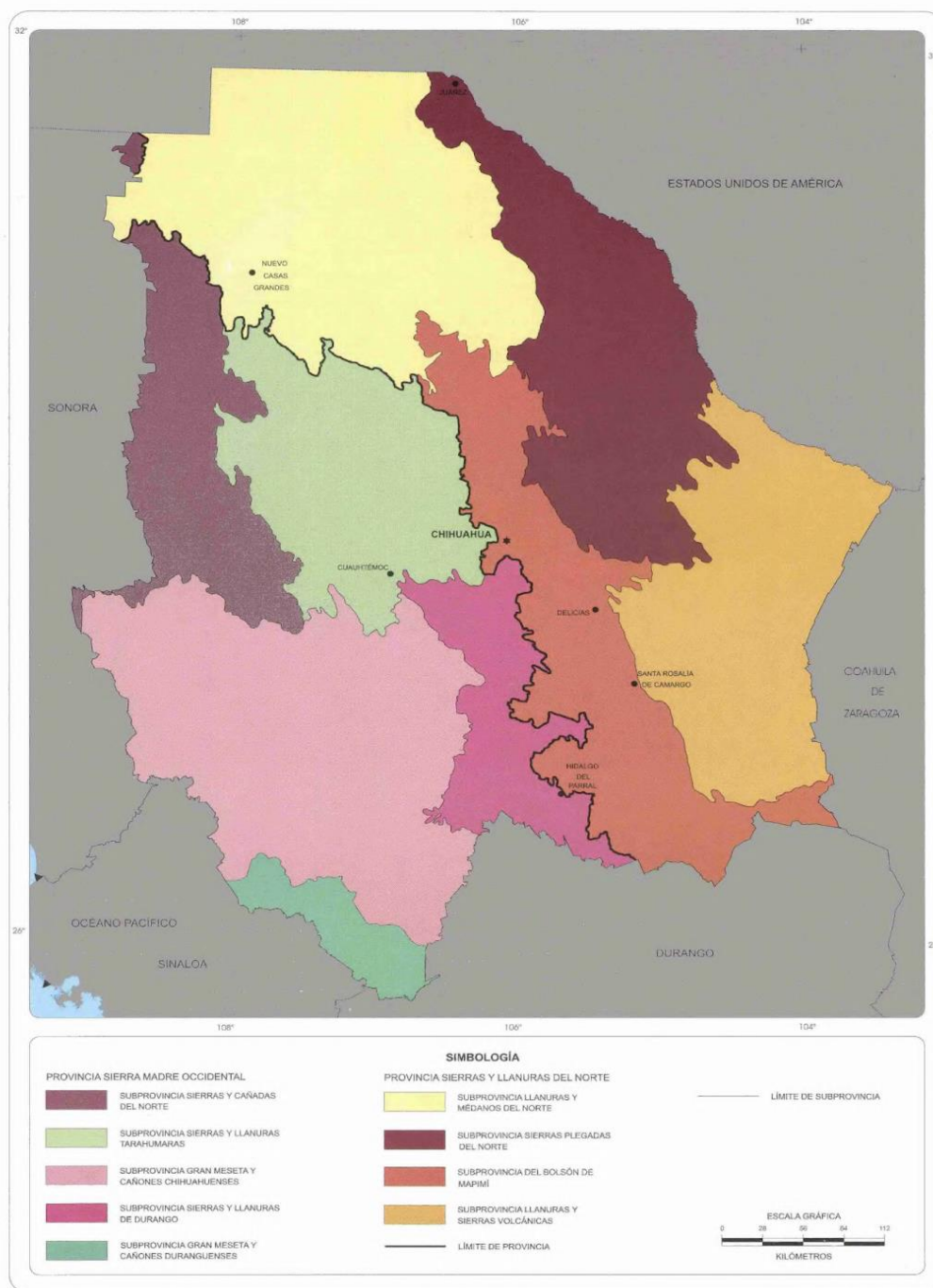


Fig. 7 Regiones fisiográficas dentro del estado de Chihuahua. (INEGI, 2003)

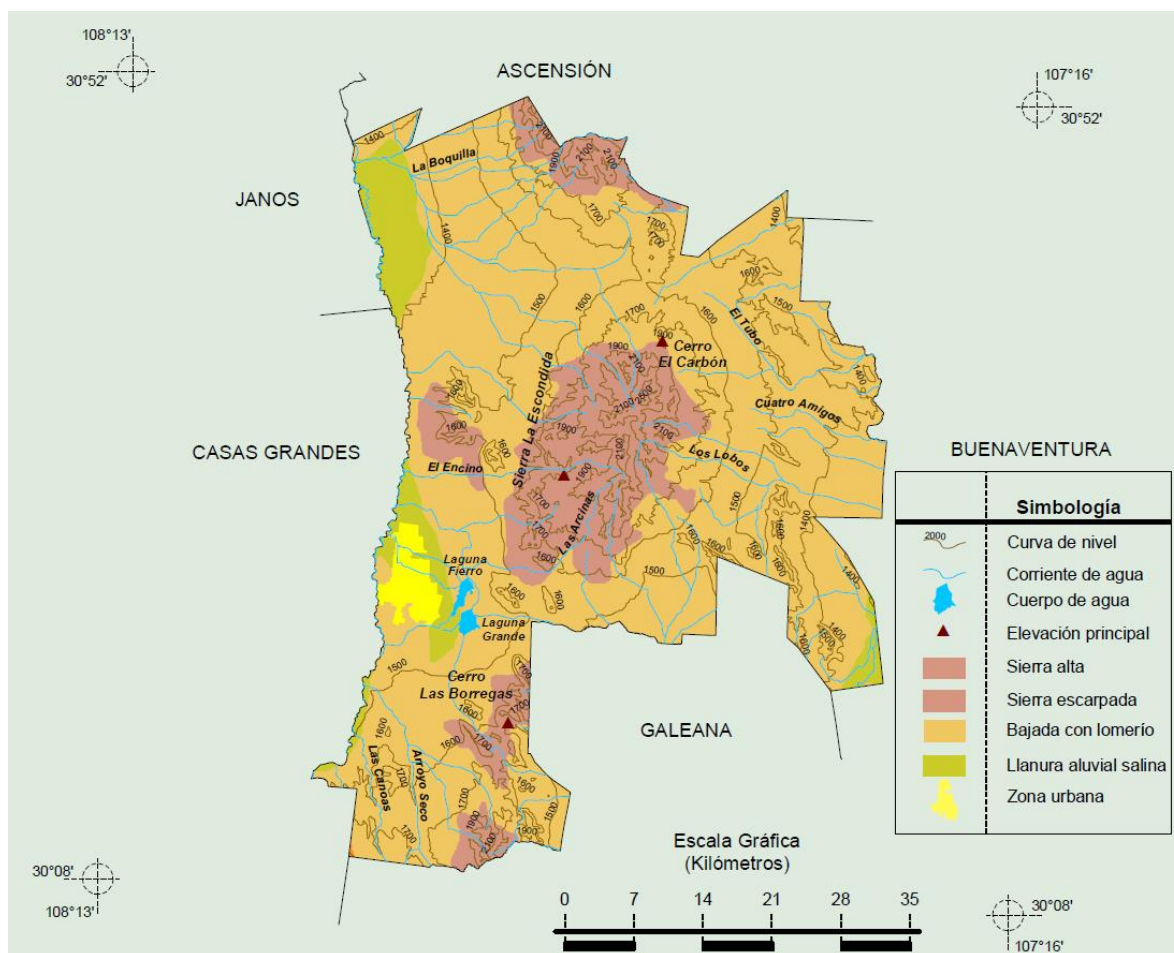


Fig. 8 Geomorfología del municipio Nuevo Casas Grandes. (INEGI, 2010).



CAPÍTULO 3: CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

3.1 GEOLOGÍA

La geología de la región se compone de rocas sedimentarias del Cretácico, rocas ígneas terciarias, así como material de relleno de cuencas de diferente granulometría (Fig. 9).

3.1.1 Estratigrafía

La estratigrafía fue definida a partir de la información recopilada de la Carta Geológico-minera del Servicio Geológico Mexicano (Tabla 1). Se consideró la columna estratigráfica base determinada y elaborada por el mismo organismo (Fig. 9); así como una sección geológica efectuada cerca de la zona de estudio, de la cual se identificó la litología presente. También se utilizó la información vectorial recopilada de GeoInfoMex.

Tabla 1. Información de la Carta Geológico-minera correspondiente al área de estudio. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Clave	Nombre	Escala	Año de publicación
H13-4	Nuevo Casas Grandes	1:250,000	2002

Formación Navarrete (KbeCz-Y)

Es descrita como una alternancia entre rocas catalogadas como calizas, areniscas y evaporitas. Su constitución es a partir de delgados estratos de areniscas y calizas. Hacia la parte media se encuentra una interestratificación de yeso. Su espesor ha sido estimado por diferentes autores, siendo de alrededor de 200 metros.

Posee un contacto suprayacente con la Formación Las Vigas, la cual es concordante y transicional. Debido a la relación que guarda con la Formación anteriormente mencionada, se ha considerado una edad del Berriasiano.



A interpretación de sus características litológicas se ha señalado que su depósito se efectuó en un ambiente de plataforma somera lagunar en lo que se considera una fase regresiva. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Formación Las Vigas (KvbAr-Lm)

Se ha definido como una secuencia de areniscas calcáreas de tonalidades grises, verdes y rojizas, de estratos de espesor medio. También pueden encontrarse limolitas arenosas en partes arcillosas. En puntos como la Sierra de Alcaparra alcanza un espesor de hasta 107 metros.

Los contactos, tanto superiores como inferiores, se dan con diferentes tipos de rocas ígneas en algunos de los puntos altos de la región. Debido a su carencia en material fósil, su edad se ha determinado cronoestratigráficamente, estimándose como Valanginiano al Barremiano. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Formación Cuchillo (KbapCz-Y)

Es representada por una secuencia litológica de facie lagunar, se compone de yesos, lutitas, calizas. La localidad tipo es la sierra de Cuchillo Parado, donde se presenta un espesor de 610 metros. Se considera que esta formación se puede dividir en tres unidades: La Virgen, Cupido y La Peña; debido a la dificultad de diferenciación se optó por la agrupación de dichas unidades.

Tanto los fósiles como su posición estratigráfica datan al Barremiano-Aptiano. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Formación Tamaulipas Superior (KaiCz)

La Formación Tamaulipas Superior está constituida por una secuencia de calizas de coloraciones que van del gris claro a crema y gris oscuro, con presencia de nódulos de pedernal de tonos grises a negros. Se presentan algunas intercalaciones con rocas como lutitas. La estratificación puede llegar a ser delgada en algunas zonas y gruesa en otras. Posee



un contacto concordante con la Formación cuchillo y Transicional con la Formación Glen Rose.

Tanto los fósiles como su posición estratigráfica sugieren que la unidad pertenece al Albiano inferior, y que, además, se formó en un ambiente de aguas profundas y someras. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Formación Glen Rose (Kami Cz)

La Formación aflora en diferentes puntos dentro de la región y consiste en calizas arcillosas de grano fino. Sus tonalidades grises a cafés debido al intemperismo, pero tienden a una coloración gris oscuro al ser rocas frescas. Pueden llegar a presentarse cuerpos arcillosos, identificados como lutitas, con una variación de espesor de estratos de medianos a gruesos. Con un espesor reportado de 190 metros en algunas zonas.

Esta Formación comparte un contacto concordante y transicional con la Formación Tamaulipas Superior, mientras que con la Formación Walnut el contacto es transicional y concordante.

Debido a sus características litológicas se deduce que se desarrolló en ambientes de plataforma con aguas oxigenadas y temperaturas cálidas. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Formación Walnut (KaLu-Cz)

Esta Formación es una secuencia que presenta calizas, lutitas y aglomeraciones de fósiles. Está compuesta por rocas de color gris con algunas zonas en tonalidades rojizas ocasionadas por el intemperismo.

Mantiene contacto inferior con la Formación Glen Rose de manera concordante, y de en la parte superior presenta un marcado contraste con las rocas de la Formación Walnut. (Hernández Velázquez et al., 2003)



Formación Loma de Plata (KasCz)

Secuencia calcárea con un espesor aproximado de 130 metros. Son calizas nodulares con presencia de bandas de pedernal y rudistas.

Son rocas de colores gris claro que poseen fósiles. Su edad ha sido determinada en Albiano superior. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Formación Del Río (KceLuCz)

Es una secuencia arcillosa cuyos afloramientos pueden encontrarse alrededor de San Pedro Corralitos y el sureste de la sierra La Escondida, entre otros puntos.

Litológicamente se compone de lutitas y calizas arcillosas en estratos delgados; en algunas zonas presenta facies arenosas. Su depósito se dio en un ambiente de plataforma con aportes de sedimentos terrígenos. Su color varía de amarillo ocre a rojizo, y presenta fósiles.

Tiene un espesor promedio de 291 metros. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Arenisca-Conglomerado Polimíctico (TpaAr-Cgp)

Con este nombre se denomina a la secuencia de areniscas, conglomerados, lutitas, brechas y andesitas, que va de una coloración clara a un amarillo rojizo. Se presume haber sido depositado en un ambiente continental lacustre. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Andesita TeA

Es una unidad de origen ígneo con una estructura masiva, con tonalidades que van de café oscuro, al café rojizo; se compone por andesita, la cual tiene como minerales principales a la oligoclasa, andesina, labradorita y albita.

Su espesor oscila entre los 100 a 200 m, aunque bien podría alcanzar hasta los 600 m. que referente a su posición estratigráfica se le asignó una edad del Eoceno. (Hernández Velázquez et al., 2003)



Toba Riolítica- Ignimbrita (ToTR-Ig)

En esta secuencia se reconocen distintas unidades de tobas (vitrocristalinas, vítreas, cristalolíticas y soldadas), ignimbritas, de las cuales el componente principal es el vidrio volcánico.

Su espesor varía, aunque se tiene la cifra de 1200 m. como máximo grosor en la sierra de San Joaquín. Debido a sus características litológicas y su relación estratigráfica se infiere que tiene una edad referente al Oligoceno. Su origen volcánico se relaciona con la existencia de calderas. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Andesita ToA

Es una roca de origen volcánico extrusivo de color café claro. Sus componentes mineralógicos principales son: oligoclasa, andesina, labradorita y albita.

El espesor de esta unidad se ha determinado en 400 m; se encuentra intercalada con la secuencia ToTR-Ig, y por su posición estratigráfica se le asignó una edad del Oligoceno (Hernández Velázquez et al., 2003)

Traquita (ToTq)

Es una roca volcánica de color rojizo (intemperizada) o café claro (fresca). La unidad presenta fracturamiento y pseudoestratificación. Se presenta sobre todo en zonas de gran elevación y pendientes. Posee una estructura masiva, semicompacta y con textura de tipo porfídica.

El espesor oscila entre los 350 metros en la sierra de San Ignacio (este de la carta) y 1000 metros en la sierra del Capulín que se encuentra al norte de la zona de estudio.

Esta unidad se intercala con tobas riolíticas-ignimbritas, mostrando un contacto superior concordante con tobas latíticas. Se ha determinado una edad del Oligoceno. Su origen se atribuye al vulcanismo distensivo. (Hernández Velázquez et al., 2003)



Latita (ToLa)

La latita es una roca ígnea extrusiva de color gris claro a pardo rojizo, presenta una textura fluidal y una pseudointercalación con flujos de la misma composición. Ampliamente distribuida en la carta. Su relación estratigráfica varía de acuerdo con las localidades (tobas riolíticas-ignimbritas y traquitas). Su edad se considera tentativamente del Oligoceno. Su origen es ígneo efusivo, se relaciona con vulcanismo de facie distensiva. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Riolita (ToR)

La unidad tiene una composición riolítica de estructura fluidal. Presenta intrusiones con la secuencia de tobas riolíticas-ignimbritas. Su distribución es amplia en la región. El espesor indicado para tal unidad se promedia en 800 metros. Gracias a su relación con otras unidades, se determinó una edad del Oligoceno con un origen principalmente a raíz de calderas volcánicas. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Arenisca-Conglomerado Polimíctico (TmAr-Cgp)

Esta unidad presenta una alternancia entre lo que son areniscas y conglomerados, con elementos catalogados como sedimentarios y volcánicos. Presenta diferente coloración según el estado de la roca (fresco e intemperizado) de gris claro a marrón. Se determinó un espesor de aproximadamente 350 metros.

Subyaciendo esta unidad se encuentran una secuencia de tobas riolíticas-ignimbritas y ocasionalmente brechas. En cuanto a su contacto superior, están ubicados conglomerados polimícticos del Holoceno. Estratigráficamente, se relaciona con los basaltos del Mioceno.

Su origen ha sido señalado como depósito de ambiente continental, más específicamente como abanicos aluviales. (Hernández Velázquez et al., 2003)



Basalto (TmB)

Son derrames de tipo basáltico de color negro a gris oscuro (roca fresca) y café oscuro (intemperismo). Se presentan ampliamente distribuidos en la región. Se encuentran discordantes sobre tobas riolíticas del Oligoceno; sobre la unidad de basaltos se encuentran conglomerados del Holoceno. Considerando las características litológicas y su posición, se determinó una edad del Mioceno. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Conglomerado Polimítico (QptCgp)

Este tipo de material se encuentra principalmente en las partes bajas de las sierras. Se constituye litológicamente de fragmentos de diversos tipos de rocas, principalmente ígneas. Su contacto inferior no es observable, mientras que el superior está cubierto de material del Holoceno. Gracias a factores cronoestratigráficos se ha identificado una edad del Pleistoceno. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Conglomerado Polimítico (QhoCgp)

Esta unidad se extiende ampliamente en la región, de manera que constituye amplias planicies. Su litología indica que su formación deriva de las rocas subyacentes de diferentes tipos. Se compone de fragmentos de rocas, la unidad presenta horizontes arenosos que exhiben estratificación cruzada. El espesor varía entre unos pocos centímetros a varias decenas de metros.

Presenta un contacto discordante tanto con las unidades subyacentes, así como con las unidades superiores. Sus características, relaciones y posición estratigráfica identifican una edad del Holoceno. Su origen se ha relacionado con el relleno de las partes bajas de abanicos aluviales. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Eólico (Qhoeo)

Esta unidad se compone de sedimentos de grano fino, transportados por el viento y que se depositan en forma de dunas. Los afloramientos que presentan mayor espesor se



encuentran hacia el norte de la región. Los sedimentos son arenas, limos y arcillas. Debido a la morfología de los depósitos no se ha determinado un espesor. Cubre de manera discordante a rocas como basaltos del Mioceno, así como conglomerados del Holoceno. Por cronoestratigrafía se ha fechado dentro del Holoceno. (Hernández Velázquez et al., 2003)

Aluvión (Qhoal)

Esta unidad se constituye de depósitos de origen fluvial provenientes de la erosión de las rocas preexistentes. Se puede encontrar material de diversa granulometría, tales como gravas, arenas y arcillas. Este material se distribuye principalmente en cauces de ríos y arroyos.

Su espesor puede variar de unos cuantos centímetros a varios metros. El contacto con rocas de edad cretácica y terciaria de manera indistinta a lo largo de las zonas donde se depositan. La edad establecida para esta unidad es del Holoceno. (Hernández Velázquez et al., 2003)

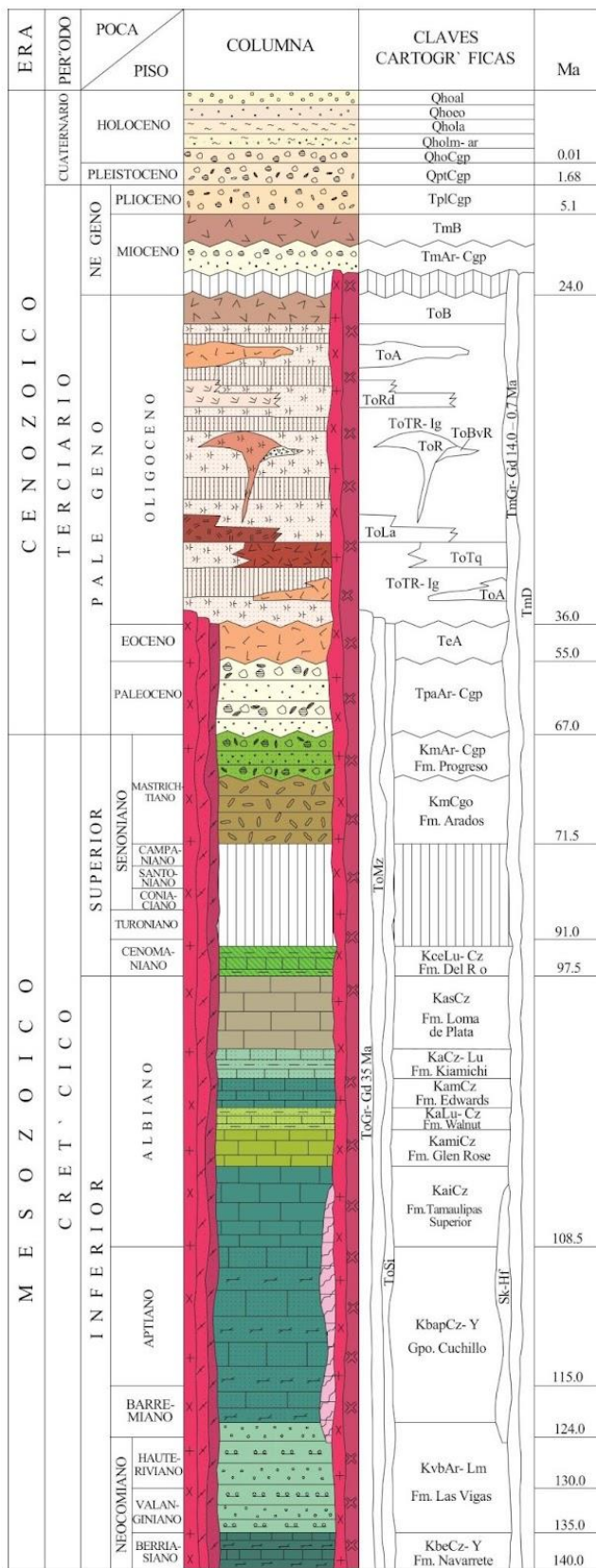


Fig. 9 Columna estratigráfica tipo. Obtenida de la carta geológica H13-4 del Servicio Geológico Mexicano.



3.1.2 Tectónica y geología estructural

A nivel regional, se han observado diversos ciclos tectónicos, en los cuales se han identificado tres elementos fundamentales: el Cratón de Norteamérica en la región norte y los Cinturones Orogénicos Ouachita y Cordillerano (INEGI, 2003).

-El basamento Precámbrico en la zona corresponde a una extensión hacia el sur del Cratón de Norteamérica, localizada en los estados de Sonora y Chihuahua. Este incluye tres cinturones con alta deformación y metamorfismo: Greenville (900-1100 Ma), Mazatzal (1600-1700 Ma) y Yapauai (1700-1800 Ma), de los cuales solo el primero ha sido identificado en Chihuahua (INEGI, 2003).

-El Cinturón Orogénico Ouachita forma parte de la gran cadena de los Apalaches, siendo el resultado de procesos de colisión que contribuyeron a la formación de Pangea. Sus efectos incluyen fallamiento en bloques (INEGI, 2003).

-El Cinturón Orogénico Cordillerano está asociado a la evolución tectónica de la Provincia Pacífica de Norteamérica y puede dividirse en siete episodios:

1. Tafrogenia Palizada (Triásico Superior – Jurásico Medio): se trata de un episodio extensional vinculado con la formación del Golfo de México. Aunque se tiene evidencia de su actividad en el este del estado, la intensidad y distribución de las estructuras aún no se han determinado con precisión (Espino-Barrios, 2023).

2. Tectónica de Transcurrencia (Jurásico). Algunos aspectos paleotectónicos y su distribución han sido explicados a través de modelos de fallas con desplazamiento lateral, como el de la Megacizalla Mojave-Sonora, que causó desplazamientos a lo largo del estado de Chihuahua (Espino-Barrios, 2023).

3. Fase Orogénica Nevadiana (Jurásico Superior). Durante este periodo, el arco magmático del Jurásico en las regiones de Sonora y Sinaloa fue sometido a deformación y



metamorfismo como resultado de un evento orogénico ocurrido al final del Jurásico (Espino-Barrios, 2023).

4. Fase Orográfica Mesocretácica (Orogeniana). Este episodio compresivo afectó el arco volcánico-sedimentario del Cretácico Inferior durante el Albiano-Cenomaniano, provocando el levantamiento de la región serrana (Espino-Barrios, 2023).

5. Fase Orográfica Laramide (Cretácico Superior-Terciario Inferior). Esta fase representa la culminación del ciclo orogénico Cordillerano. Se caracterizó por ser un evento compresional de gran magnitud, con actividad que comenzó hace 80 Ma y concluyó hace 45 Ma, desarrollando estructuras alternadas (anticlinales y sinclinales) con orientación NW y que estuvo acompañada de intenso magmatismo, dando origen al Cinturón Tectónico del Oriente de Chihuahua (Espino-Barrios, 2023).

6. Episodio Volcánico del Terciario Medio. Durante este periodo tuvo lugar la emisión de la Serie Volcánica Superior, en un contexto de relativa estabilidad tectónica, lo que marcó una etapa de transición entre los regímenes compresivo y distensivo (Espino-Barrios, 2023).

7. Episodio Extensional de Sierras y Cuencas (Terciario Superior). Este último régimen tectónico se caracterizó por el fin de la convergencia de placas en el noroeste de México, dando lugar a un levantamiento regional y la formación de numerosas fallas normales que generaron sucesiones de sierras y cuencas. Las fallas se alinean principalmente con los ejes de plegamiento laramídico, con orientación NW-SE y N-S (Espino-Barrios, 2023).

3.1.3 Geología del subsuelo

La Cuenca de Chihuahua (Fig. 10) es una cuenca de tipo pull-apart con movimiento lateral derecho, cuya formación inicio en el Oxfordiano durante un periodo de rotación relativa de la Placa Norteamericana (Haenggi, 2002). Se identificaron tres ciclos

sedimentarios importantes: (1) Jurásico Superior-Aptiano, con depósitos de terrígenos y carbonatos; (2) Albiano-Cenomaniano, depósitos carbonatados con intercalación de arcillas; (3) Turoniano-Senoniano, con depósitos donde predominan los terrígenos. Durante el Titoniano y Neocomiano, se dio un gran depósito de sedimentos, debido a que la tasa de sedimentación superó a la de subsidencia tectónica (Hernández, 2006)

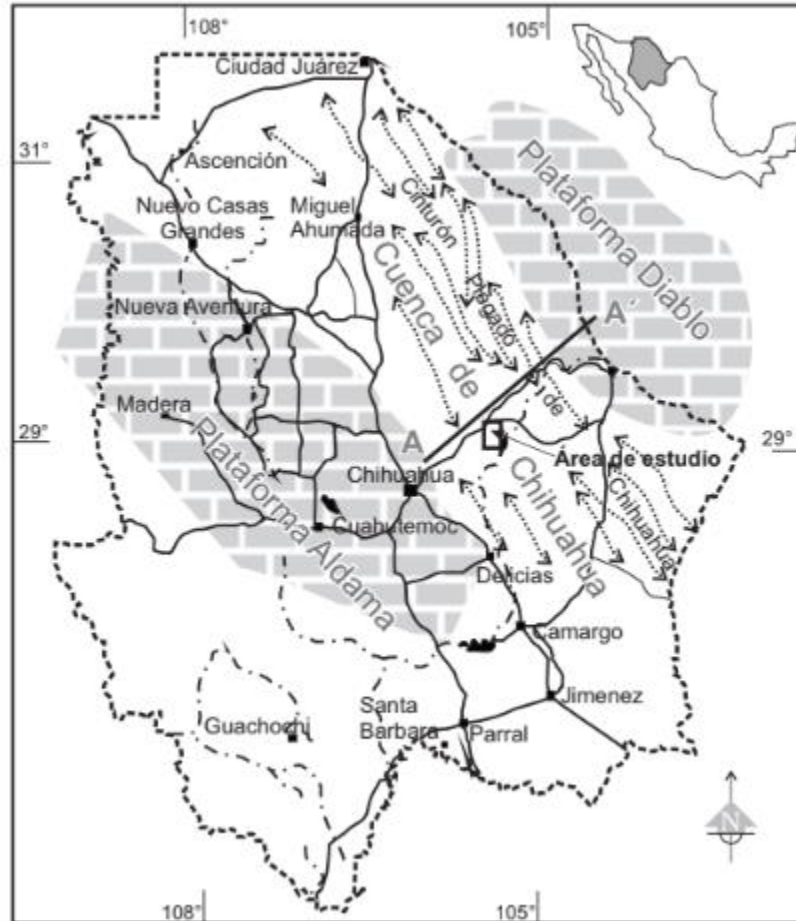


Fig. 10 Mapa de localización y elementos estructurales regionales, Chihuahua (Barboza-Gudiño et al., 2016)

Durante el Cretácico Inferior se depositaron los materiales que dieron origen a las formaciones Navarrete y Las Vigas, dentro de lo que fue el Neocomiano; y la Formación Cuchillo, desde el Barremiano al Aptiano.

Al finalizar el Cretácico Inferior, se inició un proceso de transgresión en conjunto con el cese del fallamiento en los márgenes de la cuenca, permitiendo la acumulación de una



secuencia carbonatada con aportes clásticos de tipo marino (Haenggi, 2002; Hernández, 2006). Durante el Albiano-Cenomaniano se llevó a cabo el depósito de secuencias principalmente carbonatadas con intercalaciones arcillo-calcáreas. Dentro de este ciclo se encuentran las formaciones Tamaulipas Superior, Glen Rose, Walnut, Loma de Plata y Del Río (Hernández, 2006).

La orogenia Laramide, en el Cretácico Superior, resultó de una tectónica compresiva que permitió la formación de estructuras de tipo sinclinal y anticlinal, cuya orientación preferencial es NW-SE. Durante el Cretácico tardío y el Paleógeno temprano se presentó el magmatismo de arco Laramide, de manera simultánea con la deformación laramídica. Este proceso dio origen a rocas de tipo intrusivo y extrusivo, catalogadas como "Complejo Volcánico Inferior", que incluye batolitos de diversas composiciones, así como secuencias volcánicas de andesitas, tobas, riolitas y dacitas (Ferrari et al., 2005).

La Sierra Madre Occidental (Cretácico – Cenozoico) es el resultado de diferentes eventos magmáticos y tectónicos que guardan una estrecha relación con el proceso de subducción de la placa Farallón. Tras un periodo de magmatismo intermitente, inició el volcanismo durante el Eoceno, representado litológicamente por ignimbritas y coladas de composición intermedia a silícica, mismas que se relacionan con el Supergrupo Volcánico Superior (SVS). El grupo recién mencionado se compone de secuencias ignimbríticas del Oligoceno-Mioceno, intercaladas con derrames dacíticos, riolíticos y basálticos (Ferrari et al., 2005).

Durante el régimen tectónico de Basin and Range que se presentó en el Oligoceno, la distensión dio origen a fallas normales que definieron sierras y cuencas tectónicas (Ferrari et al., 2005). En el Cuaternario, la erosión del material preexistente generó los sedimentos que rellenaron las cuencas formadas por la tectónica de Basin and Range.

La descripción general de la geología del subsuelo se realizó a partir de la información obtenida tanto del reporte del Consejo de Recursos Minerales correspondiente a la carta H13-4 Nuevo Casas Grandes, así como de la carta geológico-minera de esta misma porción.

Los planos y las secciones que se muestran a continuación corresponden a zonas circundantes del área de estudio, por lo que muestran un rango más amplio de la litología

presente. La figura 11 representa el área mineralizada “Real Viejo”, que se localiza al N-NE del municipio de Nuevo Casas Grandes. En esta zona se presentan rocas tanto sedimentarias como ígneas que conforman principalmente las superficies montañosas; además del característico relleno de cuenca representado por conglomerados, limos y arenas. La base de la sección se conforma de rocas sedimentarias de edad cretácicas, las cuales representan deformación por plegamiento. Sobre éstas se posicionan rocas volcánicas de diferente composición; además, se presenta la intrusión de un cuerpo granítico-granodiorítico. Como material de relleno de cuenca se tiene conglomerados, limos y arenas (Fig. 12).

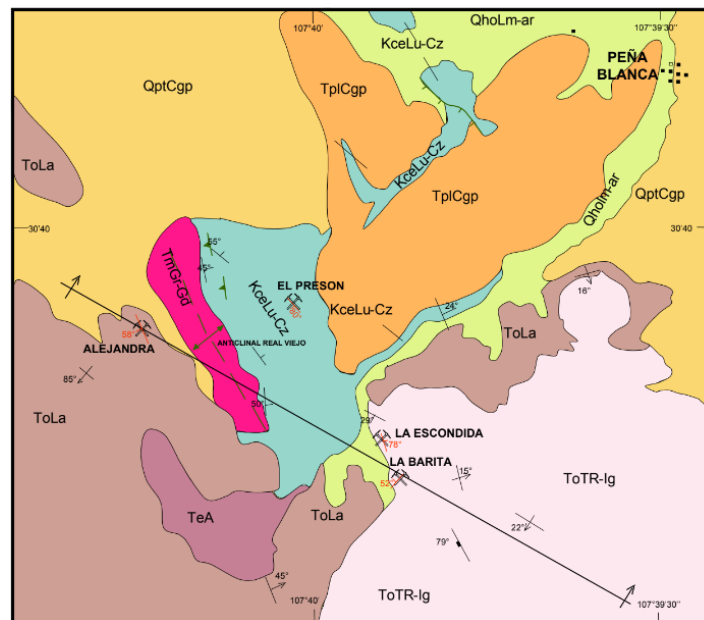


Fig. 11 Geología regional del área mineralizada de Real Viejo (Consejo de Recursos Minerales, 2003).

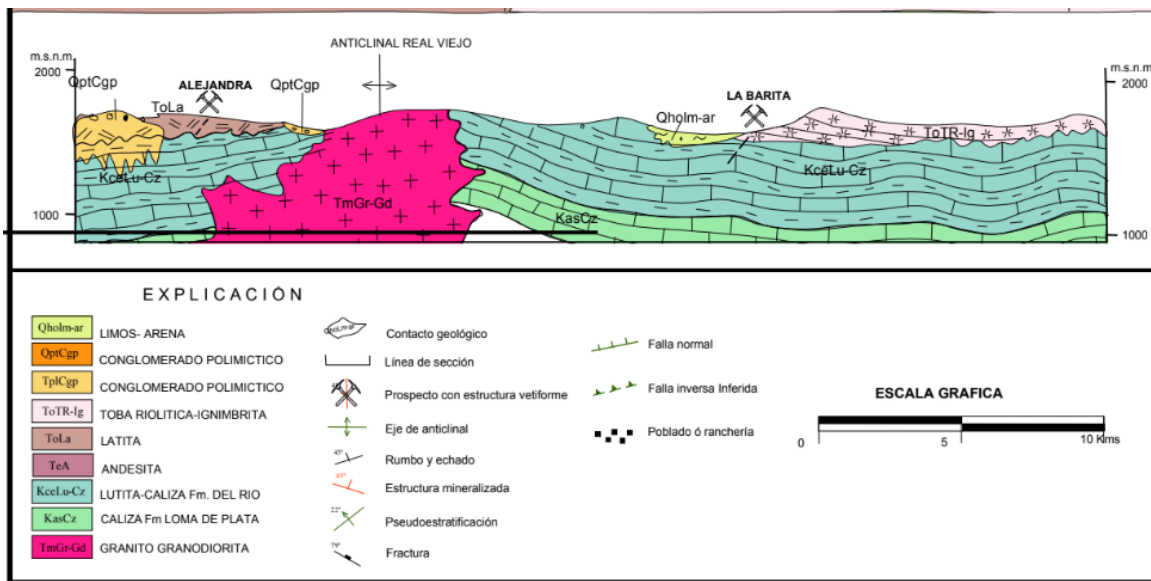


Fig. 12 Sección geológica del área mineralizada de Real Viejo (Consejo de Recursos Minerales, 2003).

Al este del municipio de Nuevo Casas Grandes se desarrolló otra sección geológica (Fig. 13) donde se ha interpretado una mayor presencia de rocas ígneas, principalmente tobas riolíticas-ignimbritas, así como algunas porciones riolíticas con el relleno de cuenca representado por conglomerado polimítico.

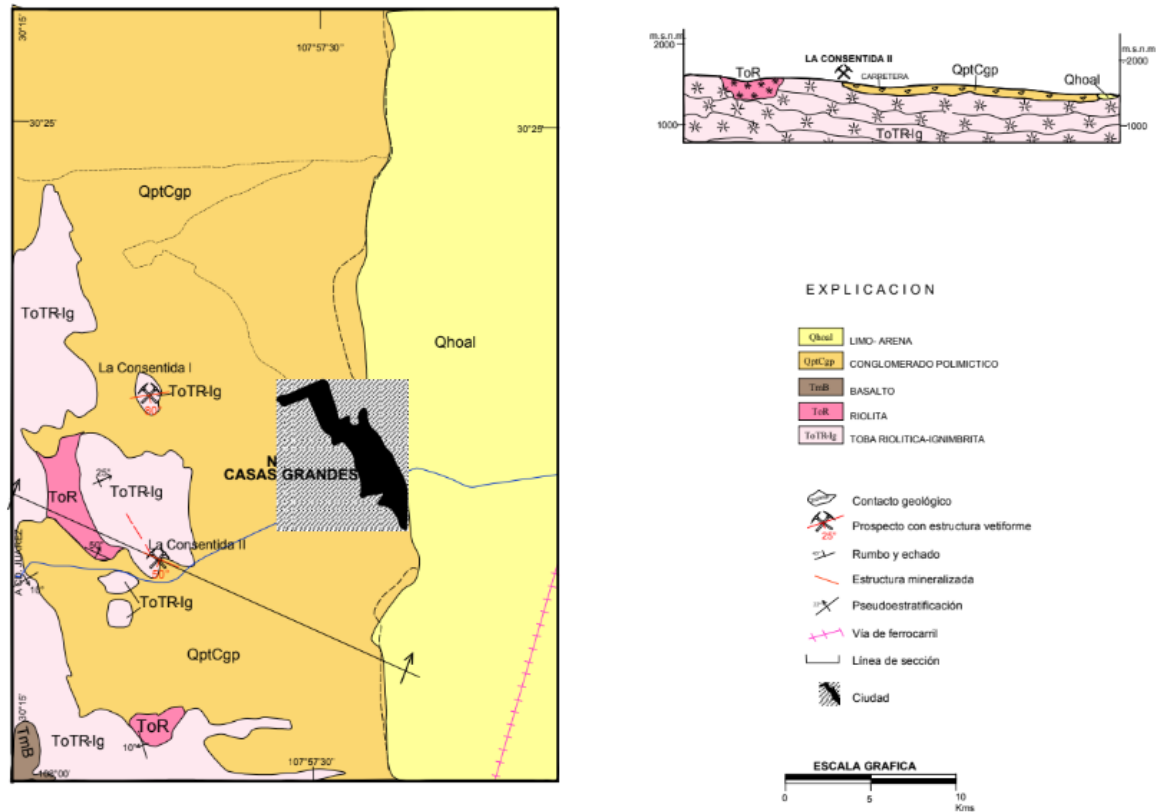


Fig. 13 Geología regional y sección geológica Casas Grandes (Consejo de Recursos Minerales, 2003).

3.2 HIDROGEOLOGÍA

3.2.1 Piezometría y direcciones de flujo

La información referente a la piezometría de la zona de estudio se recopiló a partir de la base de datos sobre redes de monitoreo piezométrico de la Comisión Nacional del Agua, llamado “Redes de Monitoreo Piezométrico, Subgerencia de Exploración y Monitoreo Geohidrológico”. Esta herramienta permite acceder y consultar datos detallados sobre los niveles piezométricos o estáticos mediante un visualizador interactivo.

Una vez obtenidos los datos necesarios, se procedió a su procesamiento, que incluyó herramientas de interpolación. Este proceso permitió generar las isolíneas correspondientes, proporcionando una representación visual de las variaciones en los niveles piezométricos en la zona de estudio. La Figura 14 ilustra claramente los resultados obtenidos a través de este análisis.



El nivel estático muestra un gradiente hidráulico descendente casi constante desde el sur hasta el norte de la región. El cambio de elevación en el nivel es más pronunciado hacia el sur, indicando un gradiente mayor que disminuye a medida que el flujo avanza hacia el norte, con valores entre los 1460 y 1400 m.s.n.m. Se observan algunas disminuciones puntuales cerca de la zona urbana.

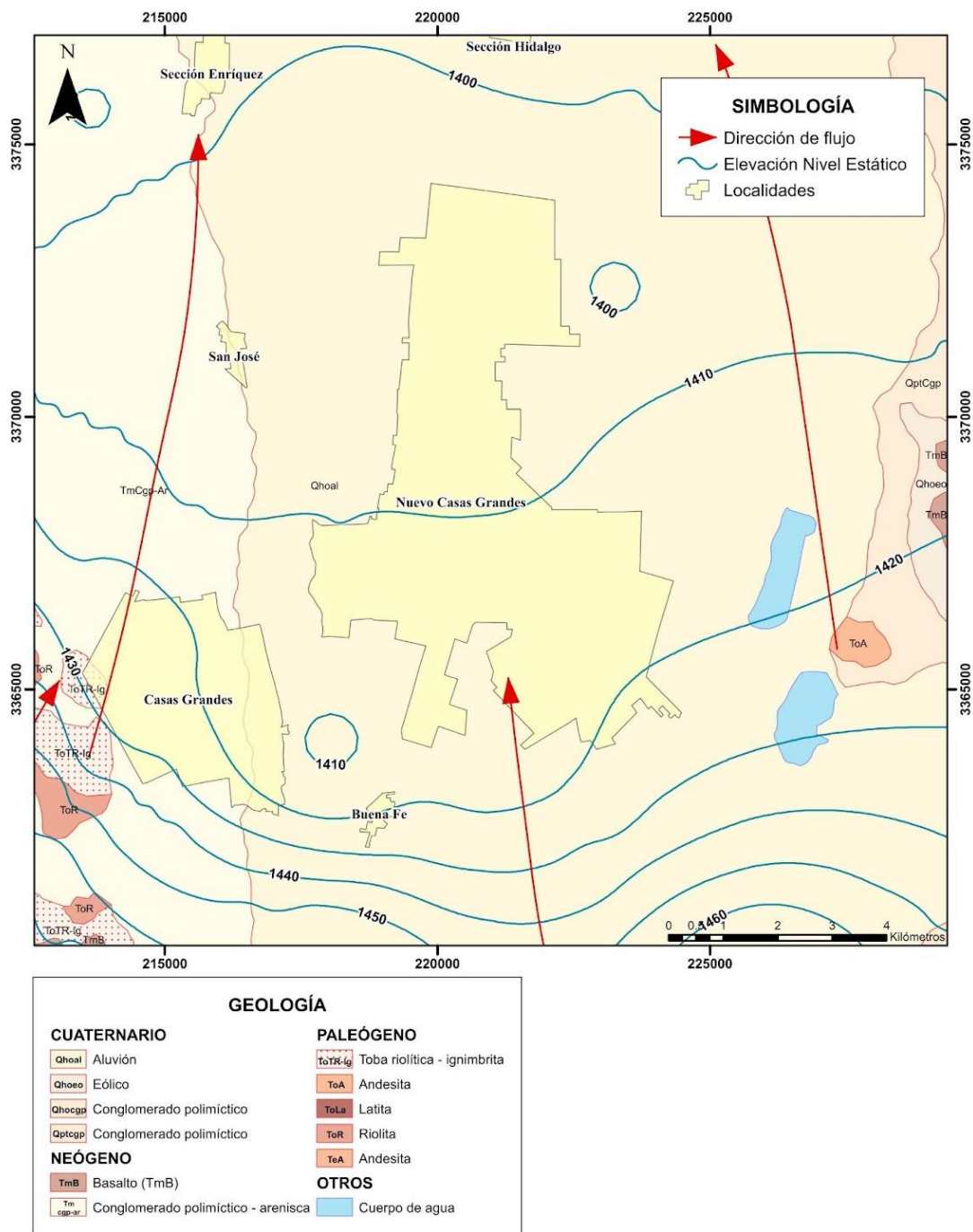


Fig. 14 Geología regional y direcciones de flujo del agua subterránea en el área de estudio. Elaboración propia.



3.2.2 Unidades hidroestratigráficas

Una de las unidades son los depósitos aluviales del Cuaternario, los cuales poseen una granulometría variada, reflejando una buena permeabilidad, haciendo de esta unidad una de las más importantes. Otra de gran importancia son los conglomerados de edad Terciaria, que engloban materiales como clastos volcánicos, material cementado por carbonato de calcio, que presenta algunas intercalaciones con lentes arenosos (CONAGUA, 2024).

La mayoría de los pozos han sido perforados a través de conglomerados, haciendo de ésta la unidad hidrológica más relevante en la región (CONAGUA, 2024).

3.2.3 Tipo de acuífero

En los estratos de sedimentos granulares que componen el acuífero, la permeabilidad exhibe variaciones ocasionadas por la presencia intercalada de gravas, arenas, limos y arcillas. Sin embargo, en términos generales, los materiales aluviales saturados conforman un acuífero libre con una permeabilidad altamente favorable, como lo evidencian los significativos volúmenes de agua extraídos anualmente (CONAGUA, 2024).



CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DEL AGUA

Se solicitaron los registros de calidad del agua de los trece pozos que integran el sistema de agua potable de la ciudad, mismos que fueron proporcionados por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento del municipio de Nuevo Casas Grandes. A través de un oficio fueron solicitados los datos históricos de los parámetros de arsénico, fluoruro, nitratos, dureza total y sólidos totales disueltos, evaluados en el Laboratorio Regional de Calidad del Agua mediante las técnicas mencionadas en la Tabla 2. La información resultante fue sintetizada en el Apéndice A. Tablas resumen por pozo.

Tabla 2. Técnicas/normas utilizadas para el análisis de los distintos parámetros.

Parámetro	Técnicas utilizadas
Flúor	Norma NMX-AA-077- SCFI-2001
Arsénico	Espectrómetro de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
Nitratos	Norma NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales	Norma NMX-AA-034-SCFI-2015
Dureza total	Norma NMX-AA-051-SCFI-2001.



Los puntos evaluados con sus respectivas coordenadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Coordenadas de puntos evaluados para el estudio.

#	Pozo	Coordenada Este	Coordenada Norte
1	Tinaco	219863	3367777
2	Plaza	219881	3368524
3	Bomberos	219964	3369817
4	Alamedas	220246	3369881
5	Dublán	220252	3371333
6	Salvador Partida	221266	3372185
7	Villahermosa	222468	3367296
8	Reforma	222911	3367204
9	Tecnológico	223961	3365058
10	CROC	223472	3365131
11	Obrera	220793	3367210
12	Quemado	220200	3366502
13	Paquimé	219959	3366895

La tesis de maestría de Précoma Mojarro (2007) fue un gran aporte ya que funge como una recopilación de datos a nivel regional en materia de calidad del agua subterránea, tanto del acuífero de interés, como de algunos acuíferos vecinos.

Otras de las fuentes de información relevantes fueron los estudios de disponibilidad realizados por la Comisión Nacional del Agua; base de datos y compendios de información geográfica municipal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía; así como el reporte de la Carta Geológico-Minera H13-4 de Nuevo Casas Grandes, elaborado por el Consejo de Recursos Minerales en el 2003.



4.1.2 Análisis comparativo y procesamiento de datos

Tras la recopilación de los datos se realizó un análisis comparativo entre los resultados de las concentraciones de los parámetros de interés reportados en diferentes años. En la tesis de Précoma Mojarro se enlistan los resultados correspondientes al año 2006, mientras que la información proporcionada por la JMAS aporta datos de años más recientes (2017-2022). Este análisis se ejecutó a través del programa de Excel, logrando su representación gráfica con el uso de la herramienta de Minitab, a través de tablas y gráficas de tendencia temporal de los parámetros de calidad del agua.

En el caso de los estudios de calidad del agua realizados por JMAS se observa que, aunque normalmente se llevan a cabo dos veces al año, en algunos casos los intervalos entre las tomas de muestras variaron. Para obtener una visión más representativa y consistente de la calidad del agua durante un año, los datos de las muestras recogidas en ese año se promediaron. Esta normalización ayudó a suavizar las variaciones debidas a los diferentes periodos de muestreo y proporcionó una estimación más estable de la calidad del agua a lo largo del año.

Para la localización de los puntos evaluados, así como la determinación de otras características y ejecución de otras herramientas, como la interpolación, se hizo uso del programa de sistemas de información geográfica ArcGIS. Del mismo modo, dicho programa se utilizó para la elaboración de los distintos planos.

Se sometieron los resultados de calidad del agua a una comparación con la actualización del 2021 de la NOM-127-SSA1, con la finalidad de llevar a cabo la verificación del cumplimiento de dicha norma para tales parámetros.



CAPÍTULO 5: RESULTADOS

5.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

La evaluación del comportamiento histórico de 5 parámetros representativos de la calidad del agua de los pozos que integran el sistema de abastecimiento de la ciudad de Nuevo Casas Grandes se realizó mediante gráficos de concentración versus tiempo. Esto permitió identificar tendencias y variaciones en el comportamiento de estos indicadores en un periodo comprendido entre el año 2006 y 2022. La comparación de los datos se muestra a continuación en agrupaciones de pozos, cuyos resultados analíticos por pozo se encuentran adjuntos en los Apéndices B al F.

La localización de los pozos se observa en la Figura 15.

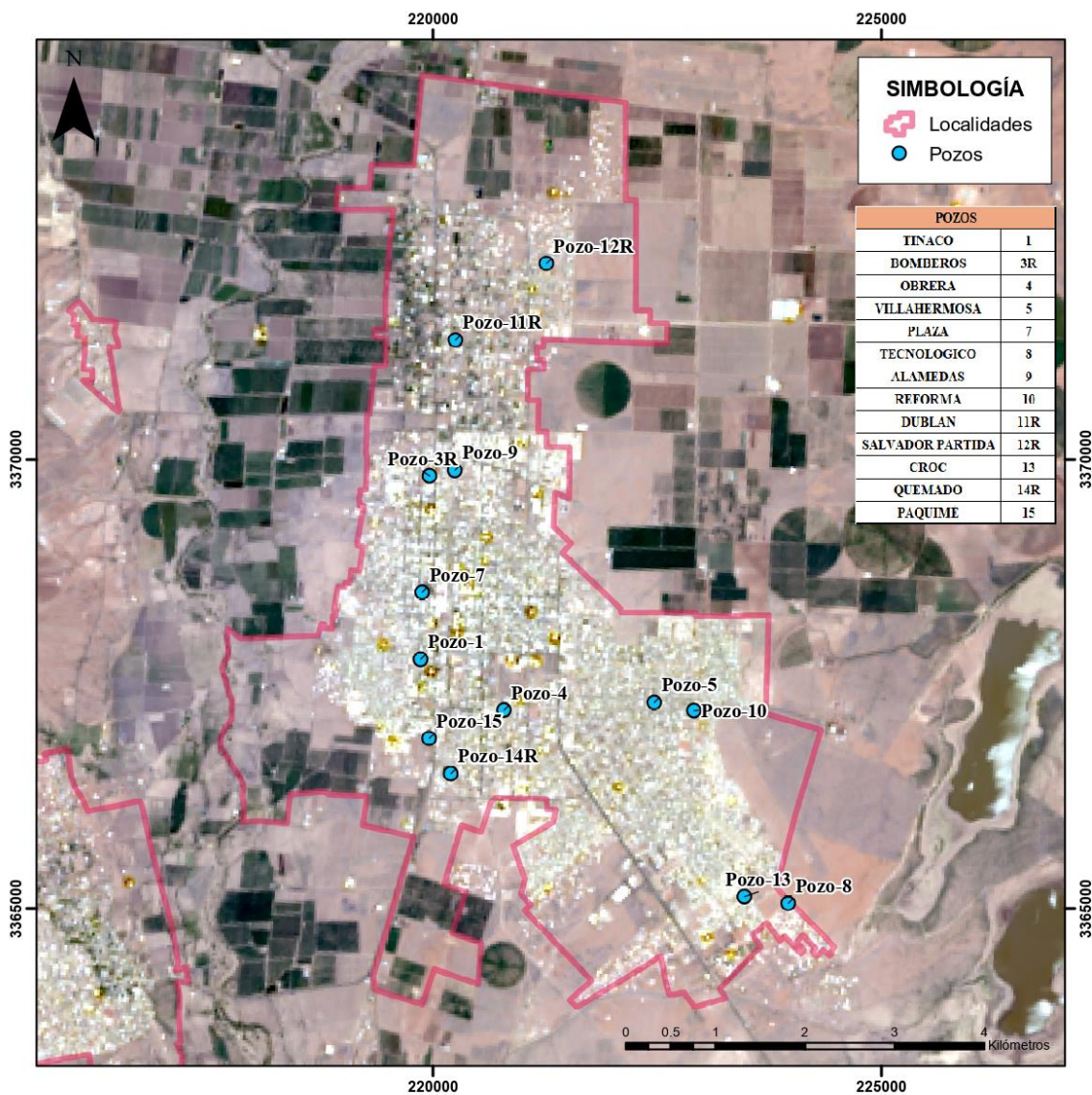


Fig. 15 Localización de los pozos dentro de la ciudad Nuevo Casas Grandes. Elaboración propia.

5.1.1 Fluoruro

Los resultados de fluoruro fueron divididos en tres grupos. Los gráficos incluyen como líneas punteadas horizontales de color rojo el Límite Máximo Permisible (LMP) de la NOM Oficial 127 del año 2000 con 1.5 mg/L y su comparación con la actualización del año 2021 con 1.0 mg/L.



El análisis de estos datos es importante para la evaluación de la calidad del agua y su adecuación para el consumo humano, debido a que valores altos de este ion pueden ser perjudiciales para la salud (fluorosis dental o esquelética).

La gráfica en la Fig. 16 muestra la variación en la concentración de fluoruro (mg/L) en cinco pozos de la ciudad de Nuevo Casas Grandes (NCG) que componen el grupo (1): CROC (azul), Tecnológico (rojo), Obrera (verde), Villahermosa (morado) y Quemado (negro).

Todos los pozos observados en esta gráfica presentaron concentraciones persistentemente superiores al límite anteriormente mencionado (1.5 mg/L) durante el periodo estudiado. En cada uno de los casos, las concentraciones mínimas reportadas fueron superiores al LMP actual, indicando un exceso de fluoruro.

El pozo CROC presenta fluctuaciones con valores muy altos en los años 2017 y 2021, ya que la concentración supera los 6 mg/L. En 2019, los valores disminuyeron casi 4 mg/L. Esta tendencia o comportamiento señala que los niveles de fluoruro en este pozo son consistentemente elevados.

El pozo Tecnológico exhibe concentraciones que superaron los 4 mg/L a través de los años. Las mayores concentraciones se presentaron en 2020 y 2021, acercándose a 5 mg/L. Si bien en 2019 los valores disminuyeron, la concentración continuó superando los 3 mg/L.

El pozo Obrera presentó una tendencia más estable en comparación a los otros pozos, aun cuando sus concentraciones se mantuvieron entre 3 a 5 mg/L. Sin embargo, en 2020 la concentración disminuyó casi a 2 mg/L. Aun cuando los valores presentaron menos fluctuaciones, siguieron siendo altos.

El pozo Villahermosa mostró algunos de los valores más altos de fluoruro, sobre todo en 2017 y 2021, donde las concentraciones alcanzaron los 8 mg/L. En 2019 se reportaron los valores más bajos, aunque cercanos a 5 mg/L. Este podría considerarse uno de los pozos más críticos debido a los altos valores mencionados.

El pozo Quemada exhibió una tendencia fluctuante, donde las concentraciones de fluoruro oscilaron entre 2 mg/L y 4 mg/L; alcanzando un máximo valor de casi 5 mg/L en 2021, para posteriormente descender en 2022.

Es importante mencionar que, con excepción del pozo Tecnológico, en el que se observa una marcada tendencia a la disminución paulatina del fluoruro con el transcurso del

tiempo (de 5 mg/L a 4 mg/L, aproximadamente), en el resto de los pozos analizados se muestran fluctuaciones muy drásticas, difícilmente atribuibles a cambios reales en las concentraciones de este ion en el acuífero. En tales casos, dichas variaciones se pueden atribuir a probables inconsistencias en las maniobras de colección y análisis de las muestras realizadas efectuadas en los diferentes periodos estudiados.

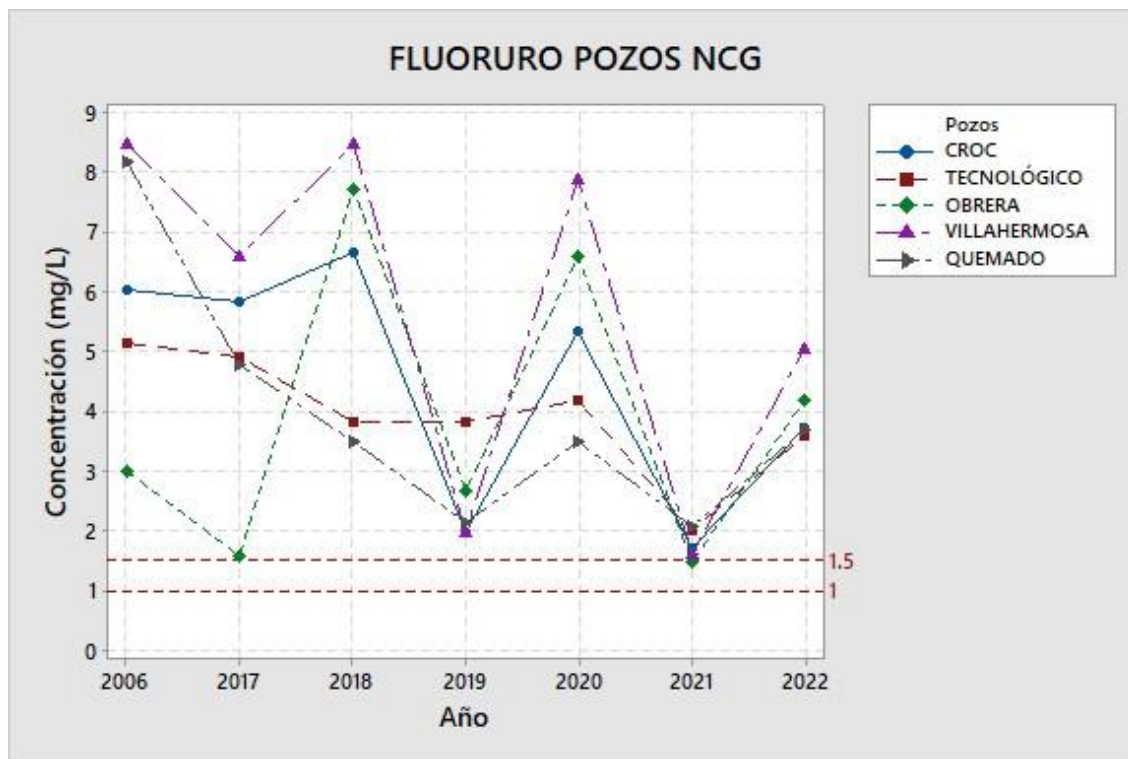


Fig. 16 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de fluoruro para los años 2006-2022.

En la gráfica del segundo grupo (Fig. 17) encontramos a los pozos Dublán (azul), Plaza (rojo) y Alamedas (verde) con una concentración de fluoruro “intermedia”, es decir, la mayoría de las concentraciones dentro de este grupo se encontraron entre los valores de 1.0 y 1.5 mg/L, resultando en una excedencia del LMP citado por la NOM.

El pozo Dublán presentó dos valores sobresalientes, uno en el año 2018 y otro en el 2021, justo sobrepasando los 2.0 mg/L. También mostró los valores más bajos en el año 2019 y 2020, siendo estos dos los únicos por debajo del LMP actual de 1.0 mg/L.

El pozo Plaza mostró un comportamiento similar al anterior, donde el primero de sus valores elevados se observó en el año 2007 y el segundo en el año 2021; en este caso, al igual que en el pozo Dublán, los niveles descendieron significativamente en el año 2019, encontrando este valor apenas por debajo del LMP de 1.0 mg/L. Nuevamente, las notables fluctuaciones de las concentraciones de fluoruro en estos dos pozos son probablemente atribuibles a inconsistencias en las técnicas analíticas utilizadas en el transcurso del tiempo.

El pozo Alamedas se mantuvo consistentemente por debajo del límite obsoleto de 1.5 mg/L, lo que sugiere que, a diferencia de los otros dos pozos, éste presentó un menor riesgo, pero aún sobre el LMP actual, con concentraciones alrededor de 1.2 mg/L.

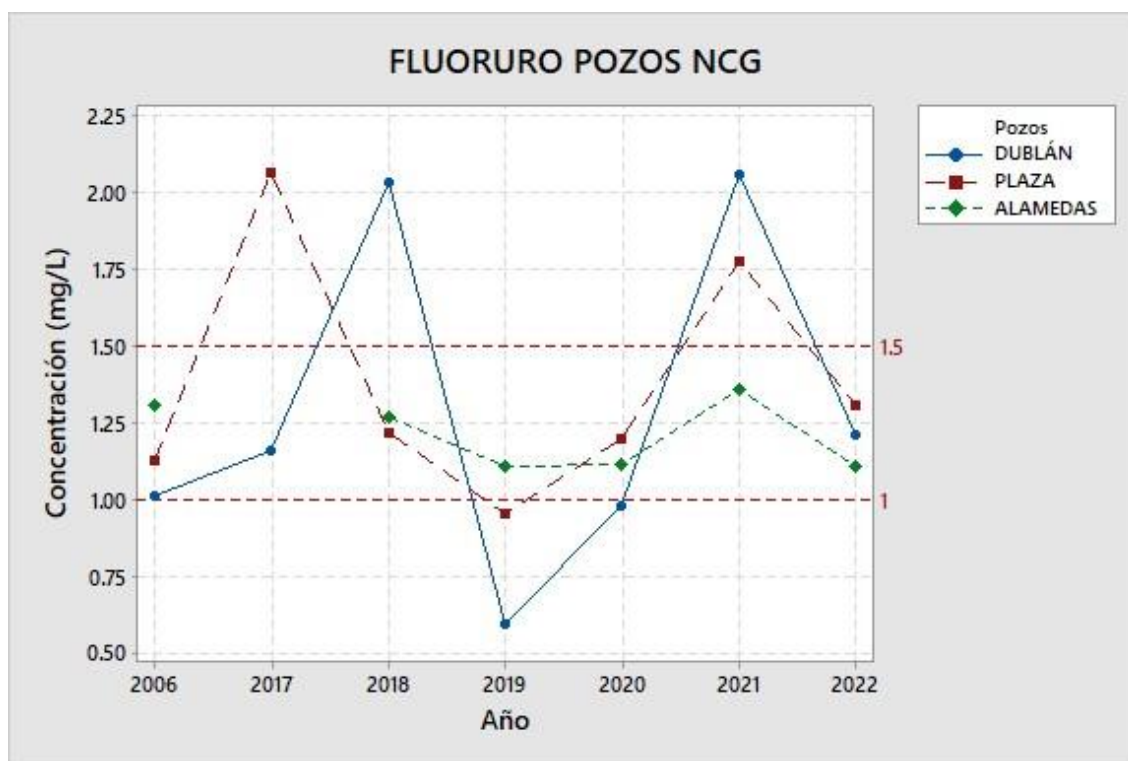


Fig. 17 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de fluoruro para los años 2006-2022.

Mientras que el grupo (3) (Fig. 18) que incluye a los pozos Paquimé (azul), Tinaco (rojo), Reforma (verde), Bomberos (morado) y Salvador Partida (gris) se diferenció por tener una distribución variable en comparación a las dos agrupaciones anteriores. Este grupo puede caracterizarse por que todos los pozos excedieron el LMP actual de 1.0 mg/L; siendo los

pozos Reforma y Salvador Partida los que destacaron por tener las concentraciones más elevadas.

El pozo Paquimé mostró una tendencia consistente por encima del límite de 1.0 mg/L.

El pozo Tinaco podría considerarse como el pozo con resultados más estables (sin presentar notables fluctuaciones), sin embargo, todos los valores, exceptuando el del año 2017 se encontraron por encima del LMP de 1.0 mg/L.

El pozo Reforma contiene 4 de los valores más elevados del gráfico, específicamente, presentó el valor más alto de todos los pozos, sobrepasando los 6 mg/L en el año 2018, lo que significa que excedió el límite actualizado por aproximadamente 5 mg/L.

El pozo Bomberos inició el gráfico con concentraciones que se aproximaron a los 4 mg/L, y con el paso del tiempo, los valores tendieron a decrecer, a pesar de que el año 2021 tuvo un repunte que superó ligeramente los 2 mg/L.

El pozo Salvador Partida presentó un valor muy alto en 2020 con cerca de 5 mg/L, mientras que el resto de las concentraciones de igual manera se encontraron muy por encima del LMP.

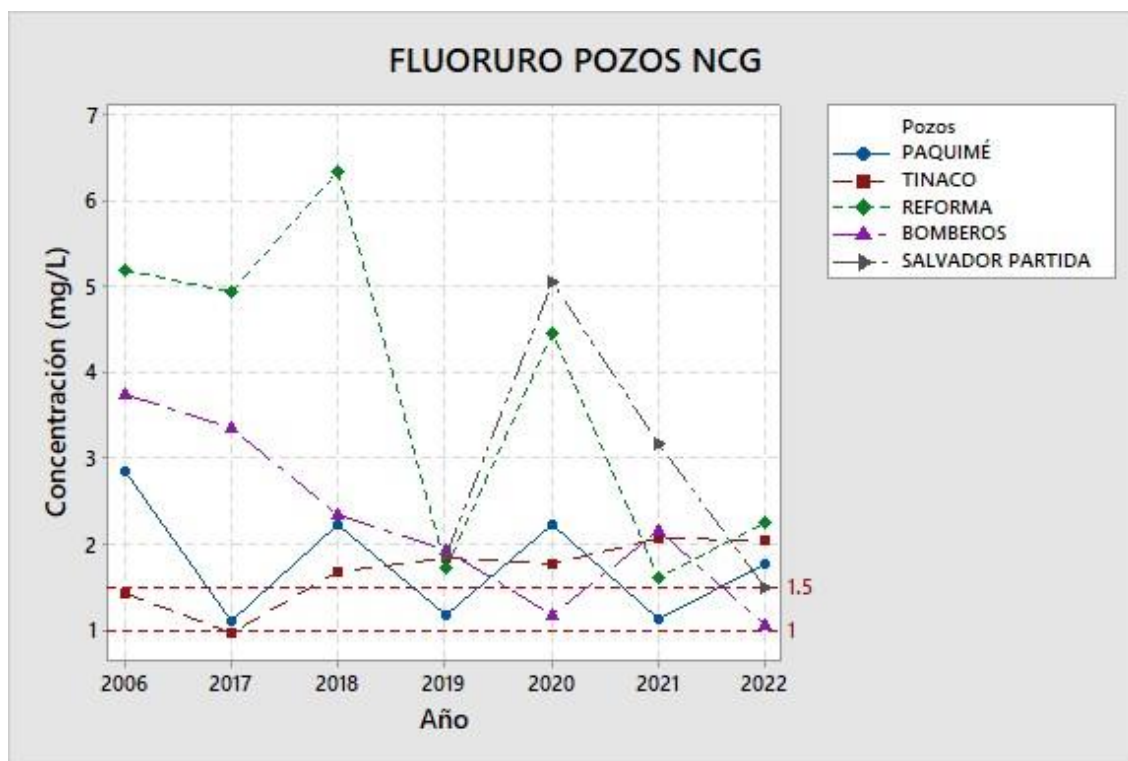


Fig. 18 Gráfico del grupo (3). Evaluación de las concentraciones de fluoruro para los años 2006-2022.

5.1.2 Arsénico

En el caso de los gráficos referentes al parámetro arsénico, se trazaron 2 líneas rojas de manera horizontal que representan los LMP estipulados en el año 2000, con 0.025 mg/L, y la proyección a 0.01 mg/L, a los tres años posteriores a la entrada en vigor de la Norma del 2021.

Los pozos Alamedas (azul), Bomberos (rojo), Paquimé (verde), Dublán (morado) y Plaza (gris) fueron agrupados por presentar concentraciones consistentemente bajas (Fig. 19), ubicándose por debajo del LMP postulado en la proyección de la actual Norma (0.01 mg/L a los tres años posteriores a la implementación), excepto por el dato obtenido en el pozo Bomberos el año 2006 con alrededor de 0.015 mg/L y en Plaza para el año 2021, que se acerca a 0.025 mg/L. Este valor se considera excepcionalmente alto (VEA), de acuerdo con el historial de pozo en el resto de los años revisados, por lo que es posible descartarlo de la tendencia general observada.

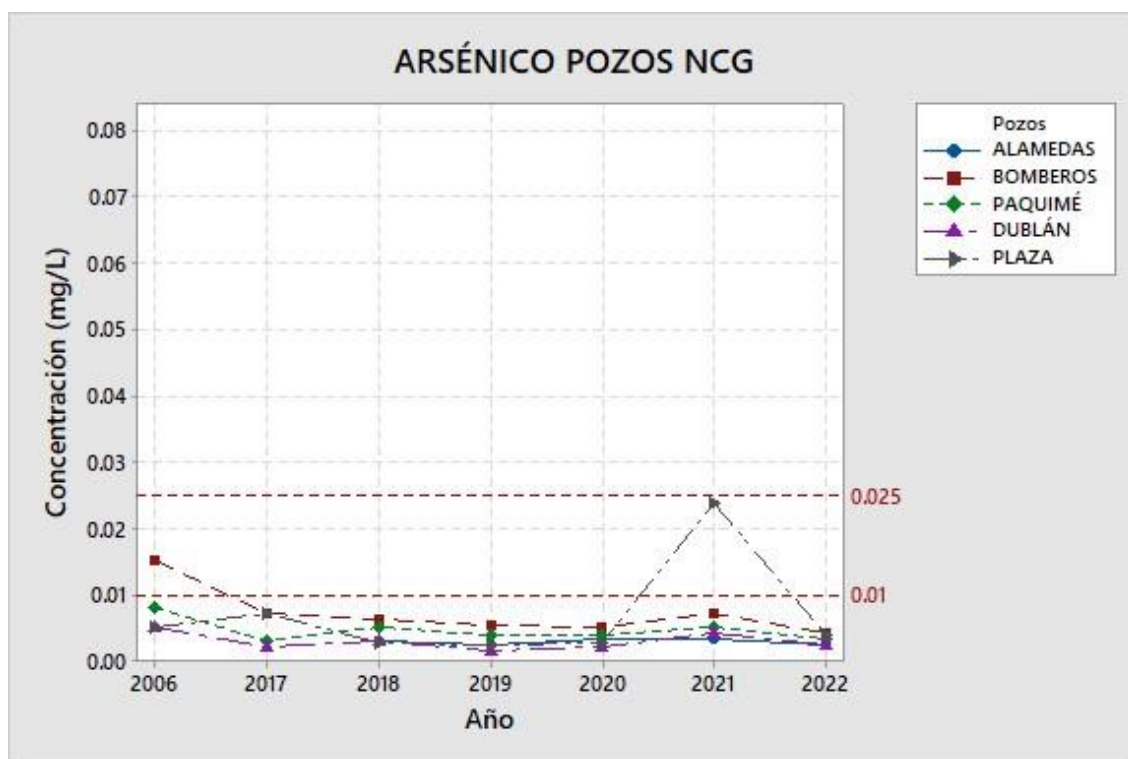


Fig. 19 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de arsénico para los años 2006-2022.

En la figura 20 el pozo Tecnológico (morado), presentó la concentración más elevada en el año 2006 con poco más de 0.07 mg/L, mientras que para el año 2018 presentó una disminución pronunciada resultando en una concentración cercana a los 0.02 mg/L. Finalmente a partir del año 2019 las concentraciones se encontraron cercanas a 0.04 mg/L.

El pozo CROC (verde) comparte un patrón similar al del pozo Tecnológico, excepto por el año 2018, donde comenzó su punto de estabilización acercándose a los 0.04 mg/L.

Todos sus valores se encontraron por encima del LMP.

El pozo Obrera, a diferencia de los otros pozos, mostró un aumento progresivo en la concentración de arsénico. Comenzó con valores bajos, poco menos de 0.01 mg/L en el año 2006, aumentando paulatinamente hasta llegar a valores cercanos a 0.04 mg/L a partir del año 2019.

Mientras que el pozo Tinaco (rojo) tuvo una situación más favorable con respecto a sus concentraciones, exceptuando al año 2019, en el que se exhibió un notable repunte, lo que también se considera un VEA que puede ser descartado de la tendencia general a mantenerse prácticamente por debajo del LMP de 0.01 mg/L.

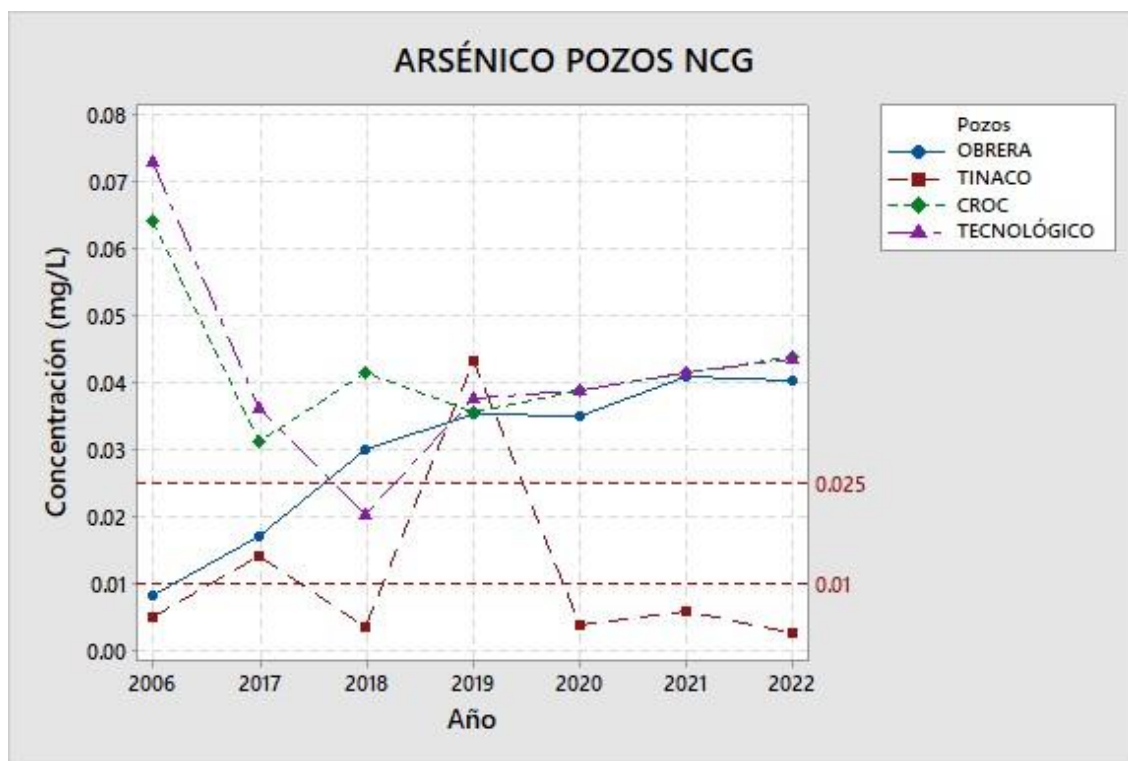


Fig. 20 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de arsénico para los años 2006-2022.

En la figura 21 el pozo Quemado destacó por sus altas concentraciones tanto en el año 2006 como en el 2022. En cuanto a este último, la comparación con los resultados de años subsecuentes, donde la concentración promedio de arsénico se mantiene alrededor de 0.015 mg/L, condiciona a considerar dicho valor con VEA, mismo que puede ser descartado del conjunto.

Los pozos Salvador Partida, Reforma y Villahermosa comparten la similitud de tener una tendencia a la baja a lo largo de los años. Estos dos últimos pozos presentaron un comportamiento similar, exhibiendo concentraciones entre 0.01 y 0.03 mg/L. Por otro lado, el pozo Salvador Partida mostró un decremento en la concentración, siendo ésta incluso menor que el LMP proyectado a tres años.

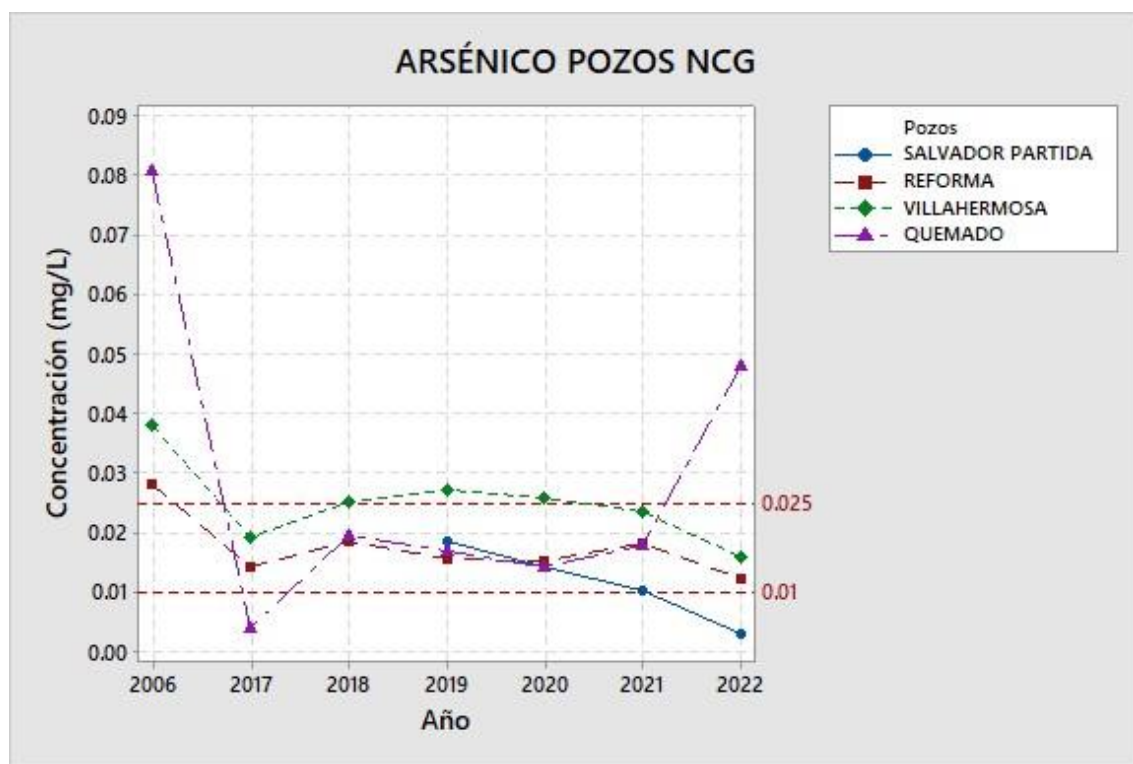


Fig. 21 Gráfico del grupo (3). Evaluación de las concentraciones de arsénico para los años 2006-2022.

5.1.3 Nitratos

Con relación al parámetro nitratos, cabe destacar que todos los valores se encontraron por debajo del LMP establecido en la NOM-127 que, en términos de N-NO_3 es de 11.0 mg/L, equivalente a 48.7 mg/L como NO_3 .

En el gráfico representado en la figura 22 se aprecia una disminución en la concentración del ion nitrato (NO_3) entre los años 2006 y 2018, especialmente en los pozos que presentaron los valores más altos. Los valores más bajos se presentaron en el año 2019, para después retomar una orientación al alza.

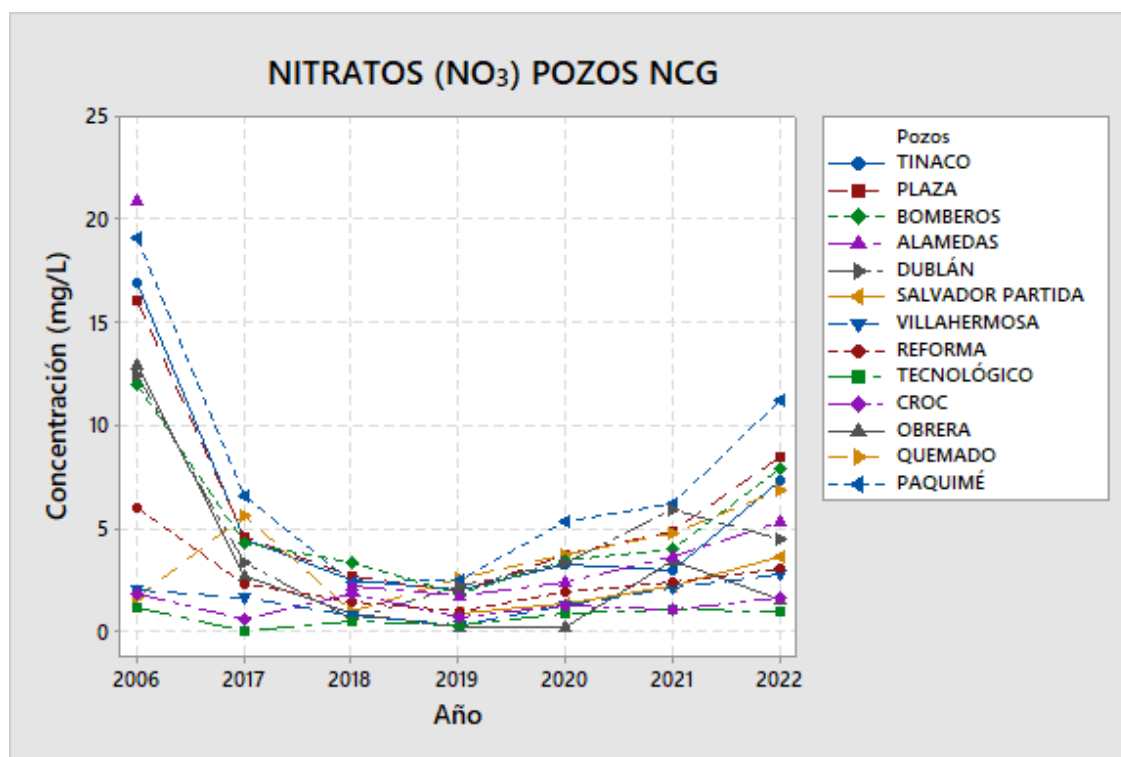


Fig. 22 Gráfico evaluación de las concentraciones de nitratos para los años 2006-2022.

5.1.4 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Todas las concentraciones pertenecientes a los SDT se encontraron por debajo de del LMP de 1000 mg/L presente en la NOM 127.



La figura 23 muestra los valores obtenidos en los pozos Tinaco (azul), Plaza (rojo), Bomberos (verde), Alamedas (morado), Dublán (gris) y Paquimé (amarillo). La mayoría de los datos obtenidos se encuentran entre el rango de concentración entre los 200 y 400 mg/L.

El pozo Tinaco (azul) presentó concentraciones relativamente estables al pasar de los años, fluctuando entre los 300 y 350 mg/L, mostrando su máxima concentración en el año 2019.

El pozo Plaza (rojo) muestra concentraciones que oscilan entre los 350 mg/L, excepto por el dato obtenido en el año 2020 con un significativo descenso que llegó a poco más de 200 mg/L. Este valor es excepcionalmente bajo (VEB), comparado con el resto del historial, por lo que quedaría descartado de la tendencia general del pozo alrededor de 350 mg/L.

El pozo Bomberos (verde) cuenta con fluctuaciones pronunciadas entre los años 2017 y 2021, presentando como base valores cercanos a los 300 mg/L que descienden hasta alrededor de los 150 mg/L en los años 2018 y 2020, considerados también como VEB.

El pozo Alamedas (morado) presenta la mayoría de sus datos entre los 250 y los 300 mg/L, exceptuando el año 2020, donde presentó una concentración de 150 mg/L (VEB).

El pozo Dublán (gris) presentó un comportamiento general a la baja, con el valor más alto obtenido en el año 2006, mientras que un VEB se presentó en el año 2020.

El pozo Paquimé (amarillo) presentó la caída más significativa ya que en el año 2019 tenía una concentración de 400 mg/L, mientras que para el año 2020 se encuentra alrededor de los 130 mg/L (VEB que puede descartarse). El resto de los años presentó concentraciones alrededor de 350 mg/L.

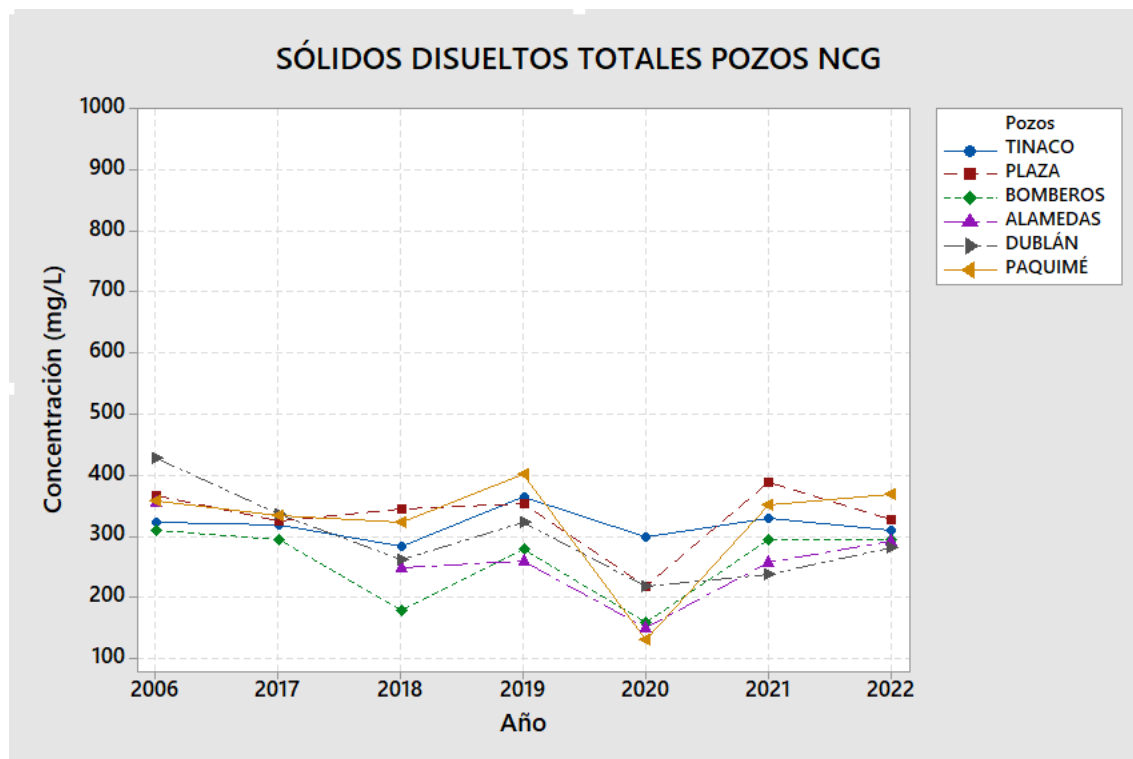


Fig. 23 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de SDT para los años 2006-2022.

En la figura 24 se encuentran los pozos Salvador Partida (circulo azul), Villahermosa (rojo), Reforma (verde), Tecnológico (morado), CROC (gris), Obrera (amarillo) y Quemado (triángulo azul). En el gráfico en general se observan fluctuaciones moderadas en la mayoría de los años exceptuando por el año 2020 donde existen VEB en la mayoría de los pozos excluyendo al pozo Quemado, en el cual fluctuó la concentración de SDT entre 150 y 350 mg/L.

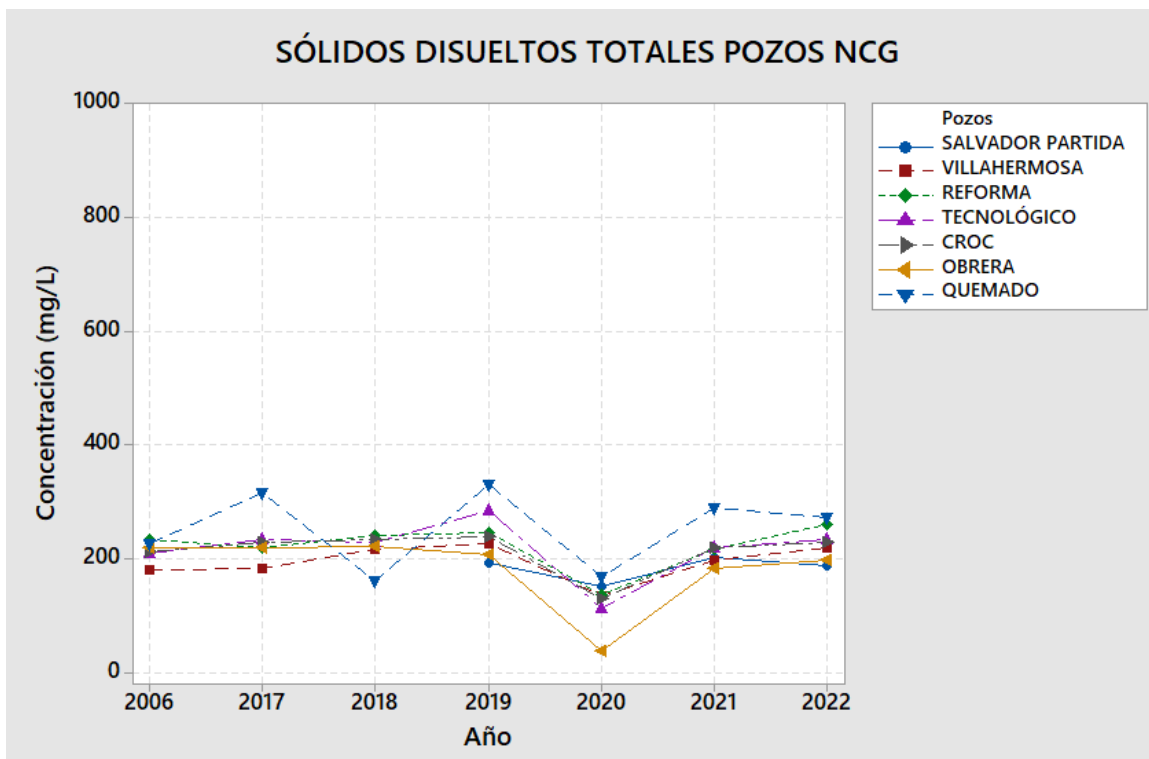


Fig. 24 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de SDT para los años 2006-2022.

5.1.5 Dureza total

Las concentraciones de todos los pozos se encontraron por debajo del LMP de 500 mg/L.

En la figura 25 se exponen los pozos Quemado (circulo azul), Alamedas (rojo), Bomberos (verde), Tinaco (morado), Dublán (gris), Paquimé (amarillo), Plaza (triangulo azul). Para el año 2006 los valores de concentraciones se encontraban muy dispersos en un rango desde 25 a poco más de 300 mg/L. Sin embargo, a partir del año 2017 al 2020 la mayoría de los pozos tuvieron un desarrollo similar, para finalmente mantenerse en la horizontal de sus respectivas concentraciones; excepto por el pozo Quemado que se mantuvo consistente entre 100 y 125 mg/L desde el año 2017.

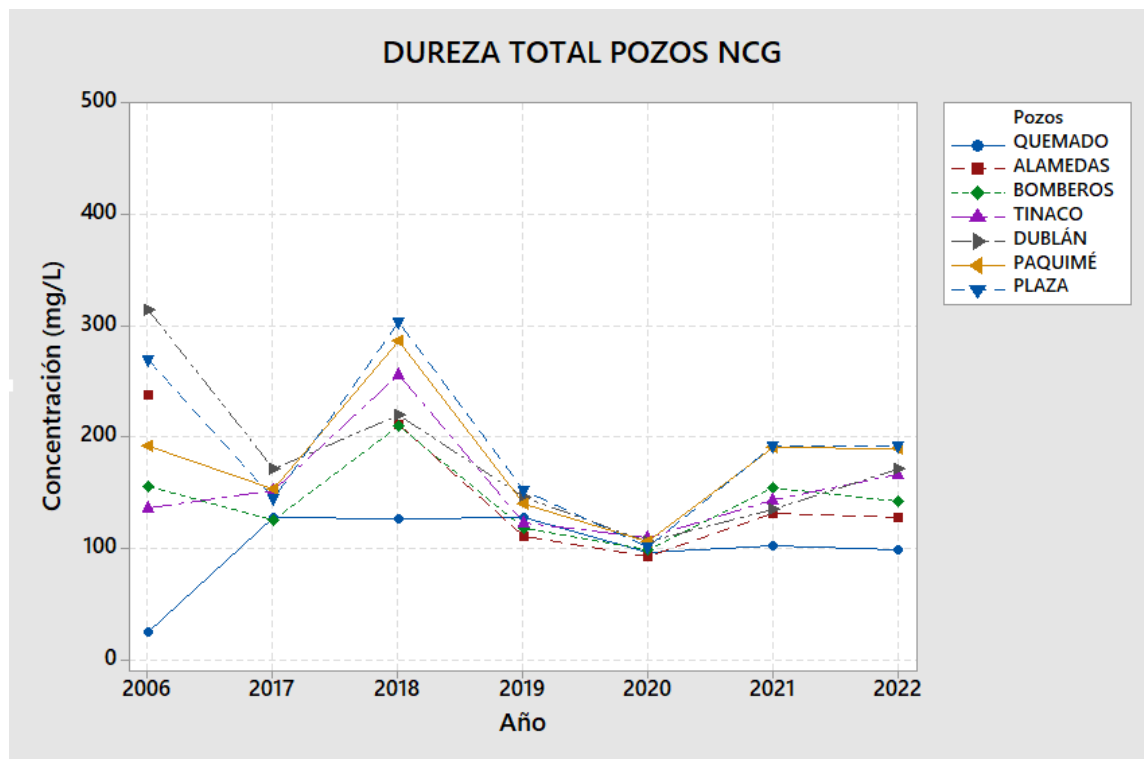


Fig. 25 Gráfico del grupo (1). Evaluación de las concentraciones de dureza total para los años 2006-2022.

En la figura 26 se exponen los pozos Tecnológico (azul), CROC (rojo), Obrera (verde), Villahermosa (morado), Reforma (gris) y Salvador Partida (amarillo).

Los pozos CROC y Tecnológico se mantuvieron constantes en sus concentraciones desde el 2006 situándose entre los 20 mg/L.

El pozo Obrera paso de tener la concentración más elevada en el año 2006 con 140 mg/L, a una de las más bajas de la gráfica con poco menos de 10 mg/L (VEB); para después incrementarse hasta 20 y 30 mg/L.

Los pozos Villahermosa y Reforma presentaron las concentraciones de dureza más elevadas los años 2006 y 2018; y su concentración más baja en el año 2019, posterior a este sus concentraciones se establecieron entre los 40 y 60 mg/L.

El pozo Salvador Partida presentó el nivel más bajo de sus concentraciones en el 2020; fuera de este año, sus concentraciones se encontraron alrededor de 80 mg/L.

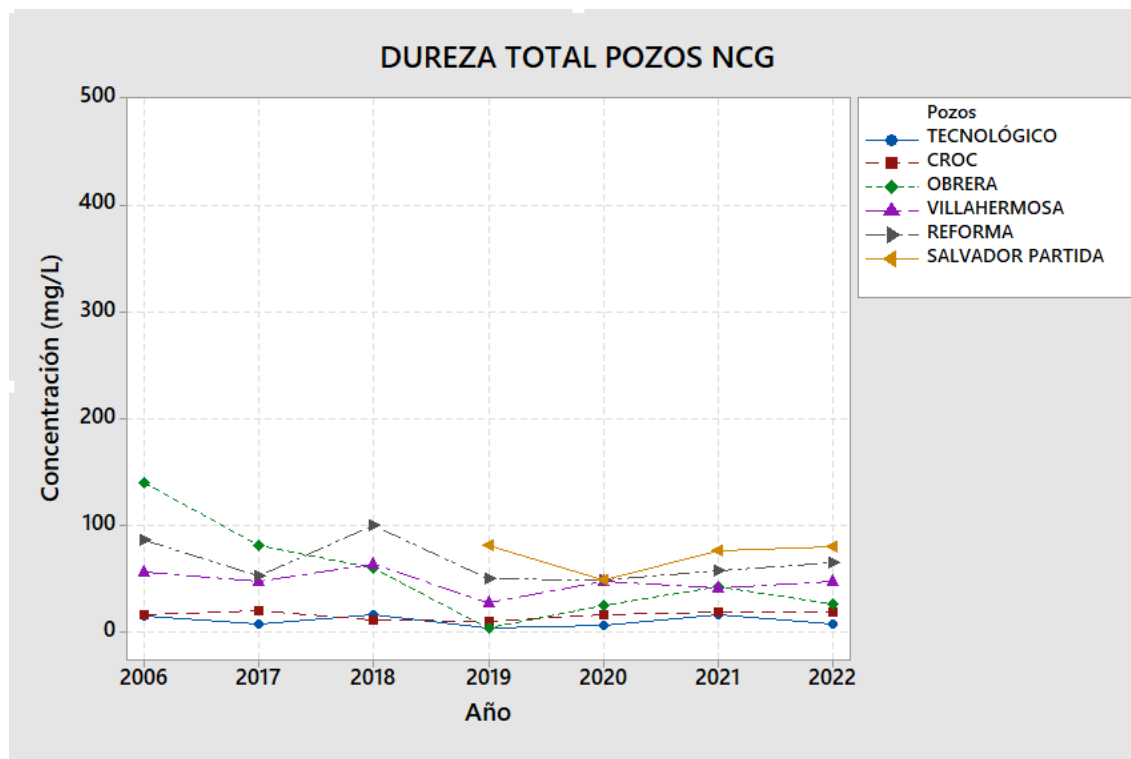


Fig. 26 Gráfico del grupo (2). Evaluación de las concentraciones de dureza total para los años 2006-2022.

5.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE FLUORUROS, ARSÉNICO, SDT, DUREZA TOTAL. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO

A continuación, se comparan los pares de mapas de distribución espacial de las concentraciones en mg/L de los distintos parámetros estudiados en el área urbana de NCG obtenidos para el año 2006 y el promedio entre los años 2021 y 2022. Dichos planos pueden observarse detalladamente en el Apéndice G.

Los planos muestran diversos rangos a los que se les atribuye una escala de color que cumple con las mismas bases: verde para las concentraciones más bajas y rojo para las más altas. Es importante hacer notar que los planos empleados con fines comparativos no cuentan entre sí con la misma asociación de colores e intervalos de concentración.

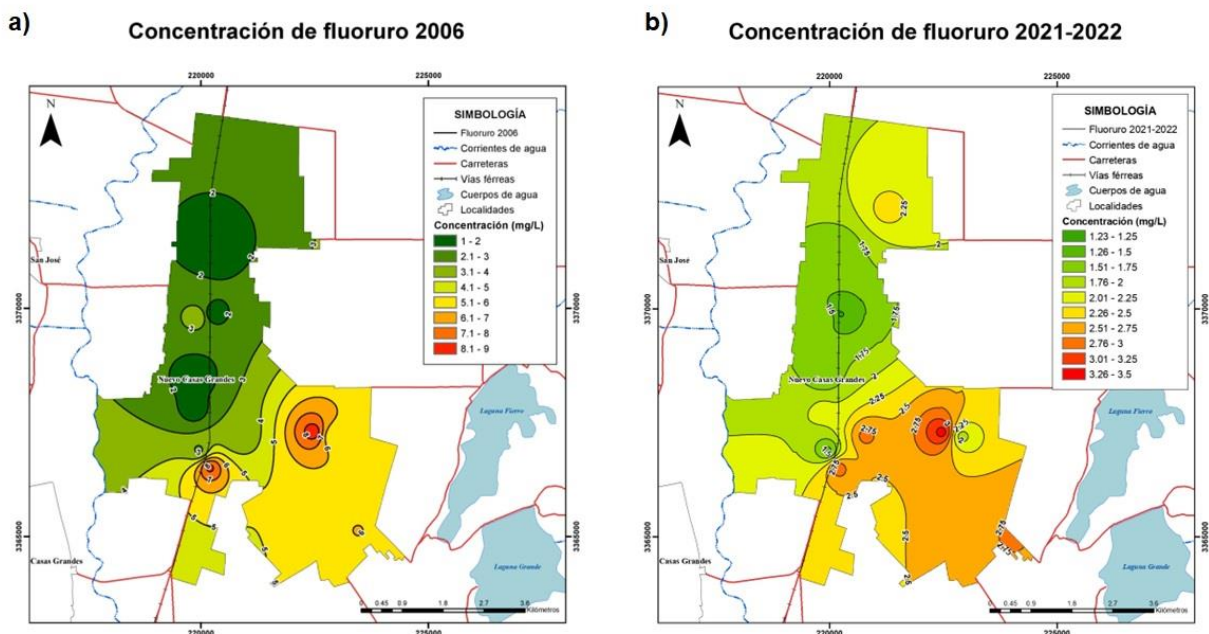


Fig. 27 Planos de concentración de fluoruro para los años a) 2006 y b) 2021-2022

En el plano correspondiente al parámetro fluoruro para el año 2006 (figura 27), la porción ubicada al sur-sureste tiene las isolíneas de concentración más elevadas, con áreas que van de los 4.1 hasta los 9 mg/L; estos pozos con mayores concentraciones fueron Quemado y Villahermosa. Por otra parte, en las porciones centro y norte de la ciudad tienen se encuentran las áreas de concentración más bajas siendo el pozo de Salvador Partida el del valor mínimo.

Para el plano del promedio 2021-2022, aunque las áreas de mayores concentraciones se encuentran diseminadas por una mayor porción tanto al noreste como al sur de la ciudad, el pozo de mayor concentración siguió siendo Villahermosa, aunque en este período la concentración de fluoruro disminuyó al intervalo de los 2.5 a los 3.5 mg/L. Por su parte, el pozo con menor concentración fue el Alamedas

Por ende, de la comparación entre ambos mapas (Fig. 27) se infiere la disminución del parámetro fluoruro para las zonas de mayor concentración, aunque ésta se incrementó ligeramente en la zona norte de la ciudad.

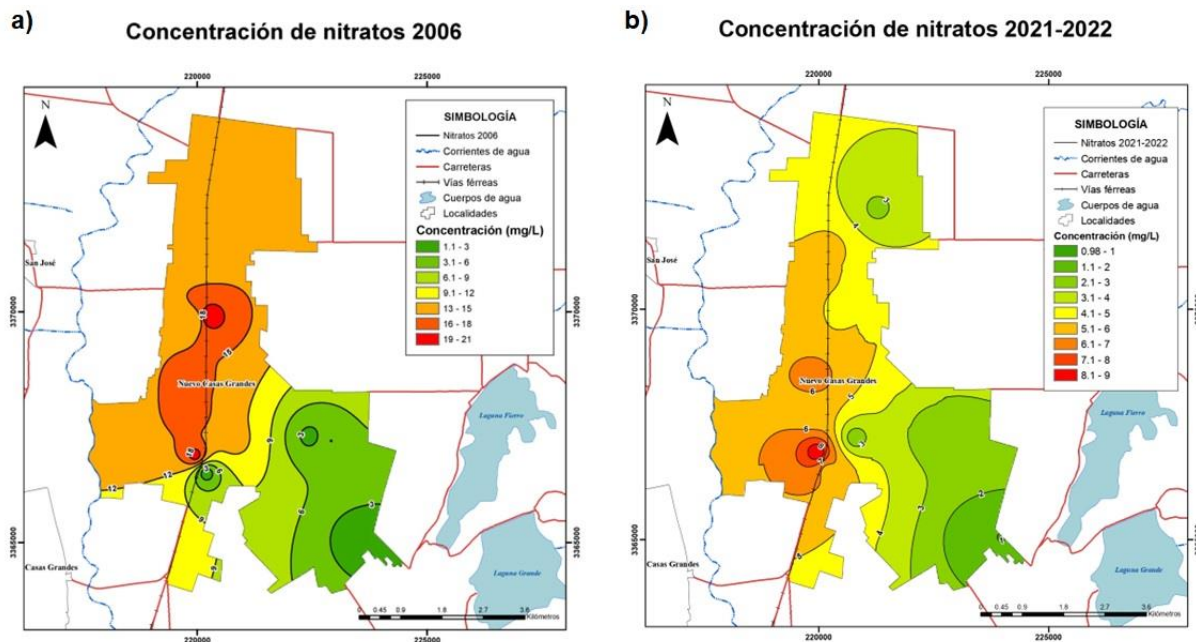


Fig. 28 Planos de concentración de nitrato (NO_3) para los años a) 2006 y b) 2021-2022

En el parámetro nitrato (Figura 28) para el año 2006 se observan las concentraciones más elevadas, principalmente en el área central y al oeste, sin que ninguna de ellas supere el valor de $48.7 \text{ mg NO}_3/\text{L}$ equivalente a 11 mg/l de N-NO_3 establecido en la NOM-127-SSA1-2021. Puntualmente resaltan dos puntos con las concentraciones mayores, que son el pozo Alamedas y Paquimé. Mientras que los de menores concentraciones fueron Villahermosa, Tecnológico, CROC y Quemado.

Para el plano del 2021-2022 gran porción de la ciudad cuenta con concentraciones entre 4 y los 6 mg/L , siendo el pozo Paquimé el de mayor concentración de nitratos ($8.7 \text{ mg NO}_3/\text{L}$).

Las concentraciones más bajas se encuentran al este de la ciudad, tanto al norte como al sur, específicamente siendo Tecnológico y CROC los de menores concentraciones al sureste.

Como una comparación general, los valores obtenidos en el año 2006 en los pozos se vieron reducidos para el promedio de 2021-2022, por ejemplo, en el 2006 las concentraciones

más altas se encontraron entre el rango de 19 a 21 mg NO₃/L, mientras que para el 2021-2022 el punto más alto se encontró entre 8.1 y 9 mg NO₃/L (Fig. 28).

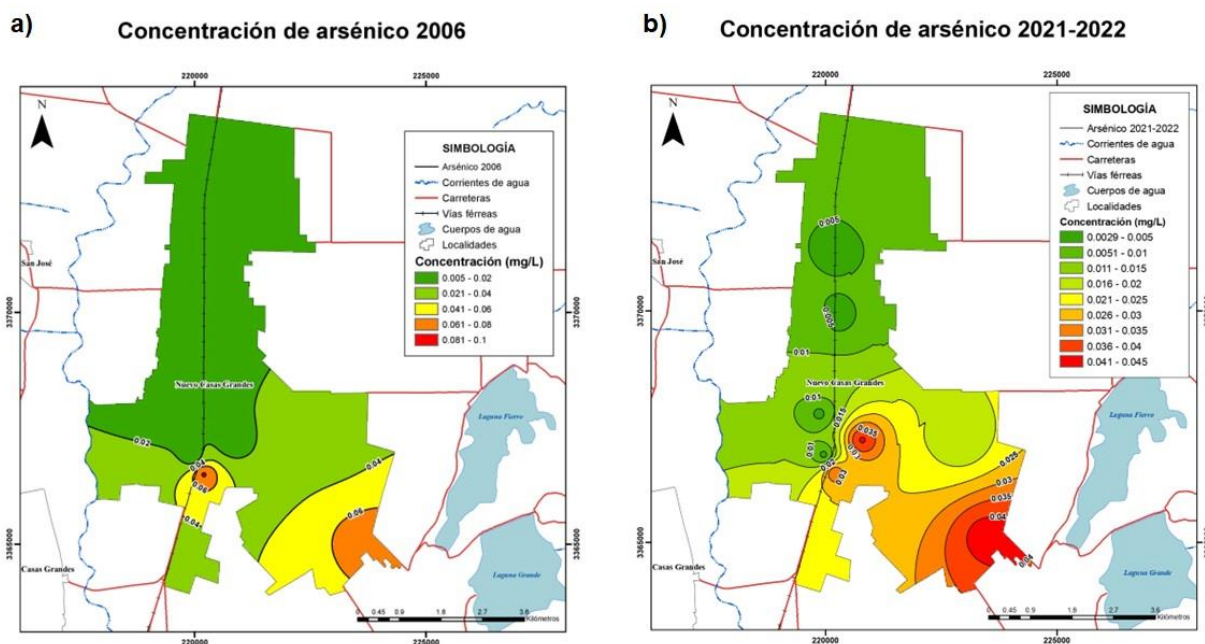
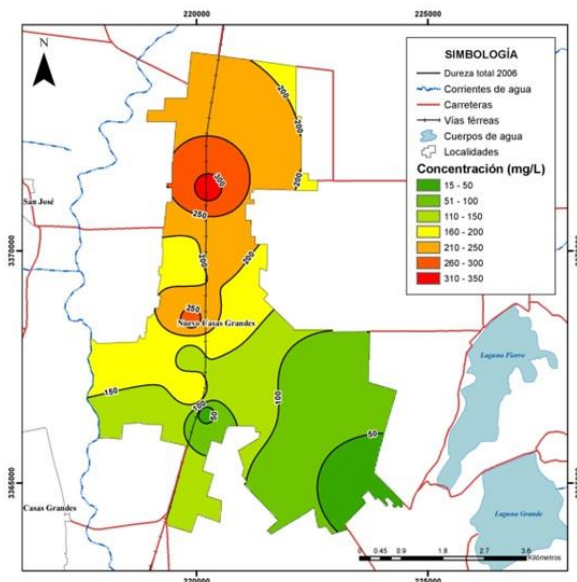


Fig. 29 Planos de concentración de arsénico para los años a) 2006 y b) 2021-2022

En el mapa del 2006 de arsénico (figura 29) se observa que la zona central y norte se encuentra por debajo de 0.03 mg/L, mientras que la zona sureste presenta áreas de concentración que van desde 0.04 a 0.09 mg/L, siendo Tecnológico, CROC y Quemado los pozos de mayores concentraciones. El mapa del período 2021-2022 tiene una distribución de áreas de concentración similar a las del 2006, con los valores máximos ubicados al sureste de la ciudad en los pozos Obrera, Tecnológico y CROC; sin embargo, estos valores máximos se redujeron de 0.081-0.09 a 0.041-0.045 mg/L (Fig. 29). Entre los pozos con concentraciones más bajas destacan Alamedas y Dublán.

a) Concentración de dureza total 2006



b) Concentración de dureza total 2021-2022

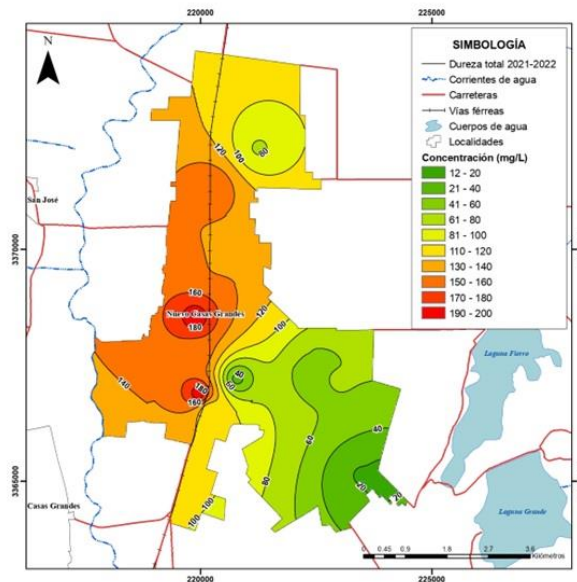


Fig. 30 Planos de concentración de dureza total para los años a) 2006 y b) 2021-2022

En el mapa de concentración de dureza total del año 2006 (figura 30), es en la zona centro y oeste de la ciudad donde se perciben las áreas de concentración mayor, desde 151 hasta 330 mg/L. Los pozos de concentraciones más altas fueron Plaza, Dublán y Alamedas.

En el plano de concentraciones del período 2021-2022 las áreas de mayores concentraciones se encuentran dispersas por las zonas oeste, centro y norte de la ciudad, con concentraciones menores a las reportadas en 2006, esto es, de 81 a 200 mg/L. Entre los pozos que destacan por sus mayores valores están Tinaco, Plaza, Bomberos y Dublán, mostrando las concentraciones más bajas en el área sureste.

En general el plano del 2021-2022 tiene concentraciones menores en comparación a las observadas en el año 2006 (Fig. 30).

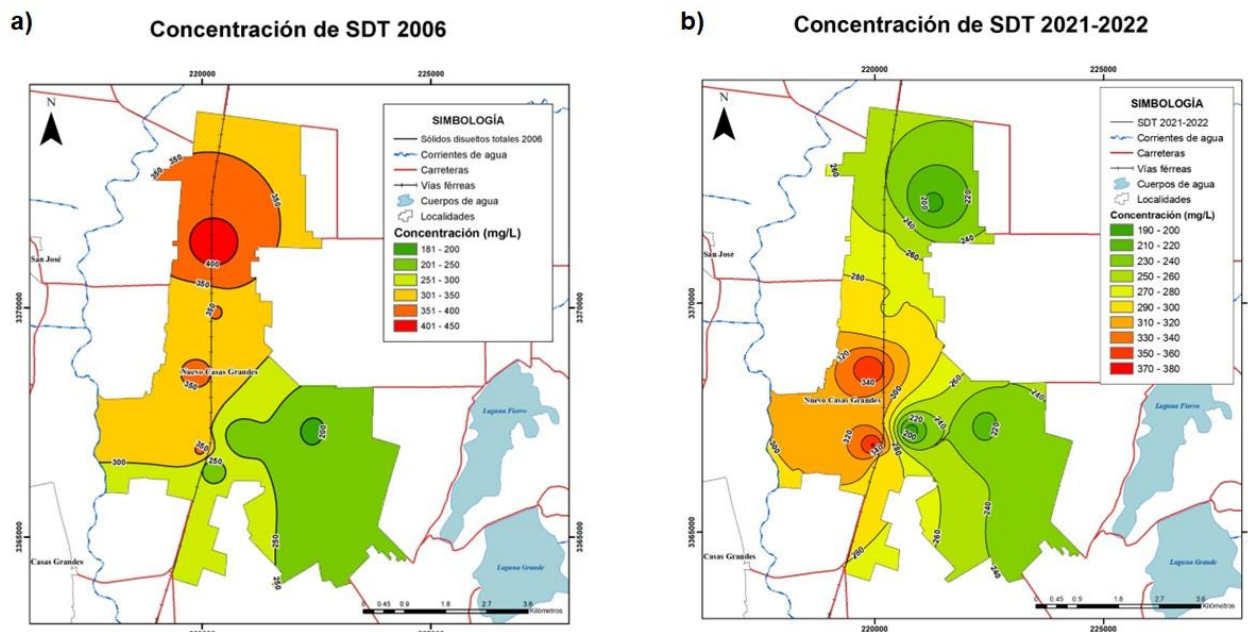


Fig. 31 Planos de concentración de SDT para los años a) 2006 y b) 2021-2022

En el plano de concentraciones de sólidos disueltos totales del año 2006 gran porción de la ciudad presentó concentraciones desde 200 hasta 440 mg/L; solo una pequeña zona ubicada en el sureste presentó concentraciones menores de 250 mg/L.

En el plano 2021-2022 las zonas noreste y sureste presentaron concentraciones entre 190 y 280 mg/L; mientras que en la zona centro oeste se presentaron las concentraciones más elevadas, entre 290 y 380 mg/L.

En términos generales se destaca que en el 2006 las concentraciones más altas de SDT correspondían a valores mayores y abarcaban áreas más extensas que en el 2021-2022 (Fig. 31).

5.3 CALIDAD DEL AGUA CON RESPECTO A LA NORMA PARA USO Y CONSUMO HUMANO

A través de los años las normativas con las cuales los organismos gubernamentales encargados del suministro regulan la calidad del agua destinada para consumo humano han atravesado por cambios significativos con la finalidad de establecer límites máximos



permisibles en los parámetros para preservar la salud de la población en un entorno actualizado.

La actual Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 vino a suplir a su antecesora la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994 del año 2000. La nueva norma cuenta con ajustes en los LMP de algunos parámetros, destacando entre estos la reducción de 1.5 a 1.0 mg/L en el caso de los fluoruros y, en el caso del arsénico, una disminución desde 0.025 mg/L hasta 0.01 mg/L, con una proyección a tres años posteriores a la entrada en vigor de la Norma. Las tablas del resto de las variables analizadas se encuentran en el Apéndice H. Concentración de los parámetros analizados, periodo 2006-2022.

En la Tabla 4 se denota con una coloración rosa las casillas de las concentraciones que sobrepasan el LMP de 1.5 mg/L para fluoruros establecido por la modificación en el 2000 de la NOM-127-SSA1-1994, abarcando los años comprendidos entre el año 2000 y 2021; mientras que en amarillo se resaltan los datos del 2022 que sobrepasan 1.0 mg/L estipulado en la nueva NOM del año 2021. Es importante destacar que la norma anteriormente mencionada fue publicada el cinco de mayo de 2022, donde se determina su entrada en vigor 360 días naturales a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación, resultando como fecha de implementación el 27 de abril de 2023, sin embargo, con el fin de poder llevar a cabo la comparación se utilizó el LMP más reciente para aplicar a los datos del año 2022.



Tabla 4 Comparación de la concentración de fluoruro con los LMP según NOM-127-SSA1 (versión previa y actual). Periodo 2006-2022.

FLUOR (mg/L)							
POZO	AÑO						
	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TINACO	1.42	0.96	1.67	1.84	1.78	2.06	2.05
PLAZA	1.13	2.07	1.22	0.96	1.20	1.78	1.31
BOMBEROS	3.75	3.36	2.35	1.94	1.18	2.17	1.06
ALAMEDAS	1.31		1.27	1.11	1.12	1.36	1.11
DUBLÁN	1.01	1.16	2.04	0.60	0.98	2.06	1.21
SALVADOR PARTIDA				1.85	5.05	3.16	1.48
VILLAHERMOSA	8.50	6.60	8.48	1.98	7.88	1.60	5.06
REFORMA	5.20	4.94	6.35	1.73	4.45	1.61	2.24
TECNOLÓGICO	5.15	4.91	3.81	3.81	4.19	2.01	3.58
CROC	6.05	5.85	6.66	1.97	5.34	1.71	3.72
OBRERA	3.00	1.58	7.74	2.67	6.60	1.47	4.18
QUEMADO	8.20	4.78	3.50	2.12	3.49	2.06	3.69
PAQUIMÉ	2.85	1.10	2.23	1.18	2.23	1.12	1.77

En la Tabla 5 se denota con una coloración rosa las casillas de las concentraciones que sobrepasan el LMP de arsénico de 0.025 mg/L establecido en la modificación del año 2000 de la NOM-127-SSA1-1994, prevaleciendo vigente en el área de interés incluyendo los datos más recientes del 2022, puesto que la norma publicada en el 2021 estipula una tabla de cumplimiento gradual conforme a la población de la ciudad en la que después de 3 años de entrar en vigor, el LMP se establecerá en 0.01 mg/L (Tabla 6).



Tabla 5 Comparación de la concentración de arsénico con LMP 0.025 mg/L según NOM-127-SSA1 (versión previa y actual). Periodo 2006-2022.

ARSENICO (mg/L)							
POZO	AÑO						
	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TINACO	0.005	0.014	0.004	0.043	0.004	0.006	0.003
PLAZA	0.005	0.007	0.003	0.002	0.003	0.024	0.004
BOMBEROS	0.015	0.007	0.006	0.005	0.005	0.007	0.004
ALAMEDAS	0.005		0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
DUBLÁN	0.005	0.002	0.003	0.001	0.002	0.004	0.002
SALVADOR PARTIDA				0.018	0.014	0.010	0.003
VILLAHERMOSA	0.038	0.019	0.025	0.027	0.026	0.023	0.016
REFORMA	0.028	0.014	0.018	0.015	0.015	0.018	0.012
TECNOLÓGICO	0.073	0.036	0.020	0.037	0.039	0.041	0.044
CROC	0.064	0.031	0.041	0.036	0.039	0.041	0.044
OBRERA	0.008	0.017	0.030	0.035	0.035	0.041	0.040
QUEMADO	0.081	0.004	0.020	0.017	0.014	0.018	0.048
PAQUIMÉ	0.008	0.003	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003



Tabla 6. Cumplimiento gradual para arsénico y cadmio

Localidad	Año	Límite permisible de arsénico	Límite permisible de cadmio	Unidades para arsénico y cadmio
Mayor de 500,000 habitantes	Un año posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	0.01	0.003	mg/L
Entre 50,000 y 499,999 habitantes	Tres años posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	0.01	0.003	mg/L
Menor de 50,000 habitantes	Seis años posterior a la entrada en vigor de la presente Norma	0.01	0.003	mg/L

A partir de la comparación de los pozos en los parámetros fluoruro y arsénico, específicamente para el año más reciente, se encontró que coincidieron los pozos Tecnológico, Quemado, CROC y Obrera al presentar altas concentraciones en ambos medibles (véanse Tablas 7 y 8); aunque también destacó el pozo Villahermosa que, siendo el pozo con el mayor contenido de fluoruro del área, no presentó un destacable contenido de arsénico.

En la Tabla 7 se señalan los posibles daños a la salud esperados por la exposición al fluoruro a través del consumo prolongado de agua, en función de la concentración de este elemento. Destacan especialmente los 5 pozos antes mencionados que implican posible riesgo de fluorosis dental y ósea (WHO, 2004). En el caso de los pozos Dublán, Plaza, Salvador Partida, Paquimé, Tinaco y Reforma, el posible daño es de fluorosis dental.

Aunque en los pozos Bomberos y Alamedas el LMP para fluoruro excede ligeramente a la norma actualizada para agua potable, varios autores coinciden en que el fluoruro en esas



concentraciones es benéfico para la salud dental, ya que evita la presencia de caries (Dhar & Bhatnagar, 2009).

Tabla 7 Orden creciente de concentración de fluoruro.

Pozo	Concentración mg F/L año 2022	Nivel de riesgo por exposición prolongada
Bomberos	1.055	I
Alamedas	1.105	I
Dublán	1.21	II
Plaza	1.31	II
Salvador Partida	1.48	II
Paquimé	1.77	II
Tinaco	2.05	II
Reforma	2.24	II
Tecnológico	3.575	III
Quemado	3.69	III
CROC	3.715	III
Obrera	4.175	III
Villahermosa	5.06	III

Descripción del nivel de riesgo:

I: Concentración: 0.7-1.2 mg F/L. Nivel adecuado para prevenir caries (Dhar & Bhatnagar, 2009).

II: Concentración >1.2 mg F/L. Fluorosis dental (DenBesten & Li, 2011).

III: Concentración > 3 mg F/L. Fluorosis dental y ósea (WHO, 2004).



Tabla 8 Orden creciente de concentración de arsénico.

Pozo	Concentración mg/L As año 2022	Clasificación de acuerdo a la NOM (2022)	
Alamedas	0.002	I	Dentro de NOM (2022)
Dublán	0.002	I	
Tinaco	0.003	I	
Salvador partida	0.003	I	
Paquimé	0.003	I	
Plaza	0.004	I	
Bomberos	0.004	I	
Reforma	0.012	II	Supera NOM (2022) ligeramente
Villahermosa	0.016	II	
Obrera	0.040	III	Fuera de NOM (2022)
Tecnológico	0.044	III	
CROC	0.044	III	
Quemado	0.048	III	

En relación al arsénico (Tabla 8), se aprecia que los pozos Alamedas, Dublán, Tinaco, Salvador Partida, Plaza y Bomberos presentan valores muy bajos, mientras que Reforma y Villahermosa apenas superan el LMP ligeramente.



CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

El análisis de la evolución de la calidad del agua subterránea en la ciudad de Nuevo Casas Grandes durante el período 2006-2022 permitió identificar la consistencia en algunos problemas de calidad del agua en varios pozos a través del tiempo, particularmente en los ubicados en la zona sur y este de la ciudad.

Fluoruro

Los pozos Villahermosa, Obrera, CROC, Quemado y Tecnológico presentaron las concentraciones más altas de fluoruro, superando persistentemente los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la normatividad mexicana para agua potable en diferentes fechas. Los valores observados corresponden a concentraciones cuya exposición prolongada a través del consumo se relaciona con daños en dientes y huesos en seres humanos (fluorosis dental y ósea). De ellos, el pozo Villahermosa fue el más crítico respecto a este parámetro, al haber registrado concentraciones superiores a 8 mg F/L en 2006 y 2018, valores muy por encima del LMP vigente. En orden descendente le siguieron los pozos Reforma, CROC y Obrera, con concentraciones por encima de 5 mg/L en varios años, aunque en general todos los pozos excedieron el nuevo LMP vigente en el año 2022. Algunos pozos, como Tecnológico y Bomberos, mostraron una leve tendencia a la baja, aunque se mantuvieron por encima del límite actual.

Arsénico

Los mayores niveles de arsénico se concentraron hacia la zona centro y sureste de la mancha urbana. La concentración más elevada se observó en el pozo Quemado en 2006 con 0.081 mg/L que, aunque disminuyó con los años, se mantuvo por encima del LMP actualizado (0.01 mg/L). También destacaron los pozos CROC, Obrera y Tecnológico, con concentraciones superiores a 0.04 mg/L para el año 2022.

Los pozos Alamedas, Paquimé, Bomberos y Dublán mostraron concentraciones de arsénico bajas y estables, siempre por debajo del límite normativo vigente.



La reducción en los LMP de fluoruro y arsénico en la norma de 2022 implica que concentraciones que antes se contemplaban como aceptables ahora pueden considerarse potencialmente riesgosas, subrayando la necesidad de modernizar los sistemas de tratamiento y monitoreo.

Nitratos, sólidos disueltos y dureza total

Las concentraciones de nitrato permanecieron dentro del rango normativo por debajo del LMP de 48.7 mg/L (como NO_3) equivalente a 11 mg/L como N- NO_3 . Se llegó a observar una tendencia general a la disminución hasta 2019, seguida de un ligero repunte en 2020-2022, aunque sin representar riesgo alguno en la calidad del agua para consumo humano en la ciudad. Lo anterior indica ausencia de contaminación significativa por fuentes antropogénicas (aguas residuales domésticas o industriales, fertilizantes, etc.) en los puntos analizados.

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y la Dureza Total se encontraron muy por debajo de los límites permisibles en todos los casos, aunque se identificó para el último parámetro una tendencia al alza a partir del año 2020.

En general, la persistencia de niveles elevados de fluoruro y arsénico en ciertos pozos indica que es urgente implementar estrategias de remediación o tratamiento del agua, así como reforzar el monitoreo técnico y administrativo por parte de la Junta de Agua local. Esto implica la necesidad de vigilar tales parámetros en el futuro cercano, para así poder garantizar la potabilidad de este recurso y evitar posibles sanciones, reforzando la necesidad de monitoreo diferenciado y control de la calidad del agua subterránea.

6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar sistemas de tratamiento para la remoción de flúor y arsénico, priorizando la atención en las zonas más vulnerables, que corresponden a los pozos con los valores más altos de dichos parámetros.



También es importante efectuar un monitoreo continuo para poder detectar cualquier aumento repentino o fuera de las concentraciones aceptadas para poder aplicar las correcciones necesarias de manera oportuna.

Otra de las sugerencias implica el desarrollo de una base de datos normalizada para estandarizar las condiciones de tomas de muestras y análisis, con la finalidad de que los resultados de calidad del agua de las fuentes de suministro de agua a la ciudadanía estén disponibles para su interpretación periódica.



Referencias

- Allgeier, S., EPA, Division, W. S., Umberg, K., & CSRA. (2016). *Exploratory analysis of time-series data to prepare for real-time online water quality monitoring*. 30.
- Bañuelos Díaz, J. A. (2022). La actualización de la norma sobre agua potable. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 17, 1–7. <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2022-17>
- CONAGUA. (2023). *ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO CASAS GRANDES (0806), ESTADO DE CHIHUAHUA CIUDAD*. 16.
- CONAGUA. (2024). *ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO CASAS GRANDES (0806), ESTADO DE CHIHUAHUA*.
- Data México, G. de M. (s/f). *Censo de población y vivienda 2020 Nuevo Casas Grandes*. Recuperado el 15 de febrero de 2025, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/nuevo-casas-grandes#population-and-housing>
- DenBesten, P., & Li, W. (2011). *Chronic Fluoride Toxicity. Monographs in Oral Science*. (pp. 81–96). <https://doi.org/10.1159/000327028>
- Dhar, V., & Bhatnagar, M. (2009). Physiology and toxicity of fluoride. *Indian Journal of Dental Research*, 20(3), 350. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.57379>
- Espino Valdés, M. S., Villalobos Gutiérrez, M. N., Gutiérrez, M., Silva Hidalgo, H., & Pinales Munguía, A. (2024). Temporal evolution of nitrate in Meoqui-Delicias aquifer in Chihuahua, Mexico. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 18(1). <https://doi.org/10.54167/tch.v18i1.1415>
- Espino-Barrios, M. F. (2023). *GEOQUÍMICA DEL FLUORURO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN DE CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO* [Universidad Autónoma de Chihuahua]. <http://repositorio.uach.mx/562/>
- Ferrari, L. ; Valencia-Moreno, M. ; & Bryan, S. (2005). Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LVII(5), 343–378. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94320266006>
- Gobierno de Navarra. (s/f). *Clasificación climática de Köppen* . Recuperado el 15 de febrero de 2025, de <https://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>
- Gutiérrez, M., Espino Valdés, M. S., Alarcón Herrera, M. T., Pinales Munguía, A., & Silva Hidalgo, H. (2021). Arsénico y flúor en agua subterránea de Chihuahua: su origen, enriquecimiento, y tratamientos posibles. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 15(2). <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.828>
- Haenggi, W. T. (2002). Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part II: Mesozoic and Cenozoic. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 55(1), 38–94. <https://doi.org/10.18268/bsgm2002v55n1a4>
- Hernández, M. (2006). *INVENTARIO FÍSICO DE LOS RECURSOS MINERALES DEL ÁREA NOMBRE DE DIOS, CHIHUAHUA*.
- Hernández Velázquez, M., Arzabala Molina, J., Ramírez Tello, E., Herrera Lino, J., Torres y Espinosa, J. A., & Jiménez Carillo, G. (2003). Carta Geológico-Minera Nuevo Casas Grandes H13-4, Escala 1:250,000, Estado de Chihuahua. *Consejo de Recursos Minerales*, 132.
- INEGI. (s/f). *¿Cuántos habitantes tiene... - Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado el 15 de febrero de 2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=Gonz%C3%A1lez>
- INEGI. (2003). *Síntesis de información geográfica del estado de Chihuahua*. 48–52.



- INEGI. (2008). *Carta climatológica escala 1:1 000 000*. . Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas.
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Nuevo Casas Grandes Chihuahua. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*, 10.
<http://mapserver.inegi.org.mx/mg>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*, México, 204.
- Orellana, J. A. (2005). *Características del agua potable*. 1–7.
- FAO. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. FAO.
- Précoma Mojarro, A. Y. (2007). *Caracterización Hidrogeoquímica y Presencia de Flúor en la Porción Noroeste del Estado de Chihuahua, México*. 173.
- Reyes Gómez, V. M., Gutiérrez, M., Nájera Haro, B., Núñez López, D., & Alarcón Herrera, M. T. (2017). Groundwater quality impacted by land use/land cover change in a semiarid region of Mexico. *Groundwater for Sustainable Development*, 5, 160–167.
<https://doi.org/10.1016/J.GSD.2017.06.003>
- Velázquez Aguirre, L., & Ordaz Ayala, A. (1992). *Provincias hidrogeológicas de México*. 55.
- WHO. (2004). *Fluoride in drinking water*. World Health Organization.



APÉNDICES



Apéndice A. Tablas resumen por pozo

Pozo Tinaco							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	1.42	0.96	1.67	1.84	1.78	2.06	2.05
Nitratos	16.91	4.50	2.45	1.95	3.25	2.95	7.35
Arsénico	0.005	0.014	0.004	0.043	0.004	0.006	0.003
Dureza Total	136.73	151.71	256.04	123.86	110.35	144.41	167.17
Sólidos Disueltos Totales	324.00	319.00	285.00	364.00	300.00	330.00	309.50
Pozo Plaza							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	1.13	2.07	1.22	0.96	1.20	1.78	1.31
Nitratos	16.02	4.52	2.67	1.85	3.70	4.85	8.45
Arsénico	0.005	0.007	0.003	0.002	0.003	0.024	0.004
Dureza Total	269.37	145.50	303.35	152.16	101.30	191.72	192.57
Sólidos Disueltos Totales	367.00	326.00	344.50	354.00	217.50	389.50	328.50



Pozo Bomberos							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	3.75	3.36	2.35	1.94	1.18	2.17	1.06
Nitratos	12.02	4.30	3.34	1.81	3.45	3.95	7.90
Arsénico	0.015	0.007	0.006	0.005	0.005	0.007	0.004
Dureza Total	156.12	125.91	210.78	118.90	98.80	155.19	142.66
Sólidos Disueltos Totales	310.00	294.00	178.50	279.00	160.00	295.00	294.00
Pozo Alamedas							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	1.31		1.27	1.11	1.12	1.36	1.11
Nitratos	20.92		2.13	1.71	2.35	3.55	5.30
Arsénico	0.005		0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
Dureza Total	237.97		211.58	111.21	93.20	132.34	128.02
Sólidos Disueltos Totales	357.00		248.50	259.00	150.00	258.00	292.00



Pozo Dublán							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	1.01	1.16	2.04	0.60	0.98	2.06	1.21
Nitratos	12.46	3.30	0.55	2.17	3.30	5.85	4.50
Arsénico	0.005	0.002	0.003	0.001	0.002	0.004	0.002
Dureza Total	313.60	172.08	219.91	146.79	106.45	135.06	172.16
Sólidos Disueltos Totales	428.00	337.00	262.00	324.00	218.00	238.50	282.50

Pozo Salvador Partida							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro				1.85	5.05	3.16	1.48
Nitratos				0.85	1.30	2.14	3.60
Arsénico				0.018	0.014	0.010	0.003
Dureza Total				81.16	49.30	76.28	80.26
Sólidos Disueltos Totales				194.00	152.00	204.00	189.00



Pozo Villahermosa							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	8.50	6.60	8.48	1.98	7.88	1.60	5.06
Nitratos	2.00	1.60	0.70	0.23	1.25	2.05	2.70
Arsénico	0.038	0.019	0.025	0.027	0.026	0.023	0.016
Dureza Total	56.92	47.53	64.64	28.50	48.15	41.66	47.75
Sólidos Disueltos Totales	181.00	184.00	217.00	228.00	136.00	198.00	219.50
Pozo Reforma							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	5.20	4.94	6.35	1.73	4.45	1.61	2.24
Nitratos	6.01	2.25	1.41	0.93	1.85	2.35	3.00
Arsénico	0.028	0.014	0.018	0.015	0.015	0.018	0.012
Dureza Total	87.01	53.54	100.66	50.74	49.30	58.37	65.23
Sólidos Disueltos Totales	234.00	221.00	241.00	246.00	137.50	218.50	260.00



Pozo Tecnológico							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	5.15	4.91	3.81	3.81	4.19	2.01	3.58
Nitratos	1.11	0.00	0.50	0.31	0.85	1.00	0.95
Arsénico	0.073	0.036	0.020	0.037	0.039	0.041	0.044
Dureza Total	15.27	8.34	16.98	4.30	6.35	16.81	7.61
Sólidos Disueltos Totales	211.00	235.00	230.00	284.00	114.00	220.00	234.50
Pozo Croc							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	6.05	5.85	6.66	1.97	5.34	1.71	3.72
Nitratos	1.78	0.54	1.80	0.70	1.25	1.05	1.60
Arsénico	0.064	0.031	0.041	0.036	0.039	0.041	0.044
Dureza Total	17.43	20.56	12.54	11.07	16.90	18.82	19.33
Sólidos Disueltos Totales	213.00	230.00	233.50	239.00	130.50	219.50	230.00

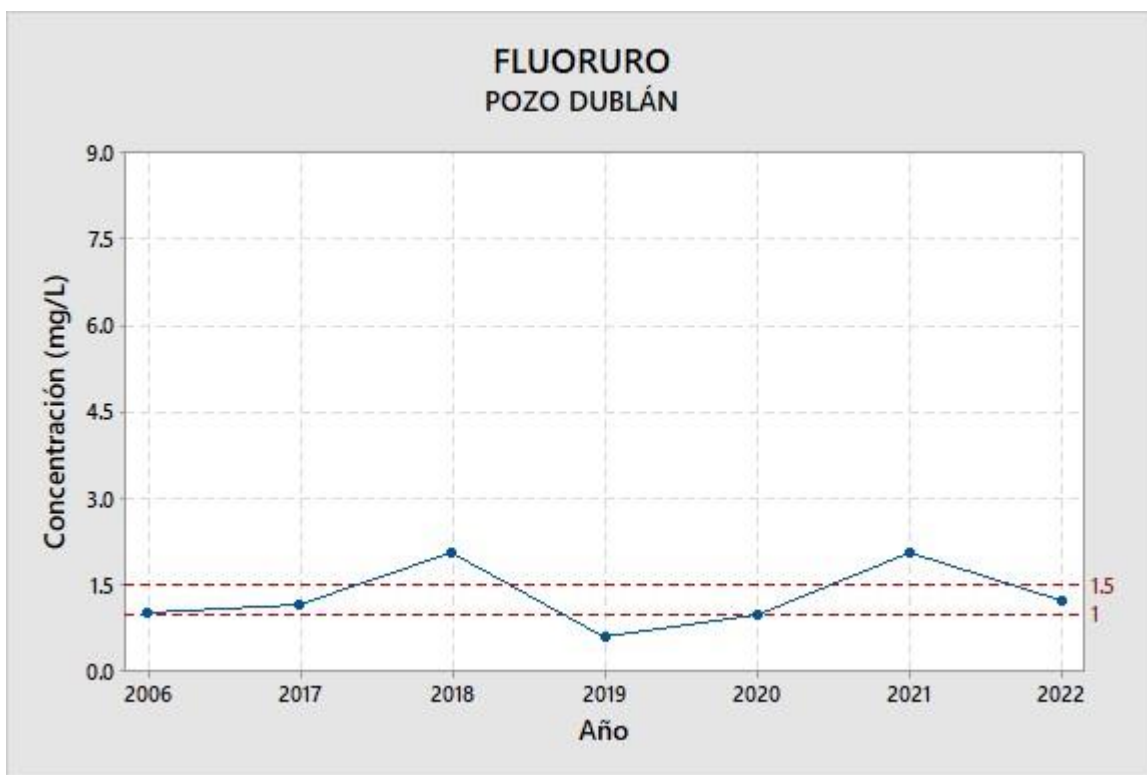
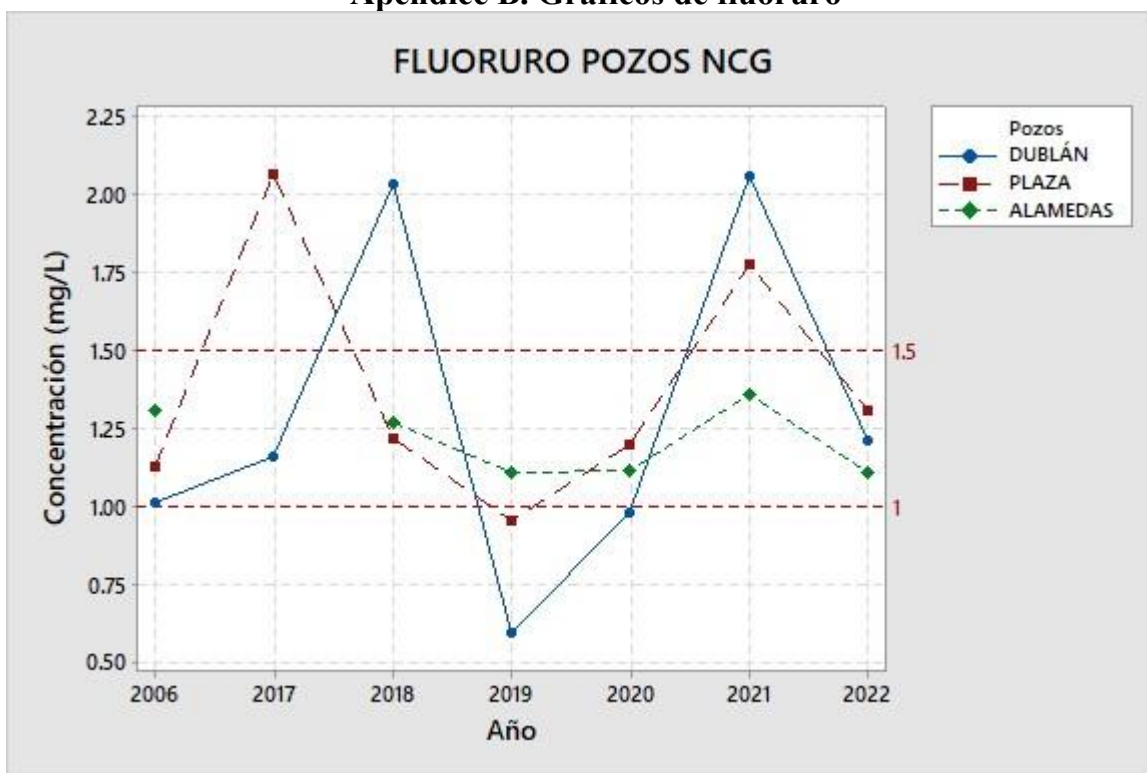


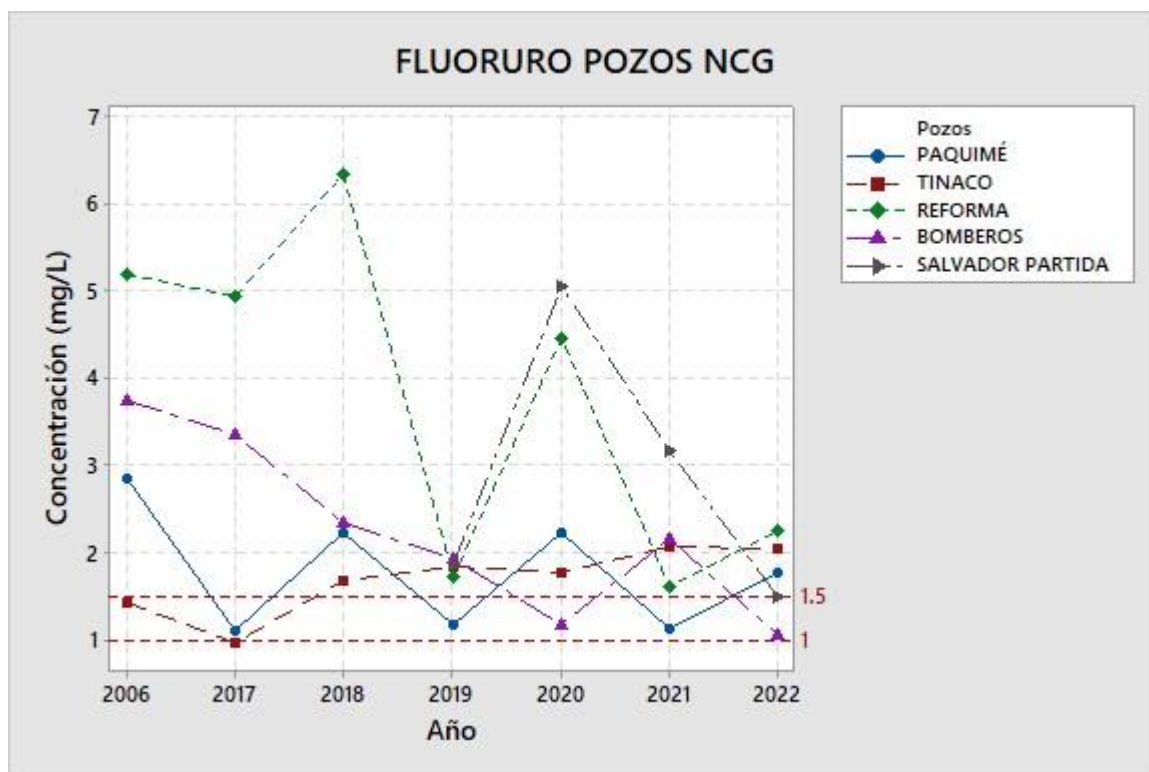
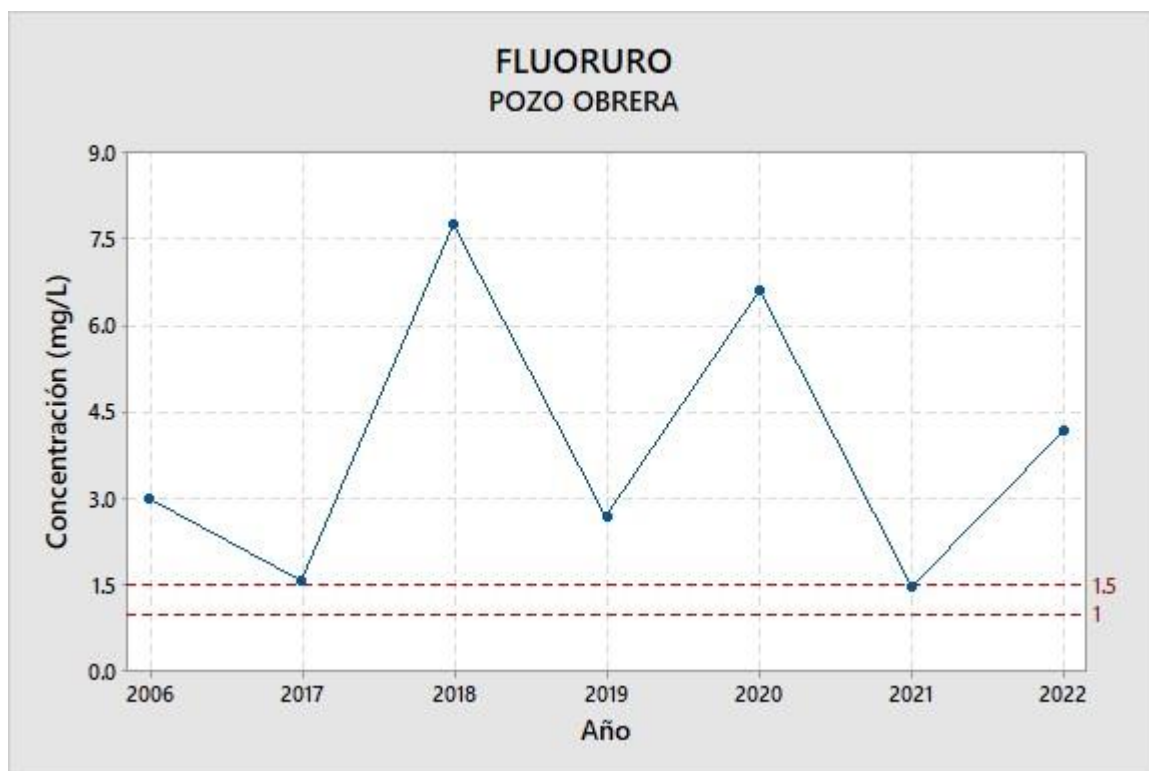
Pozo Obrera							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	3.00	1.58	7.74	2.67	6.60	1.47	4.18
Nitratos	12.91	2.63	0.80	0.15	0.20	3.45	1.50
Arsénico	0.008	0.017	0.030	0.035	0.035	0.041	0.040
Dureza Total	139.89	82.26	59.96	4.50	25.00	42.47	26.33
Sólidos Disueltos Totales	221.00	220.00	223.50	209.00	39.00	184.00	199.00
Pozo Quemado							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	8.20	4.78	3.50	2.12	3.49	2.06	3.69
Nitratos	1.56	5.60	0.90	2.58	3.70	4.70	6.85
Arsénico	0.081	0.004	0.020	0.017	0.014	0.018	0.048
Dureza Total	25.20	128.04	126.99	128.51	96.45	103.36	98.62
Sólidos Disueltos Totales	227.00	316.00	162.00	331.00	168.00	289.50	272.50

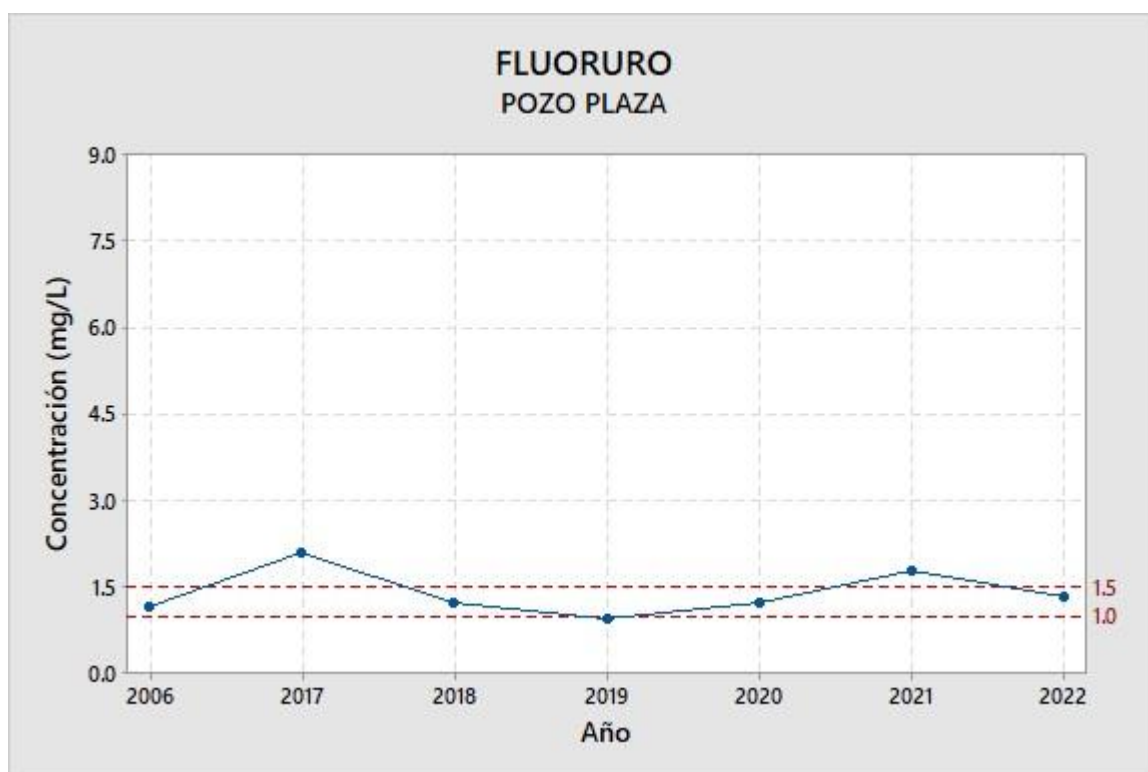
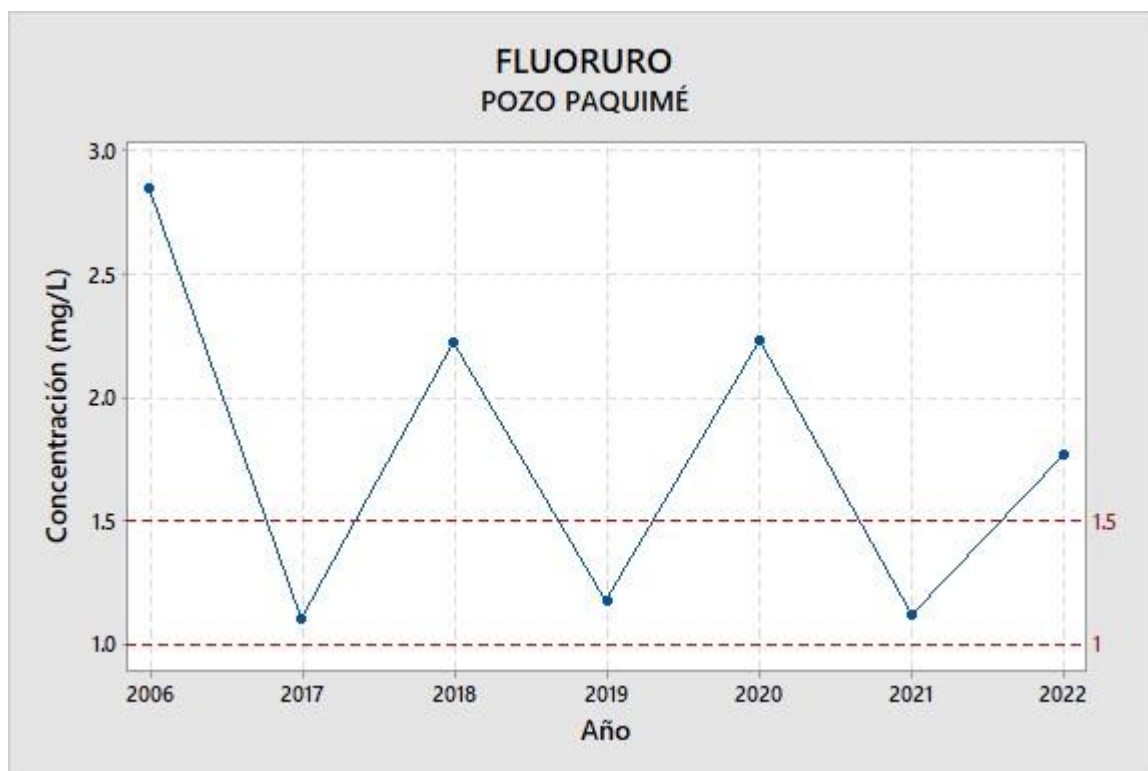


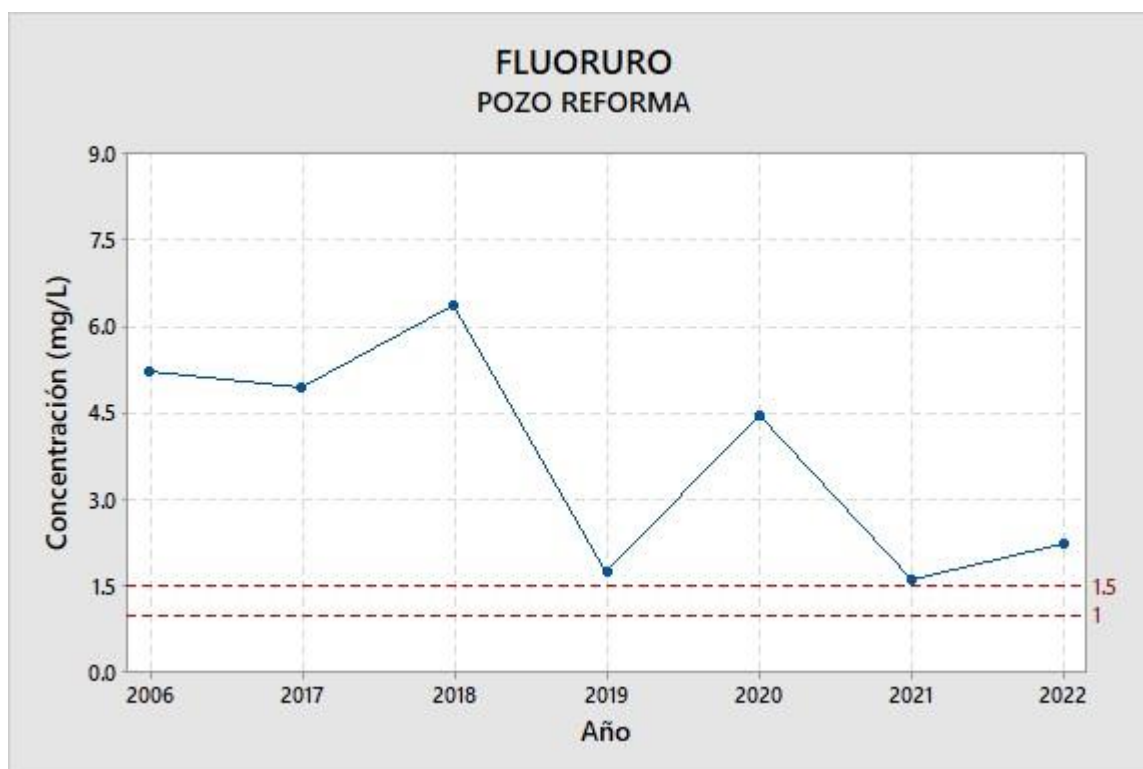
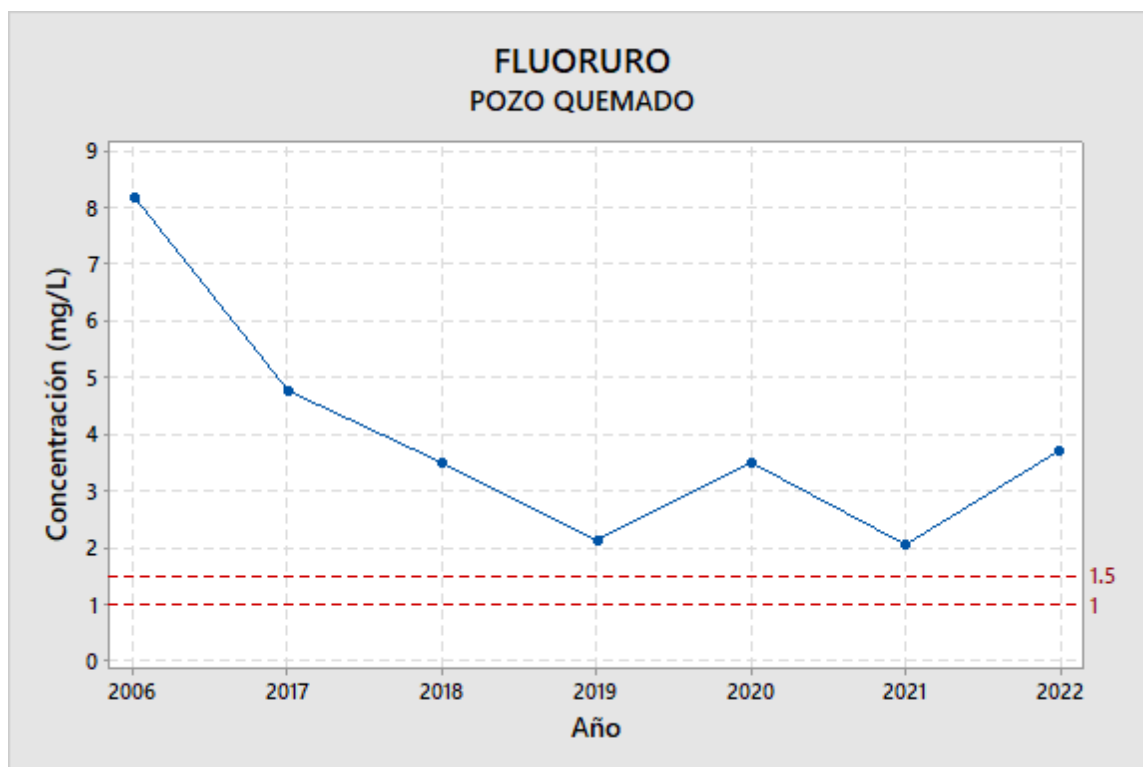
Pozo Paquimé							
	Año						
Parámetro	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fluoruro	2.85	1.10	2.23	1.18	2.23	1.12	1.77
Nitratos	19.14	6.54	2.40	2.44	5.30	6.15	11.25
Arsénico	0.008	0.003	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003
Dureza Total	191.73	153.26	286.48	140.09	106.00	190.71	190.02
Sólidos Disueltos Totales	358.00	335.00	324.00	402.00	131.00	352.50	369.50

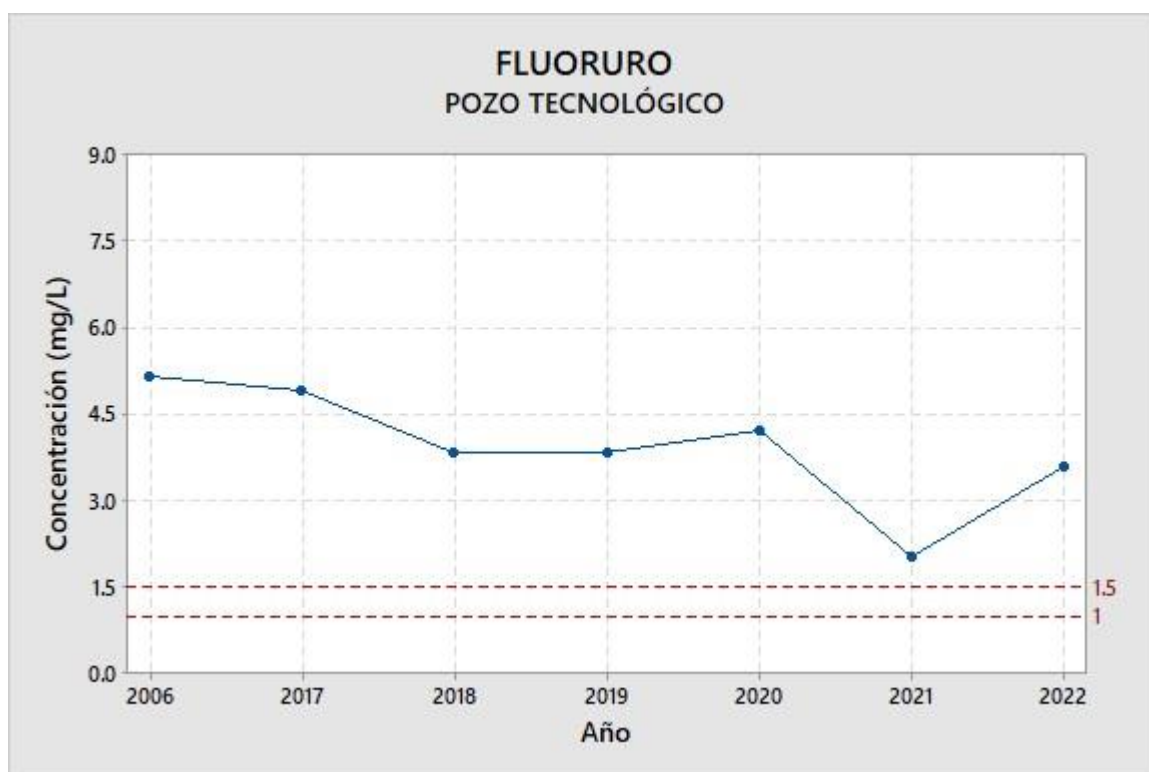
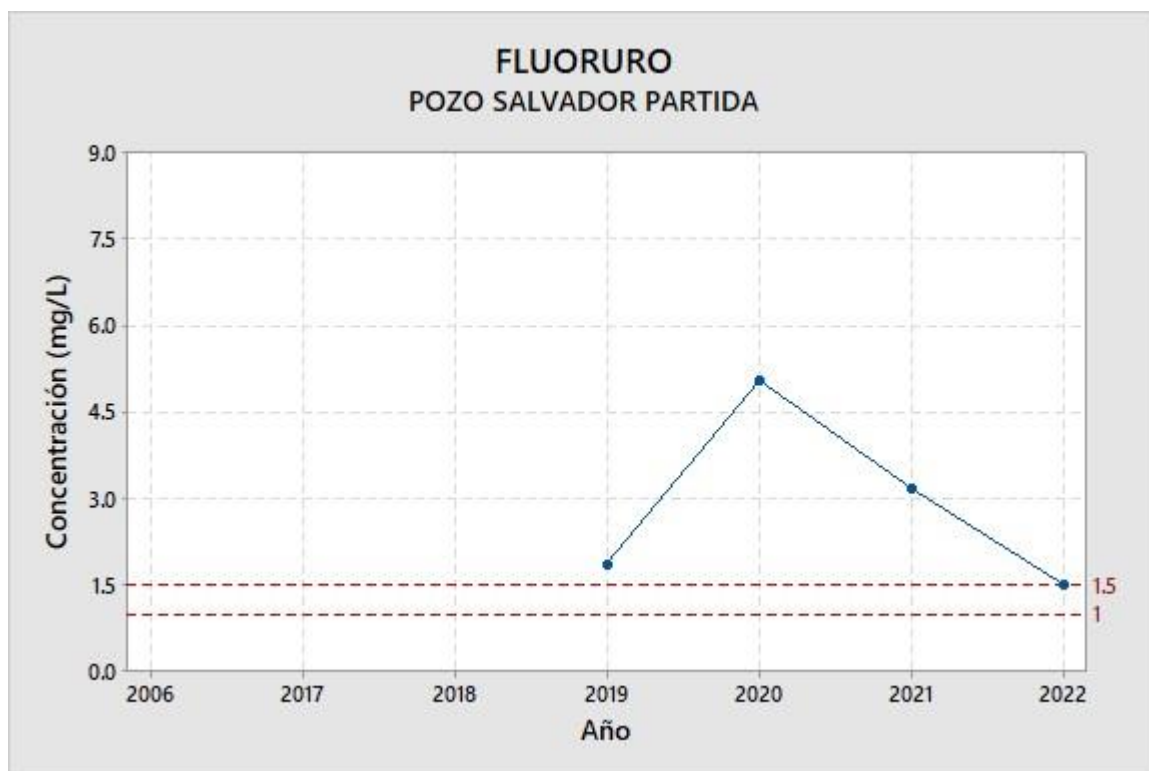
Apéndice B. Gráficos de fluoruro

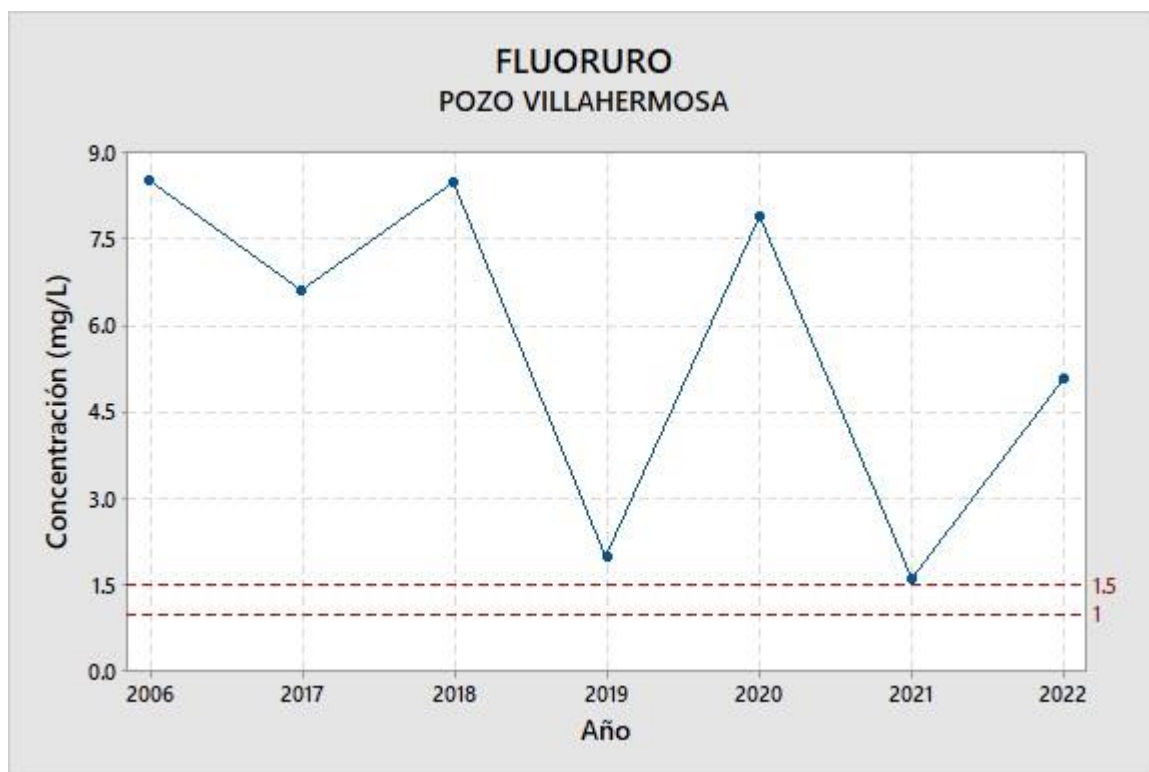
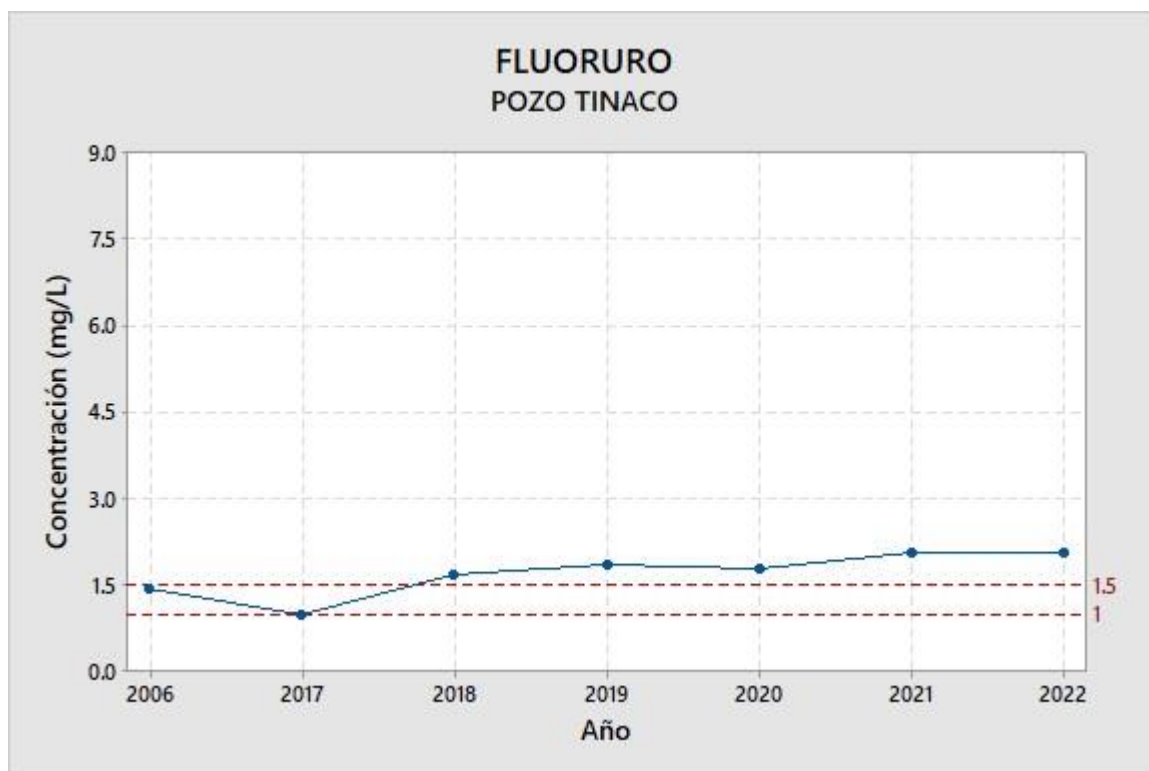


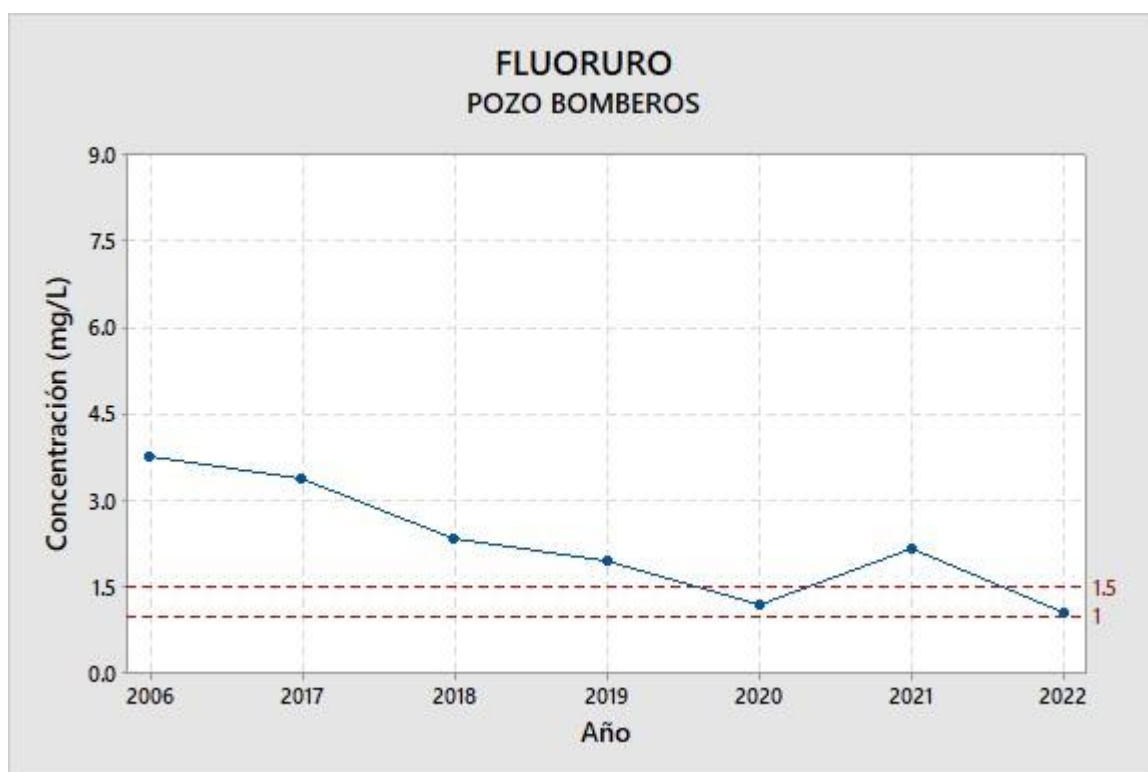
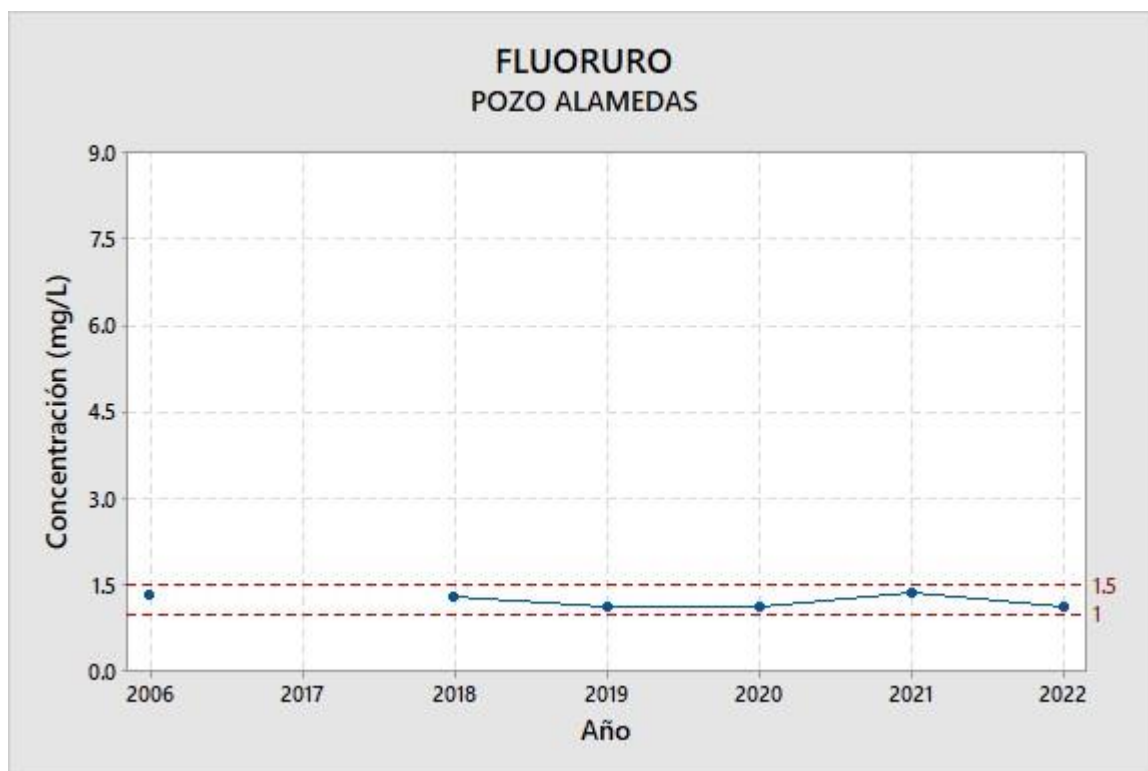


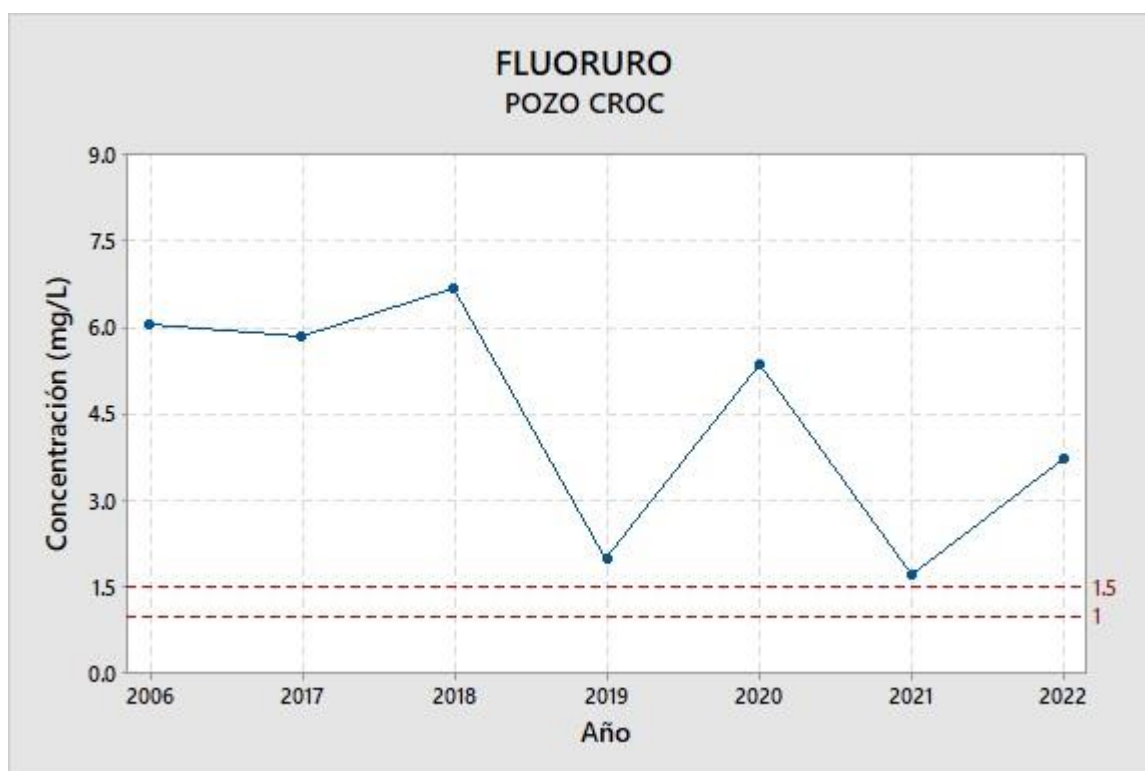
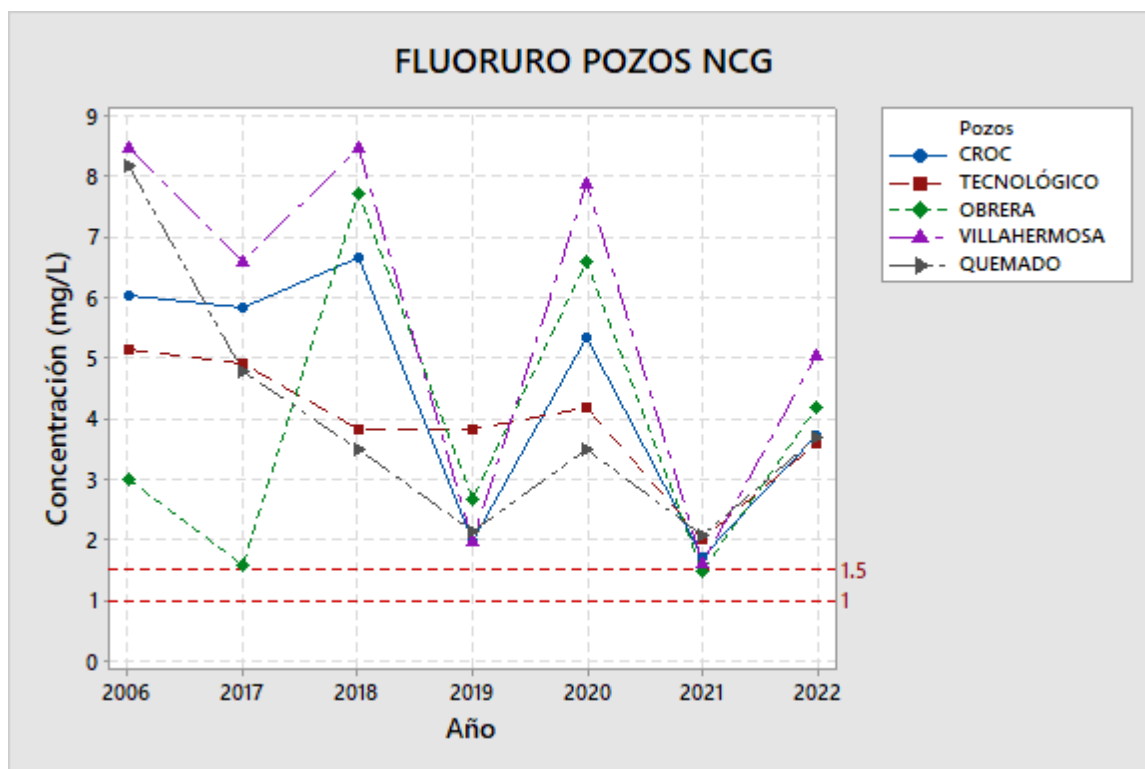




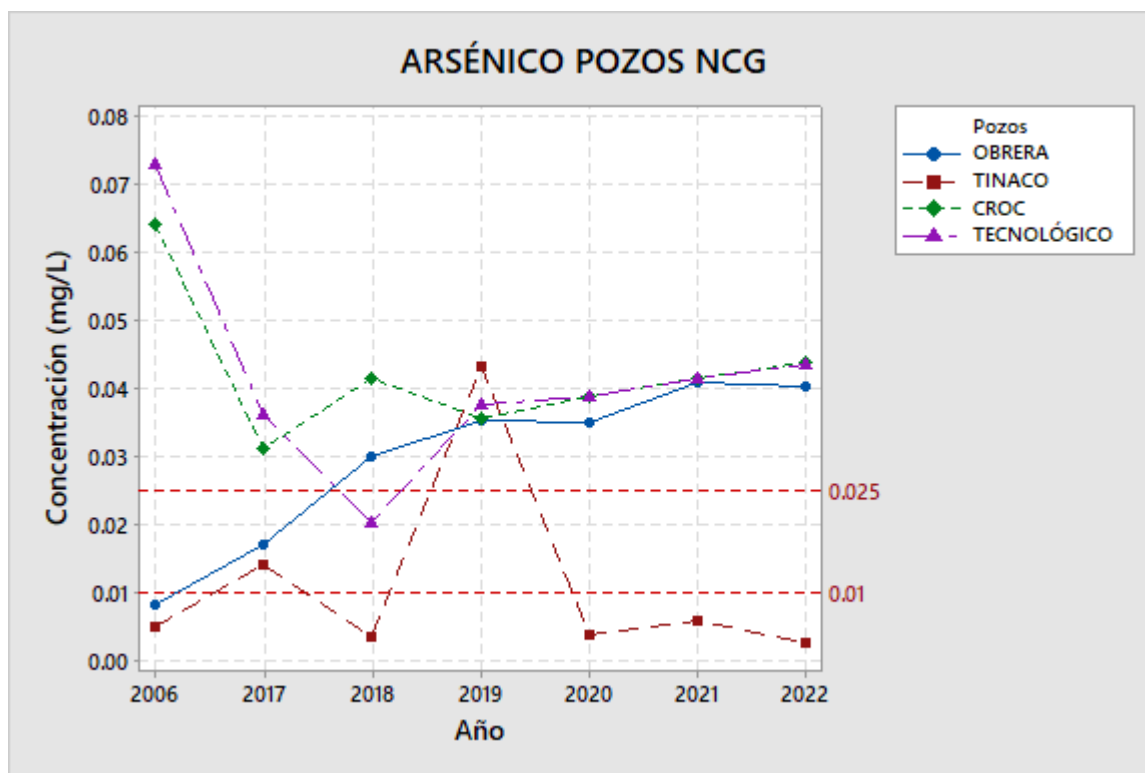
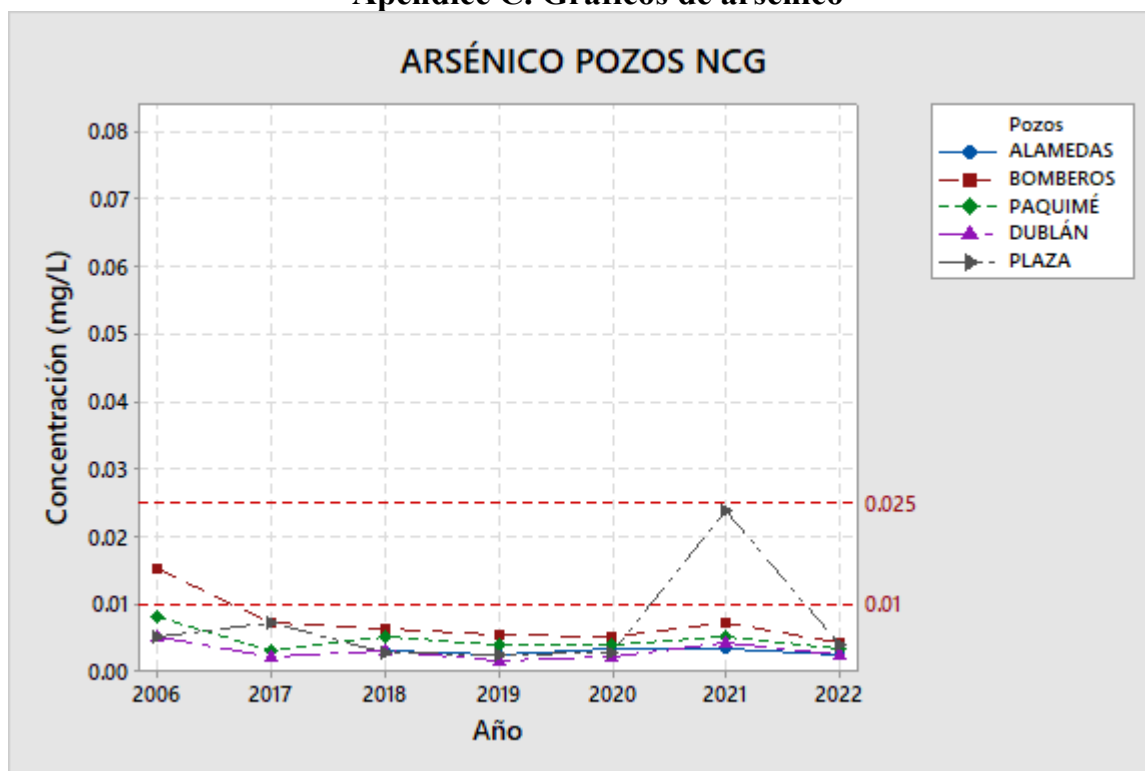


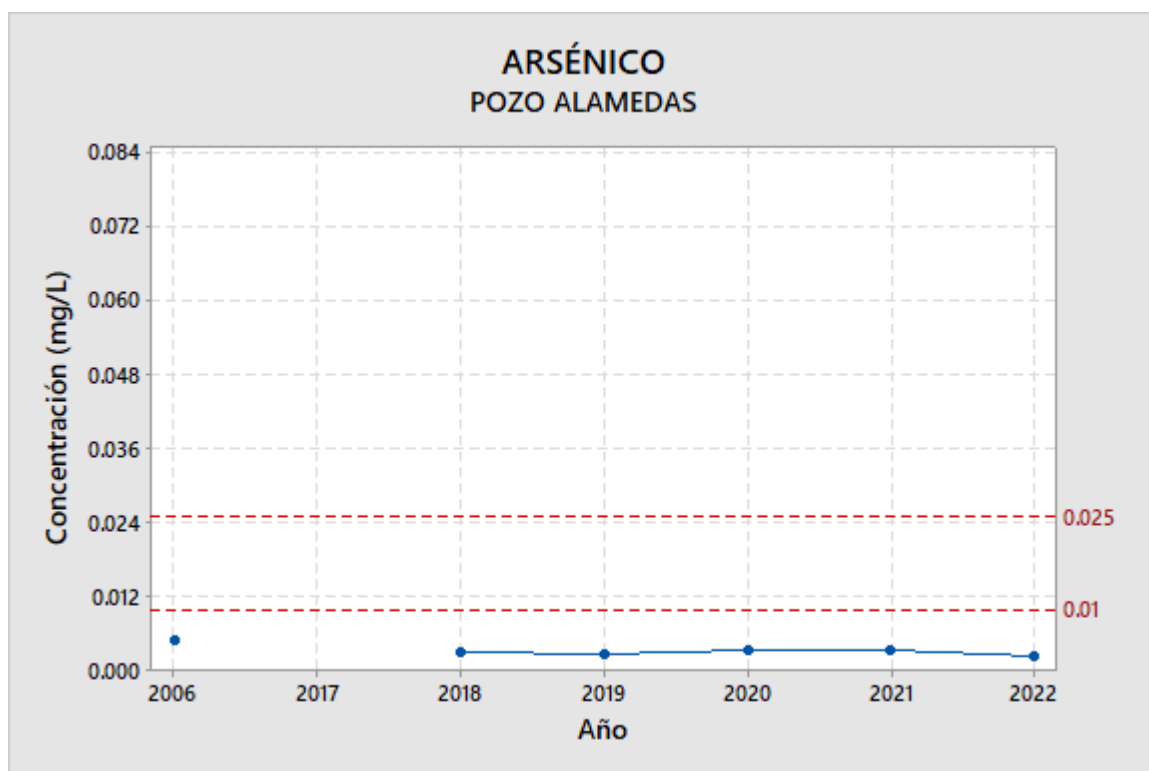
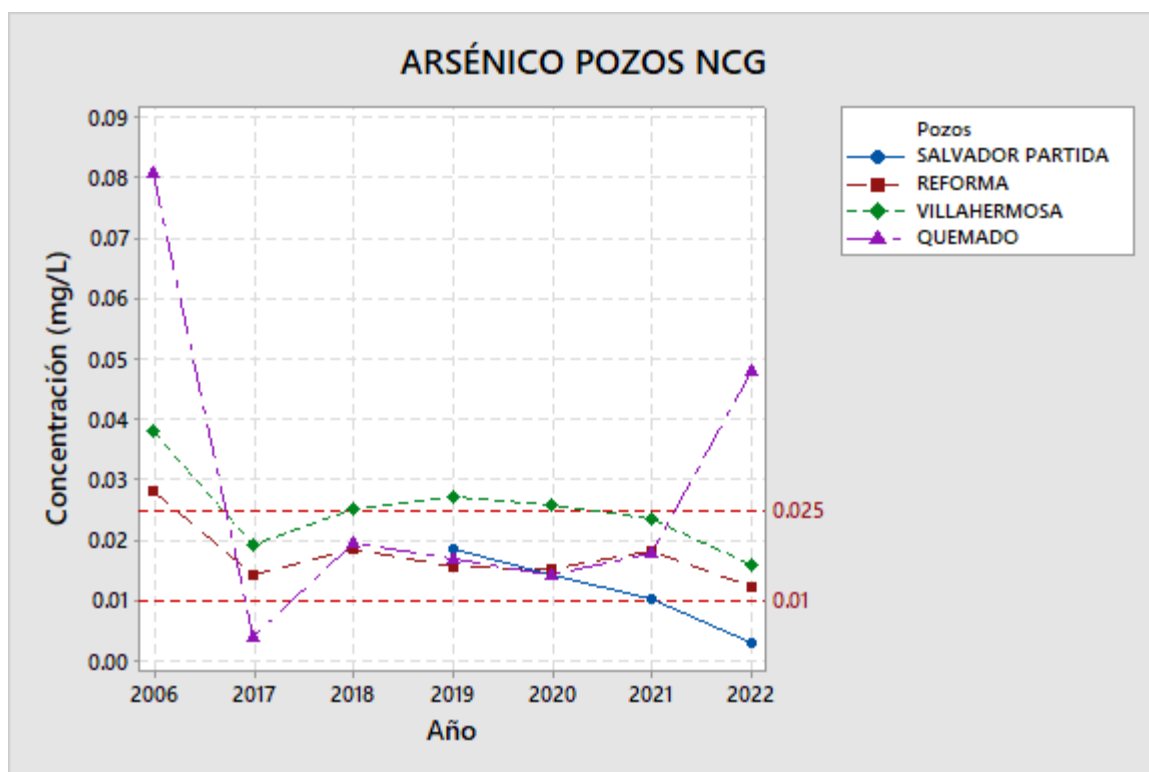


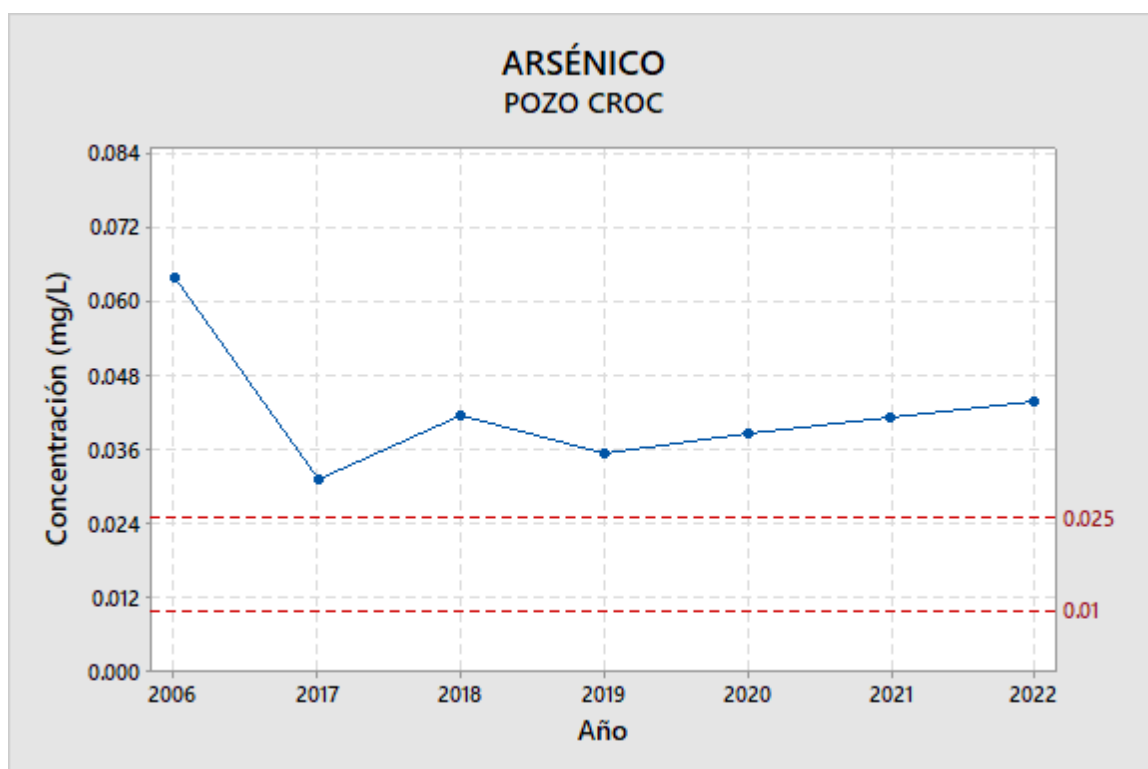
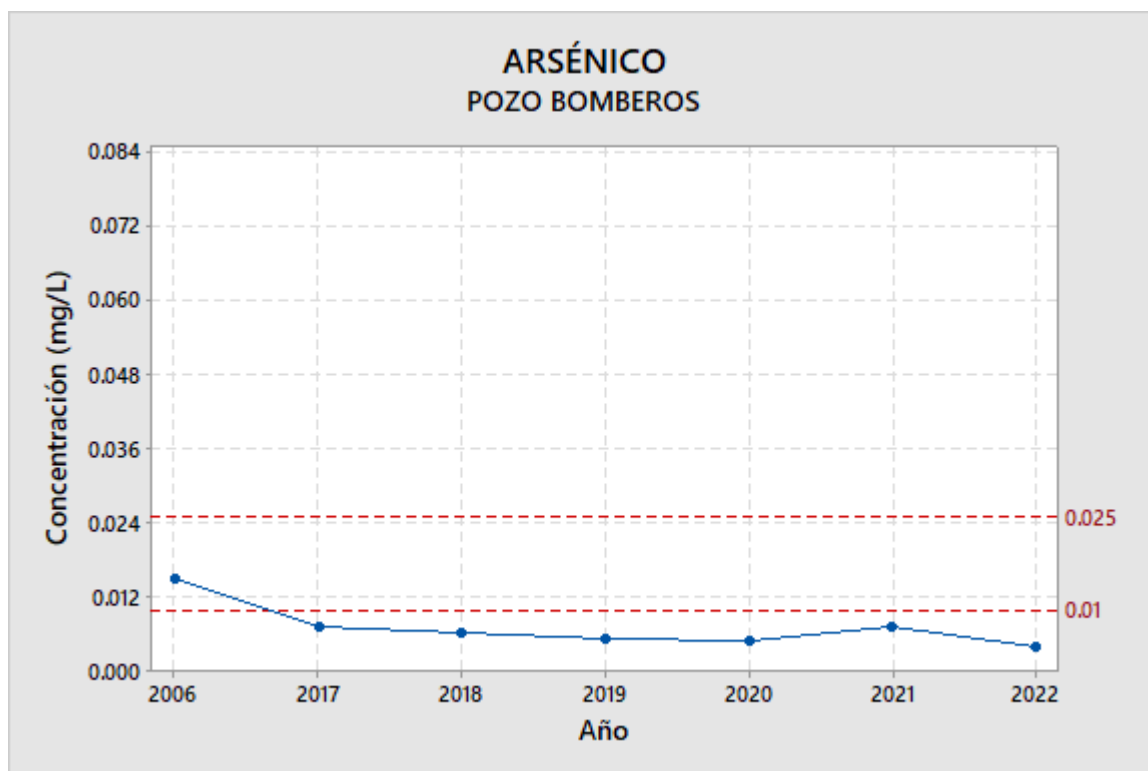


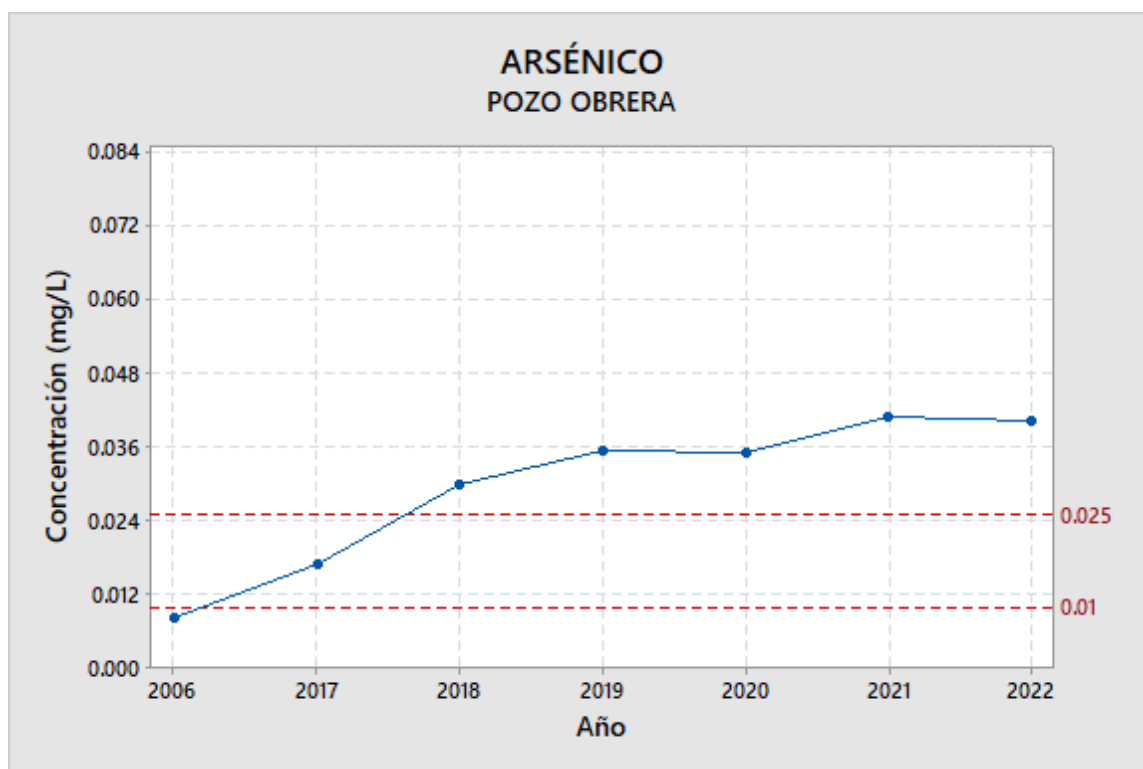
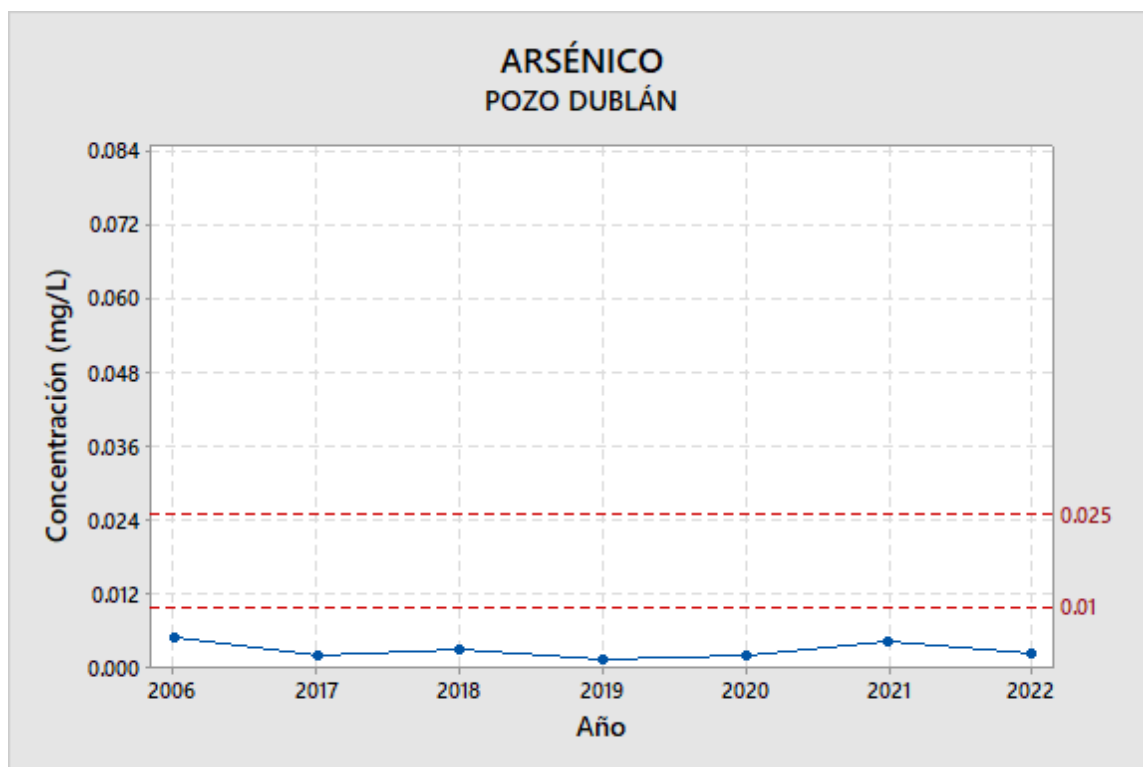


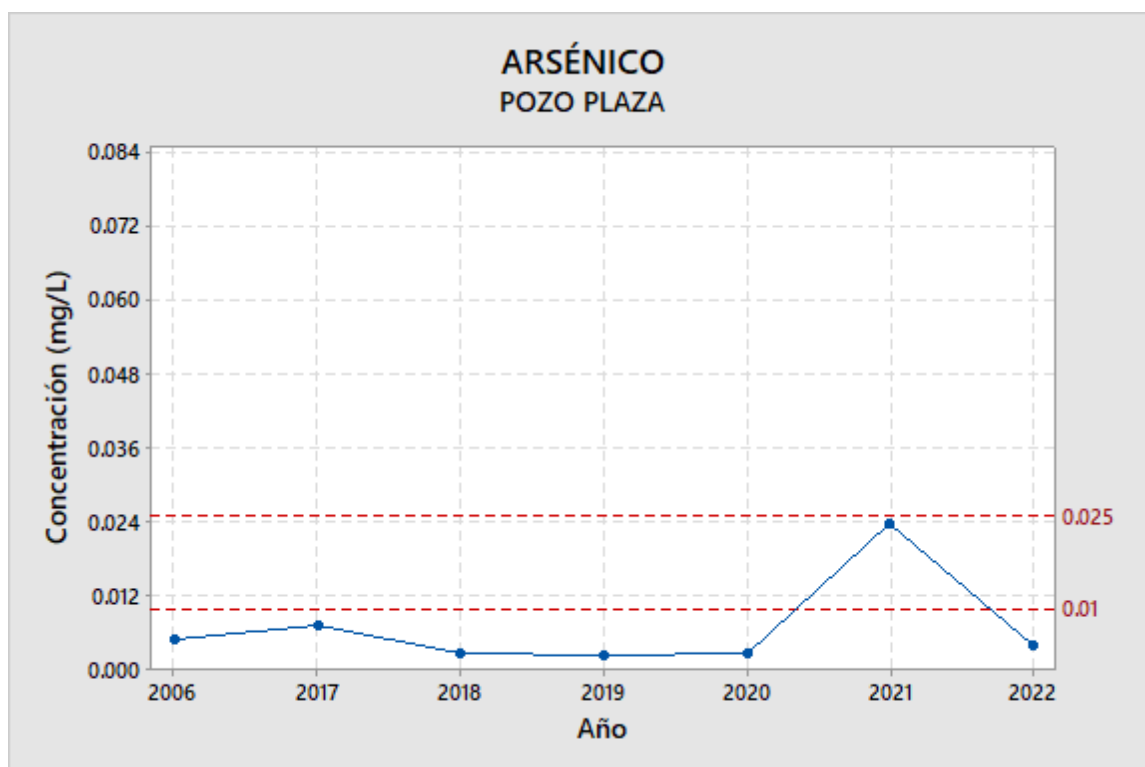
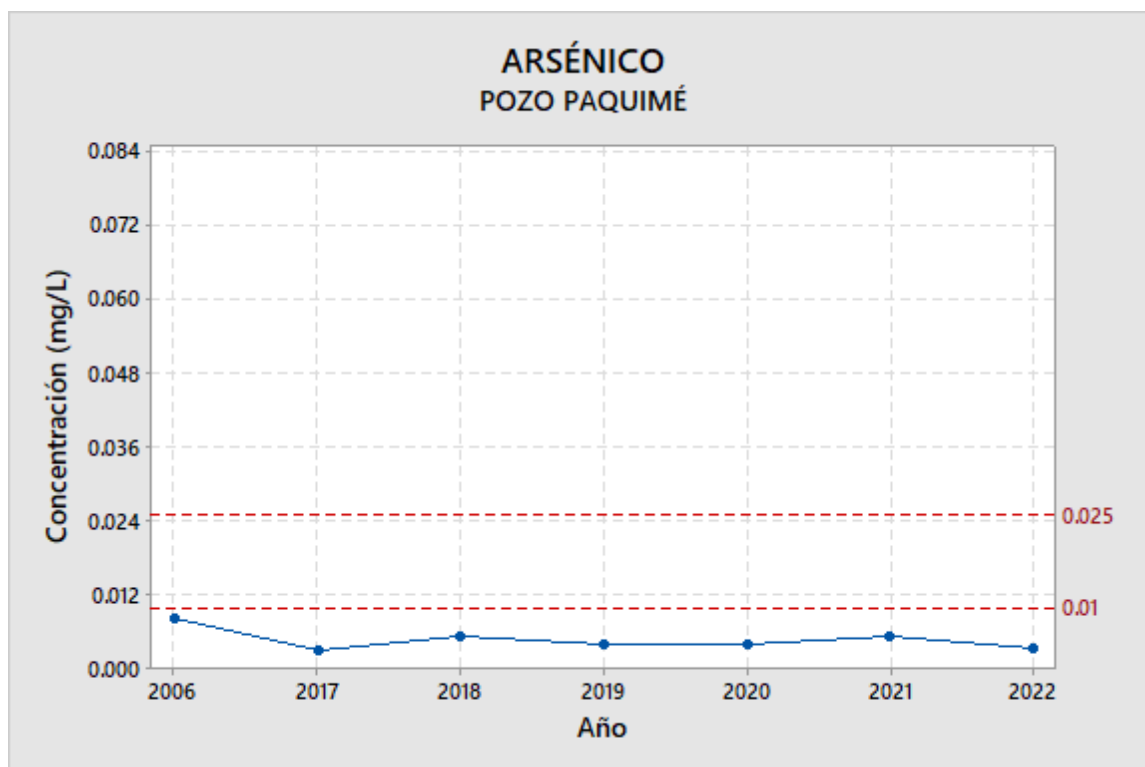
Apéndice C. Gráficos de arsénico

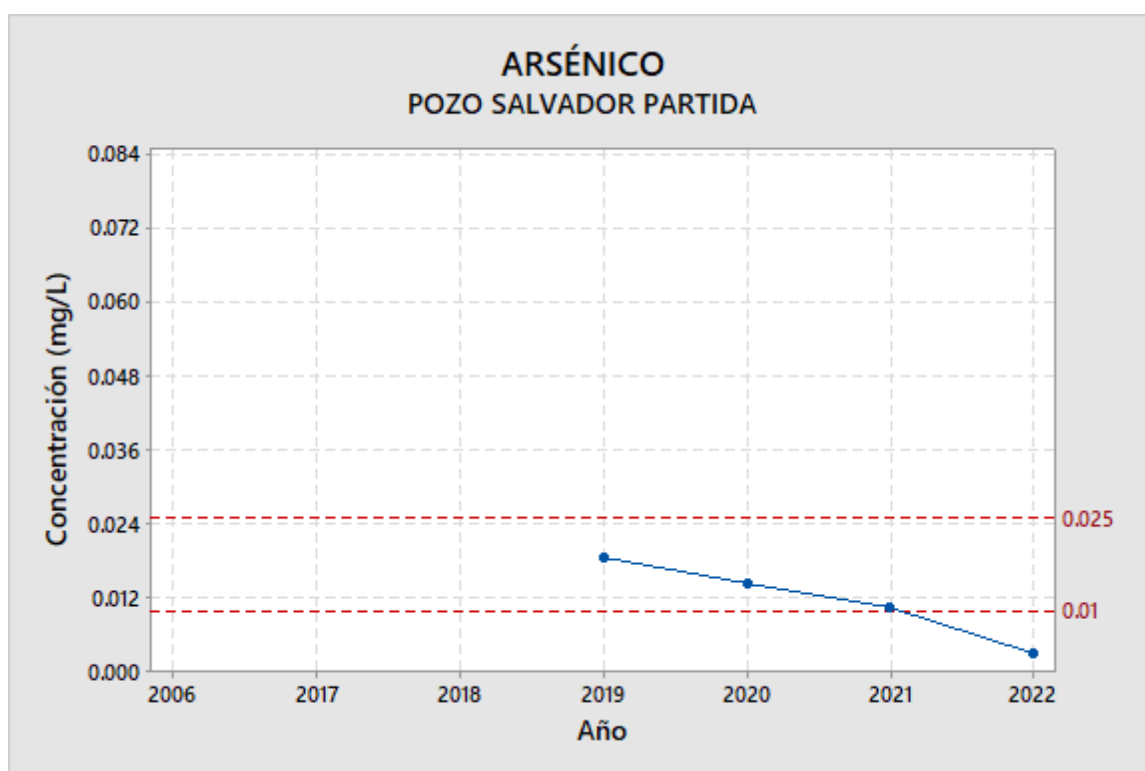
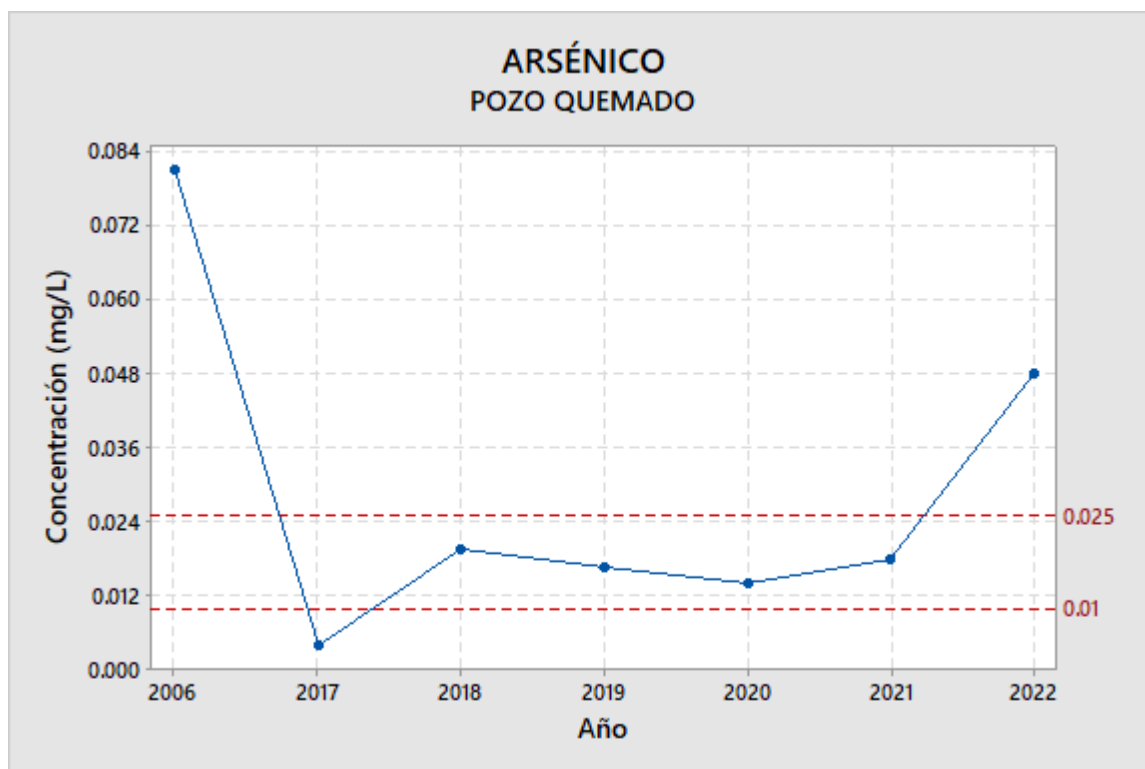


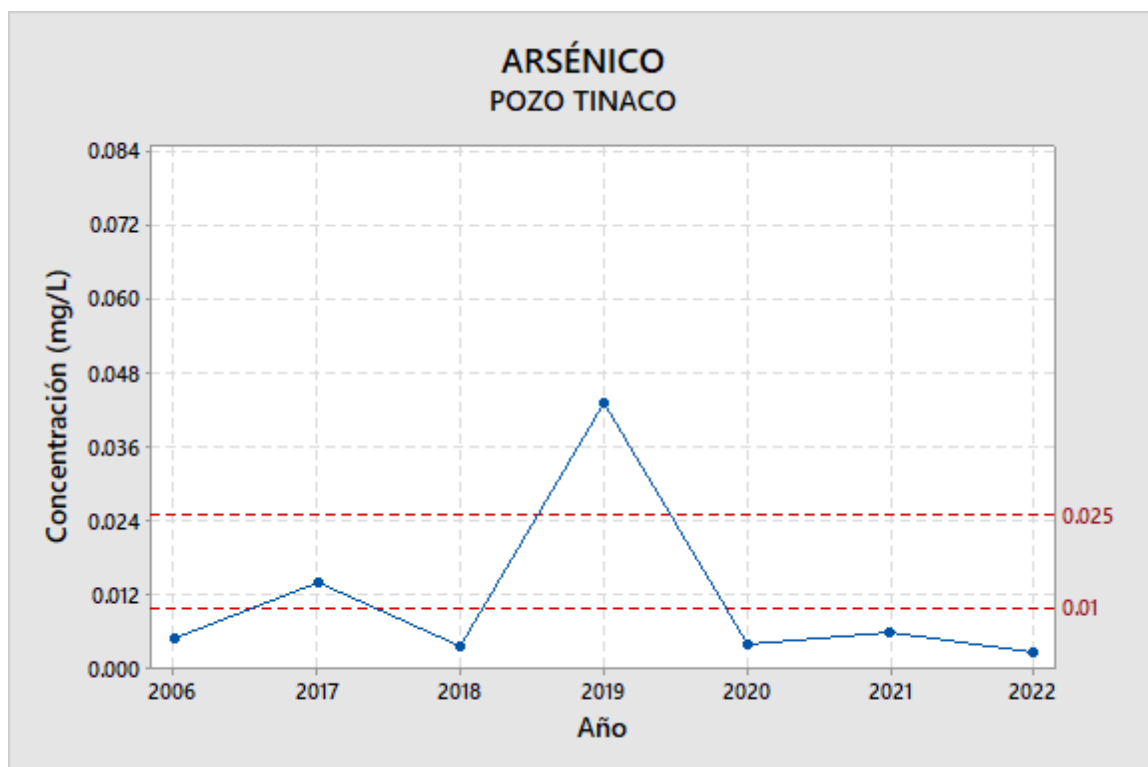
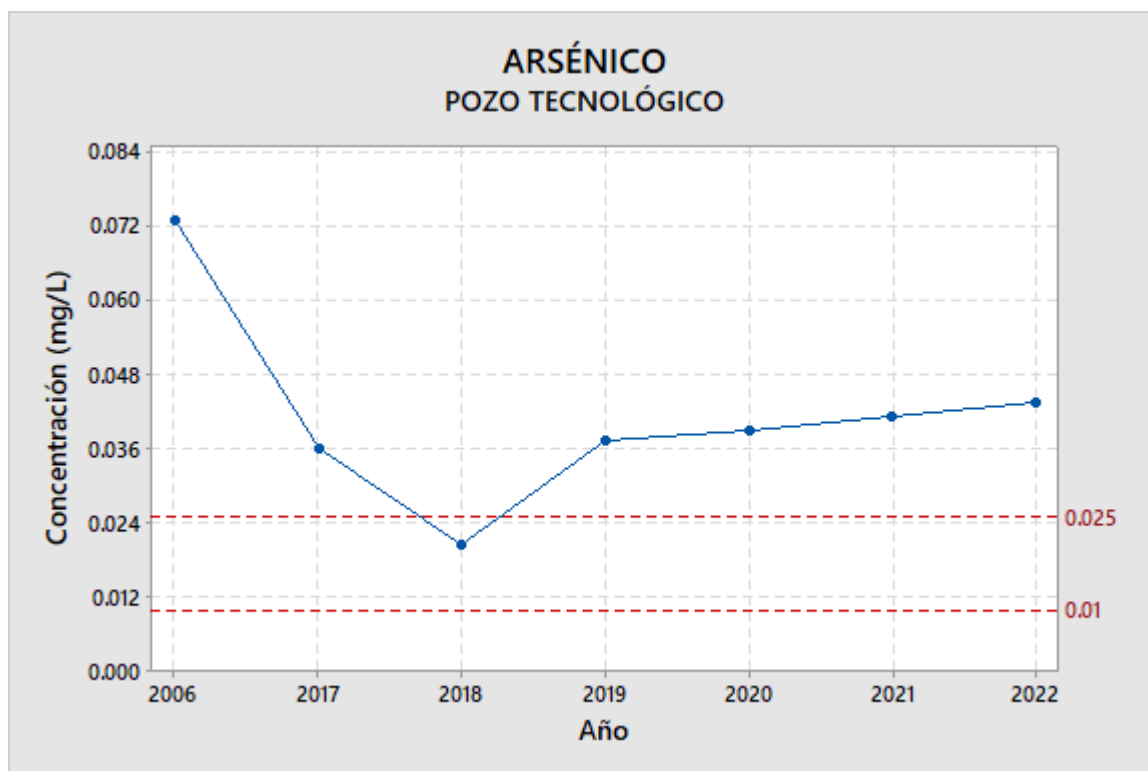


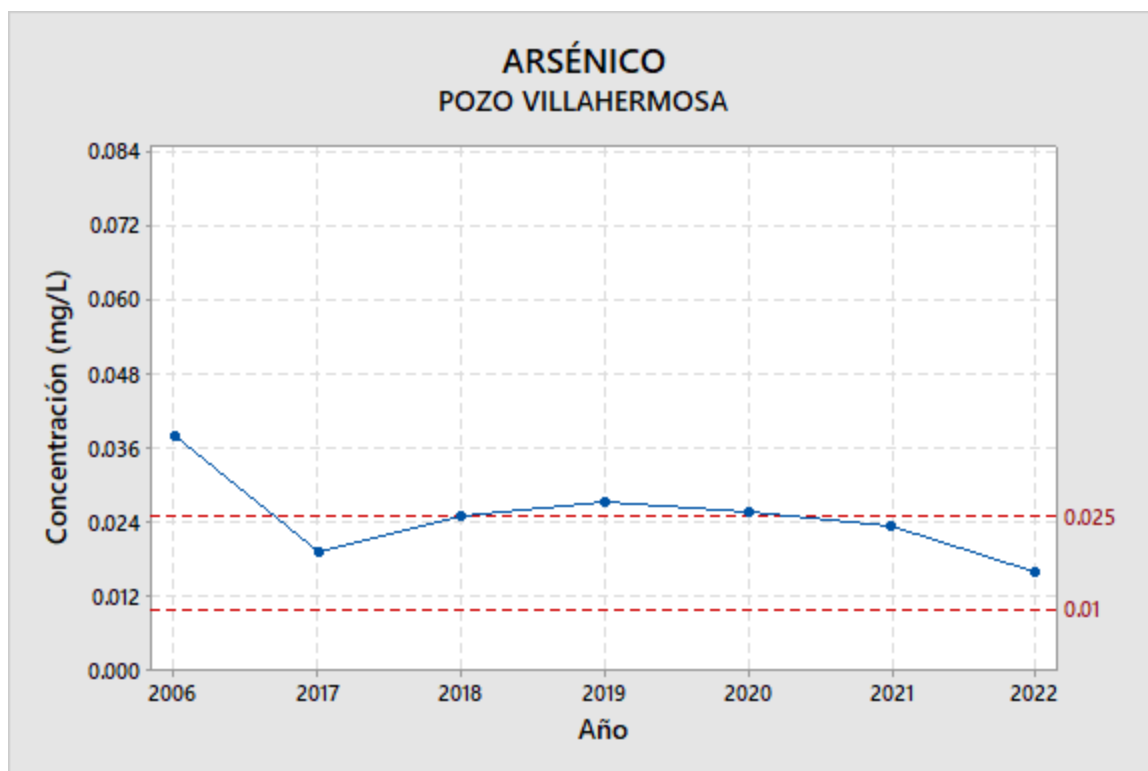




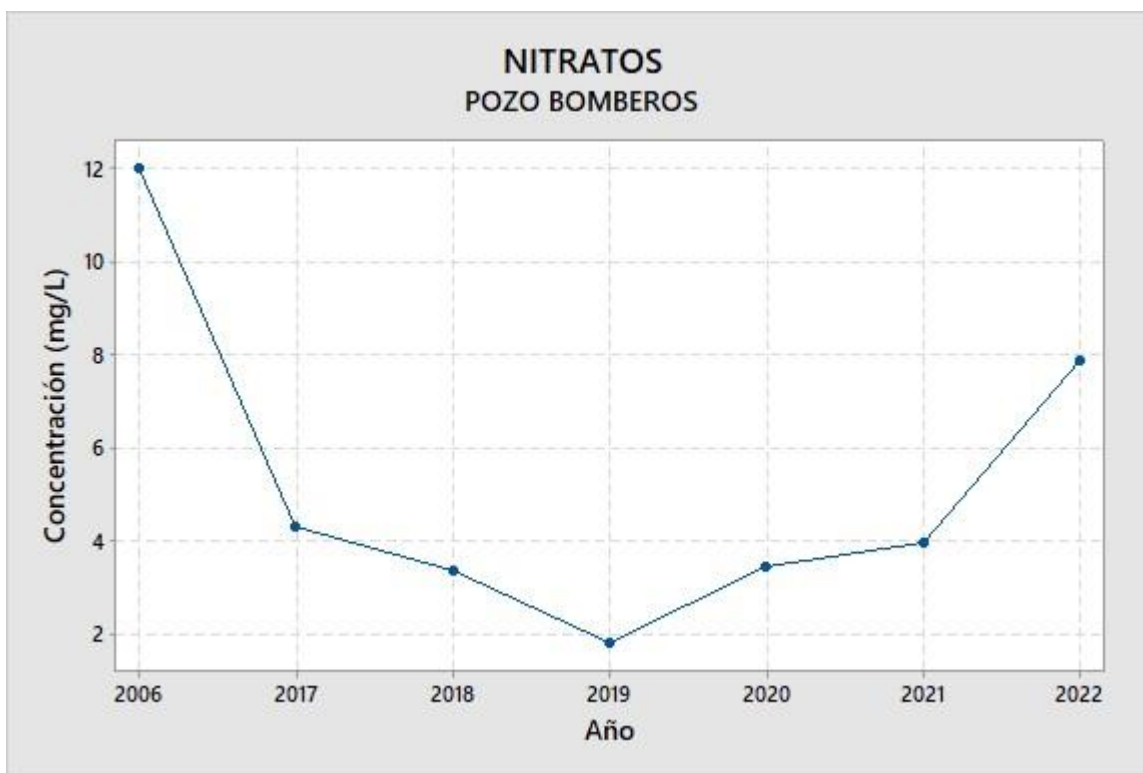
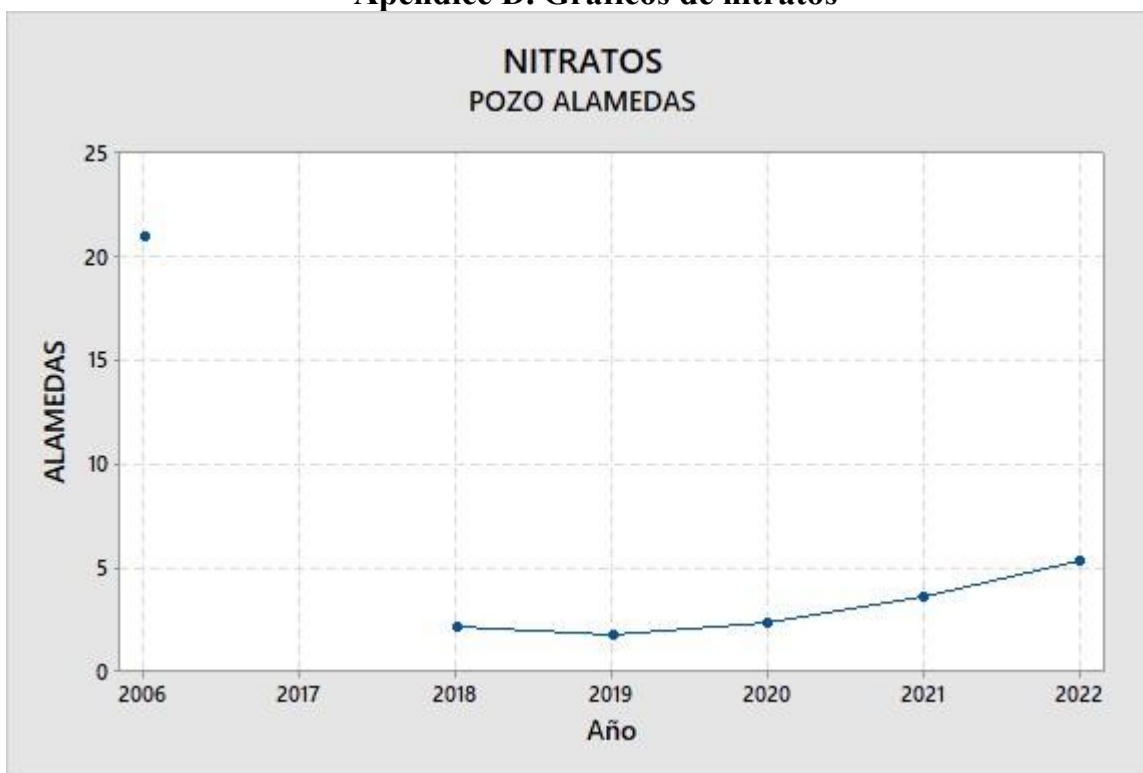


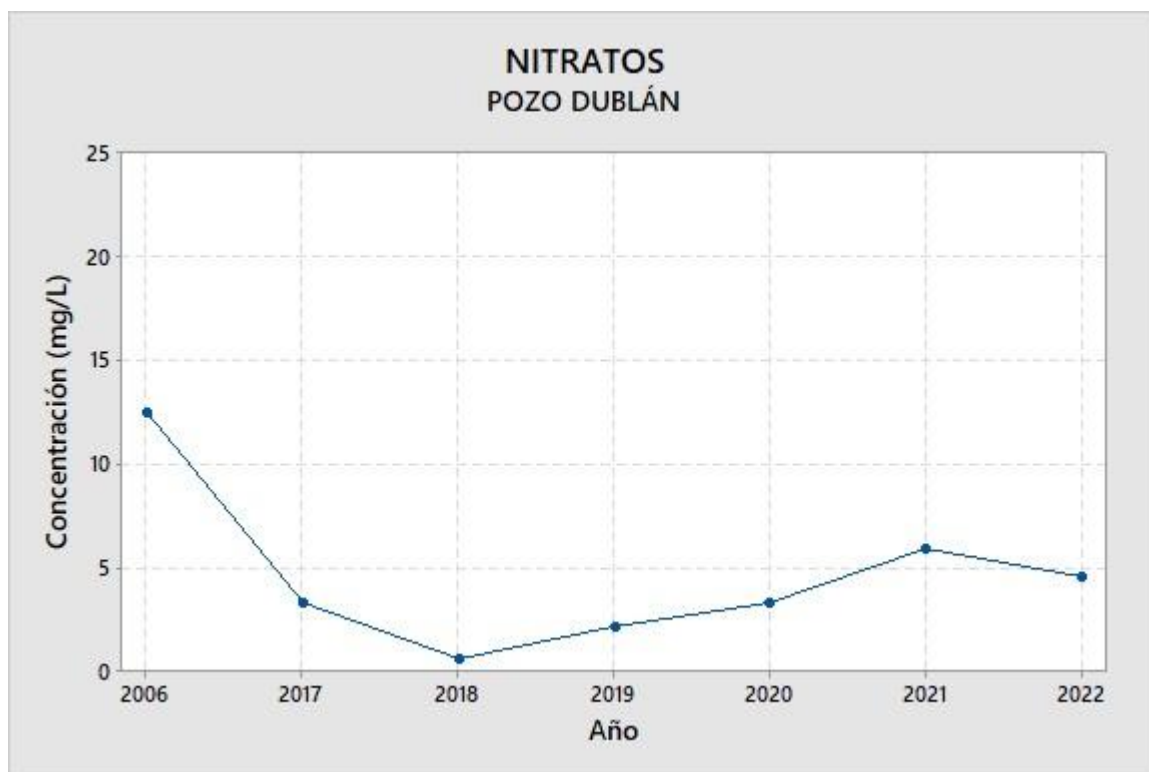
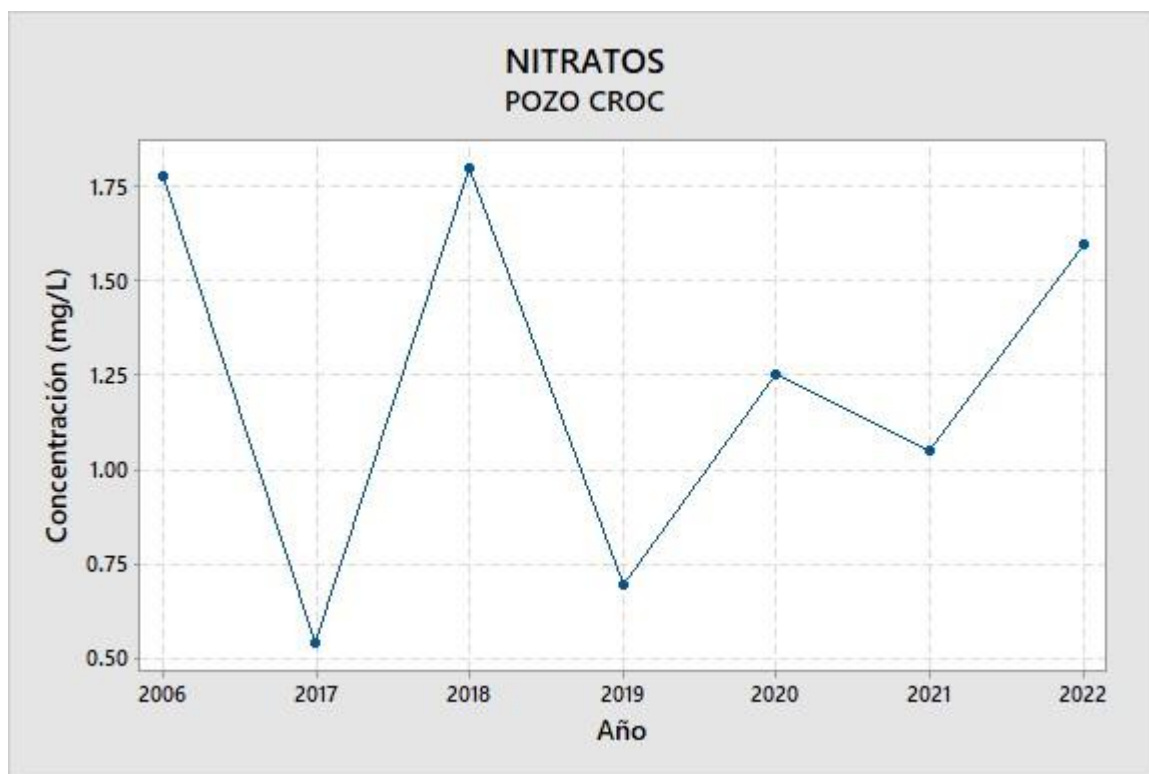


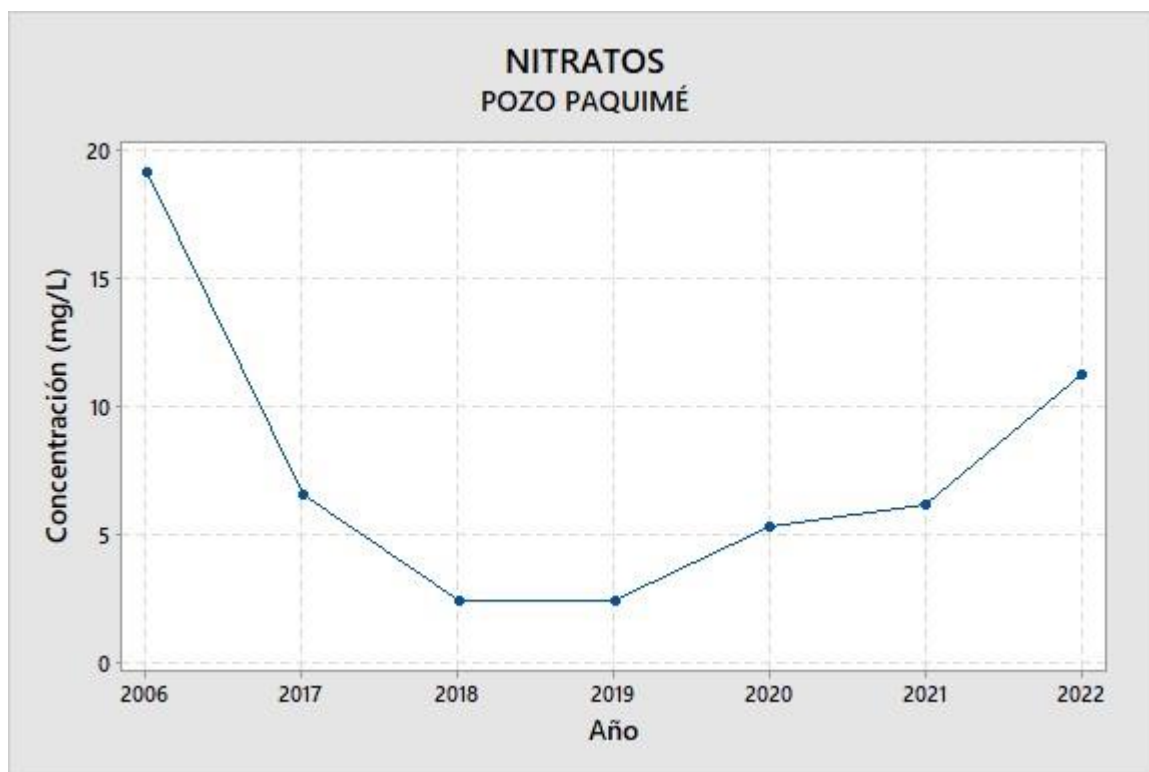
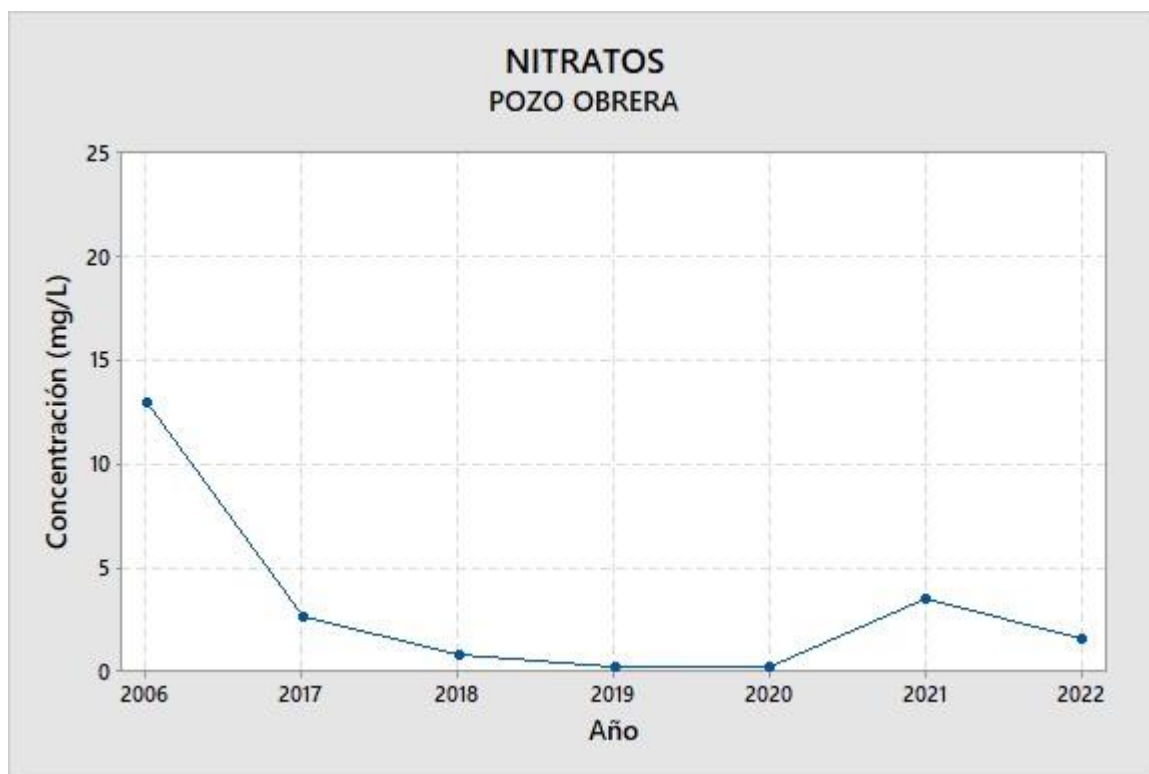


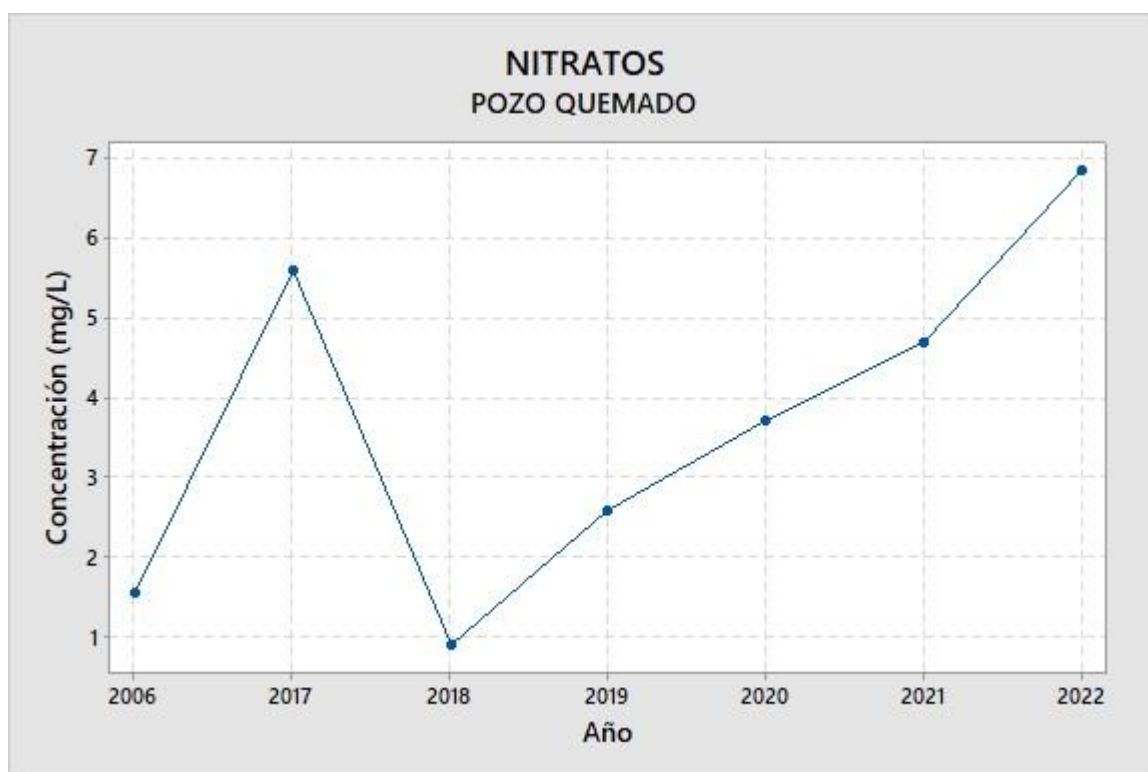
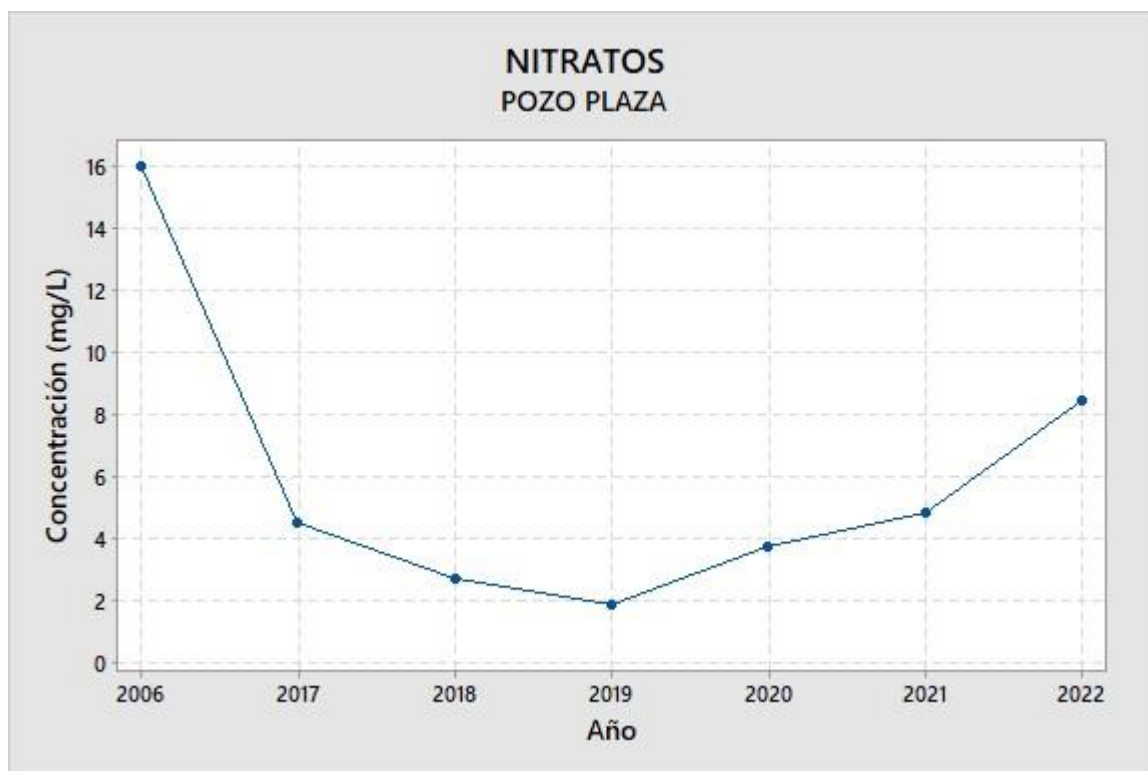


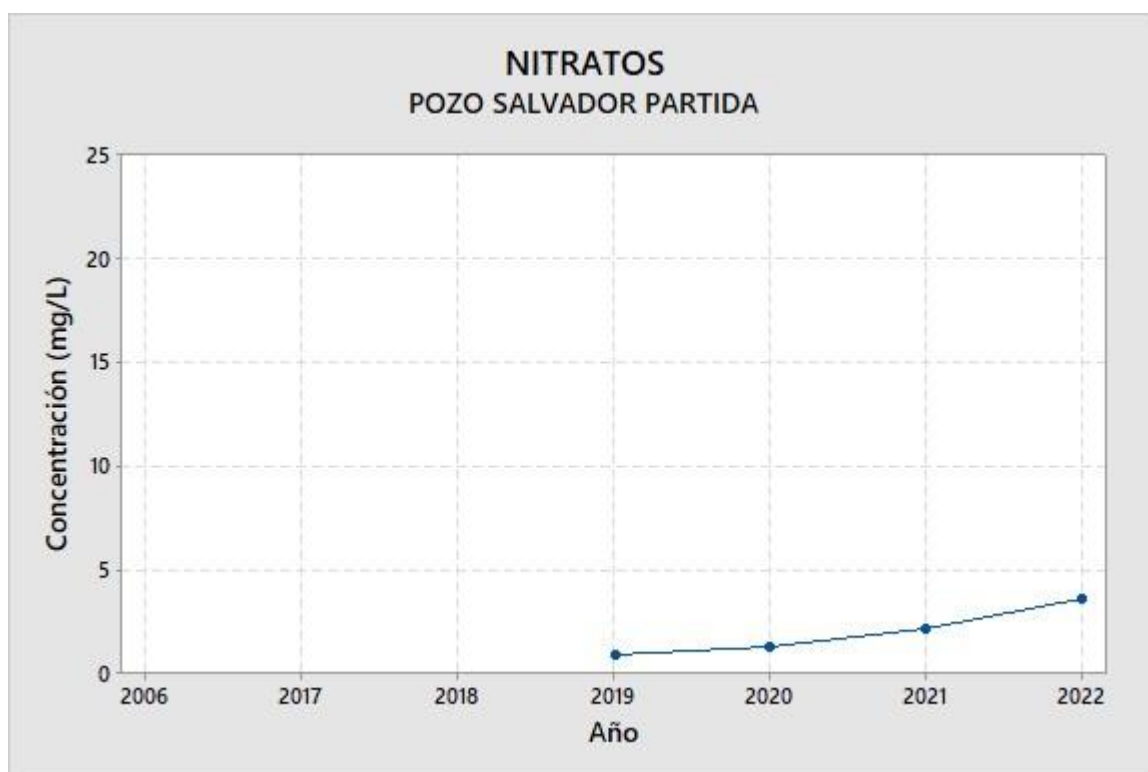
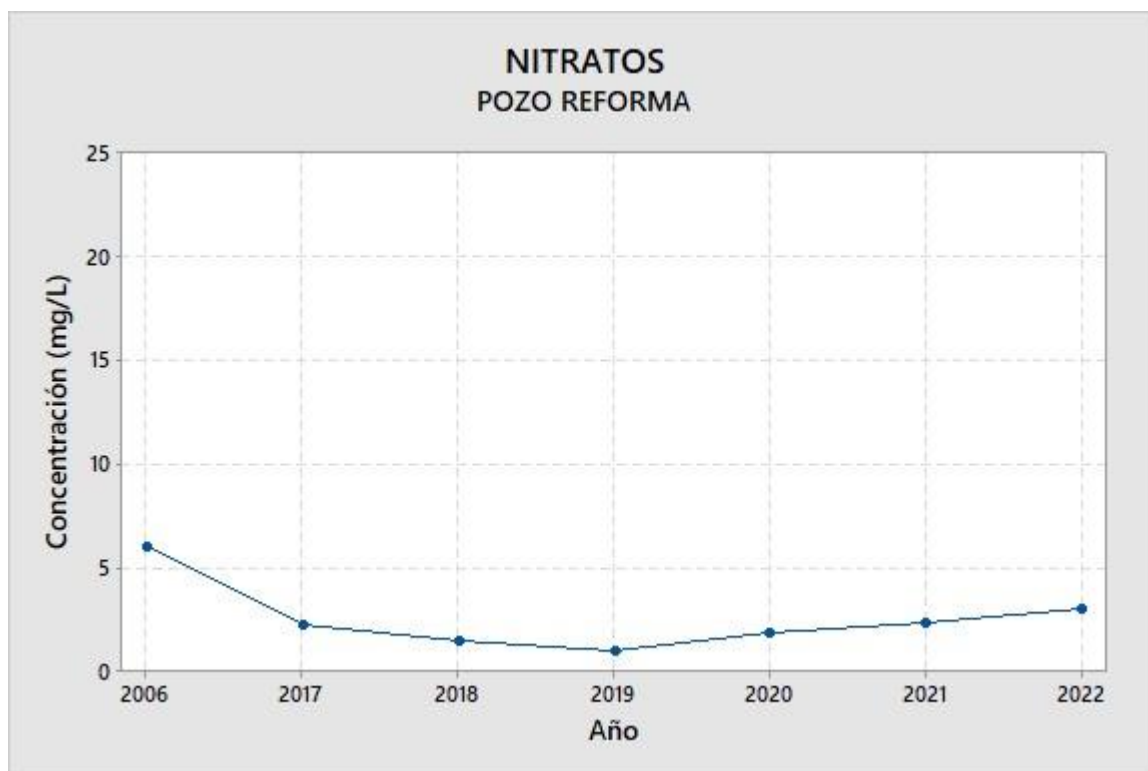
Apéndice D. Gráficos de nitratos

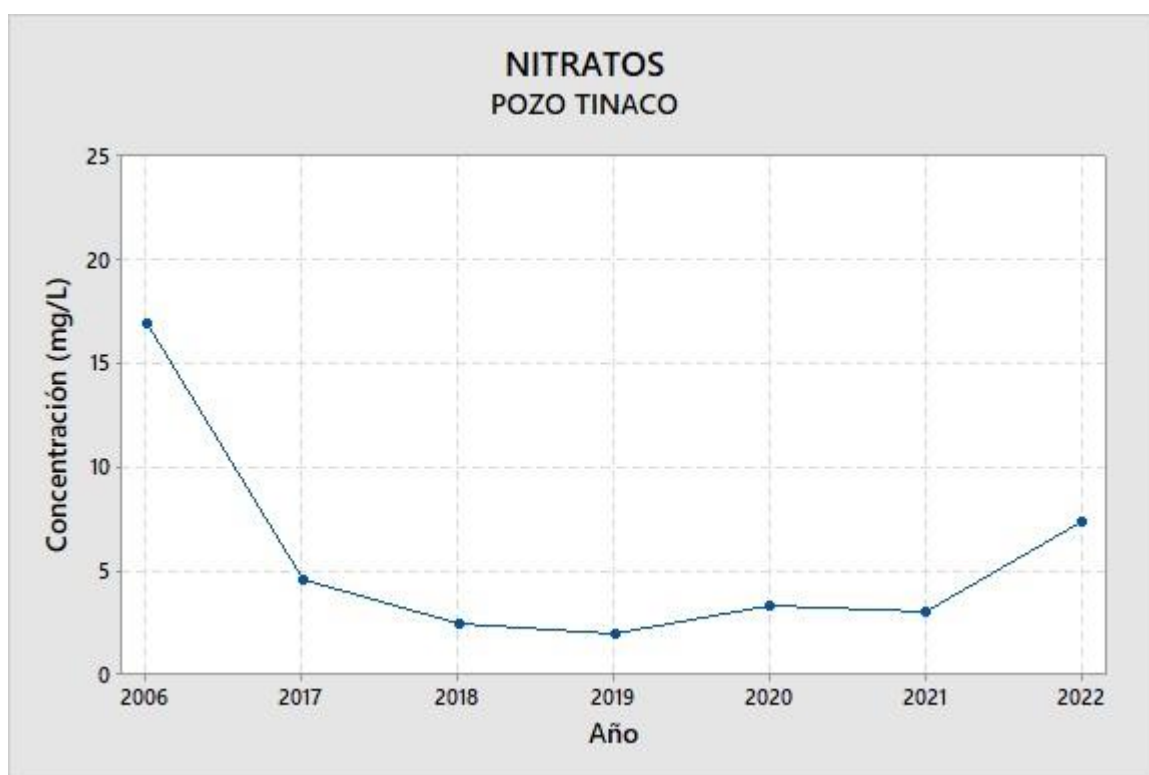
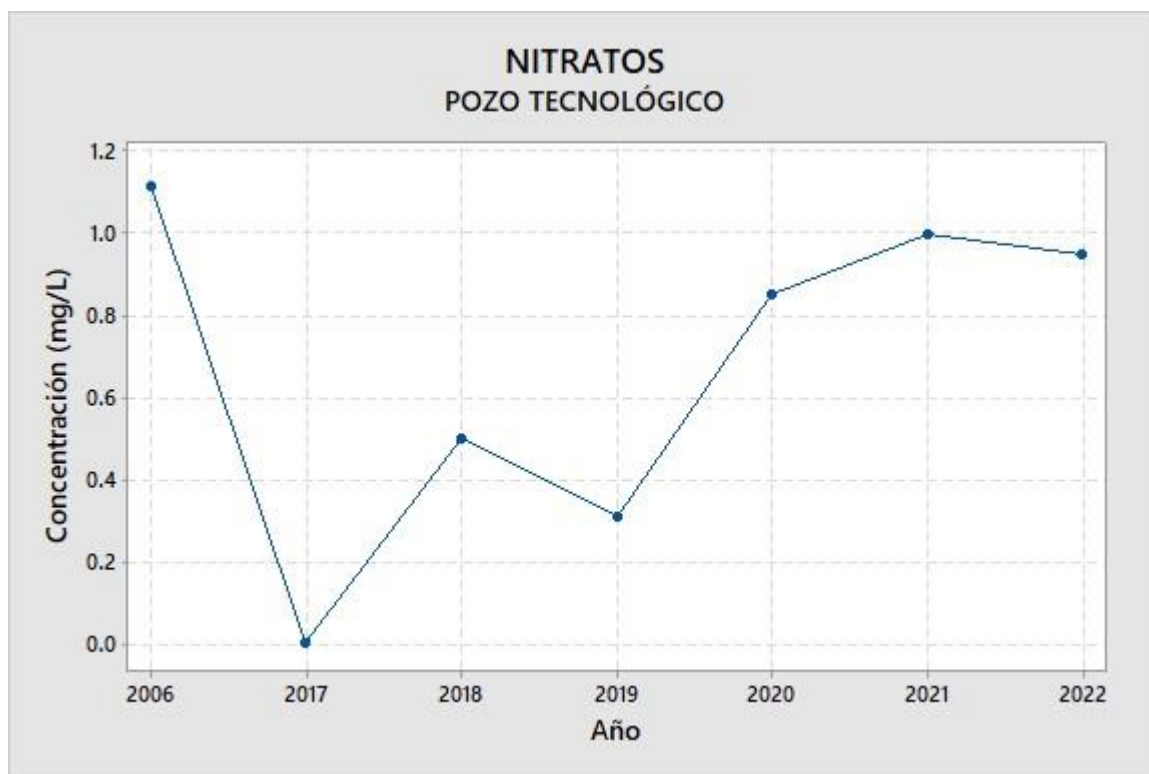


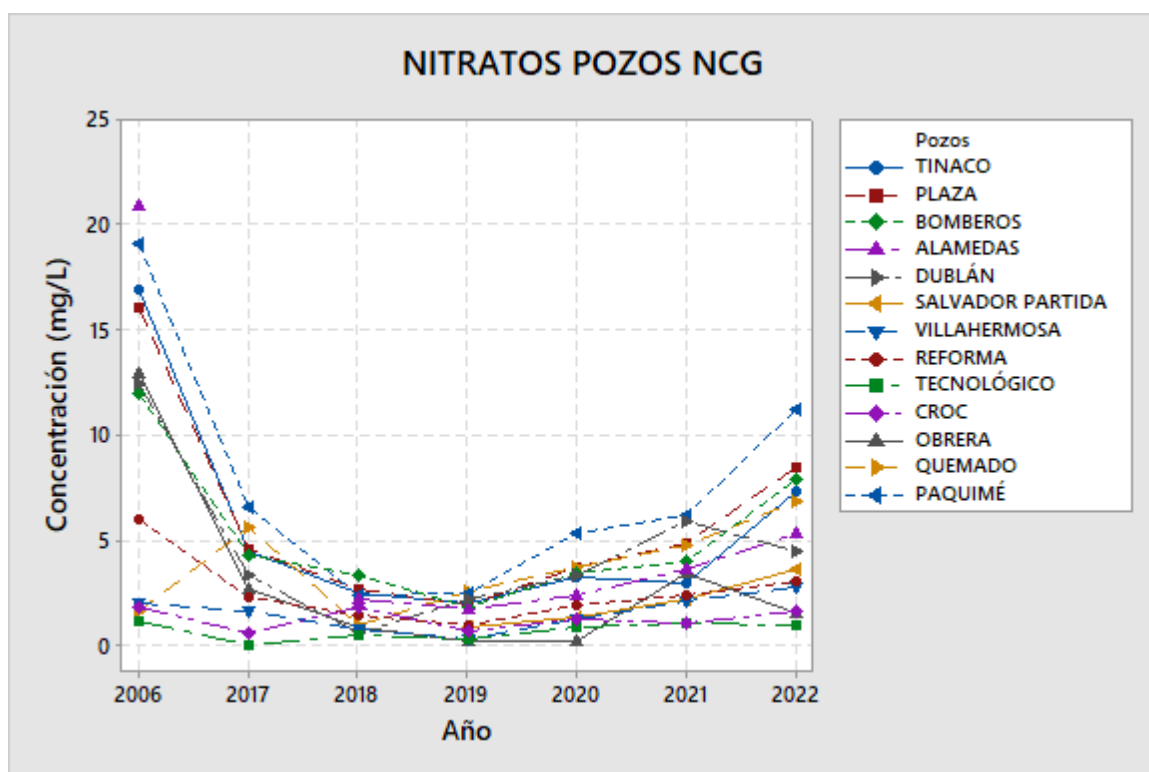




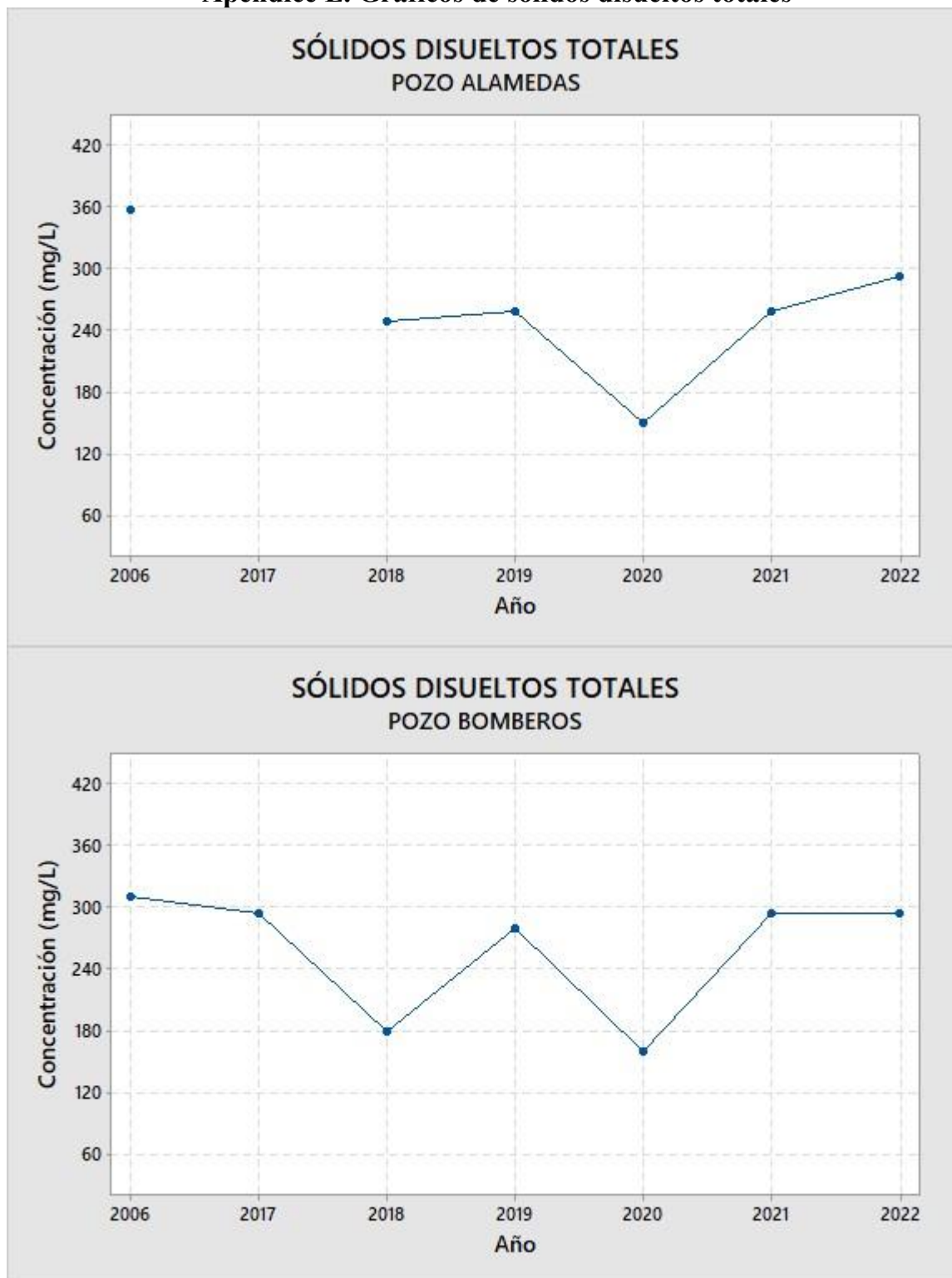




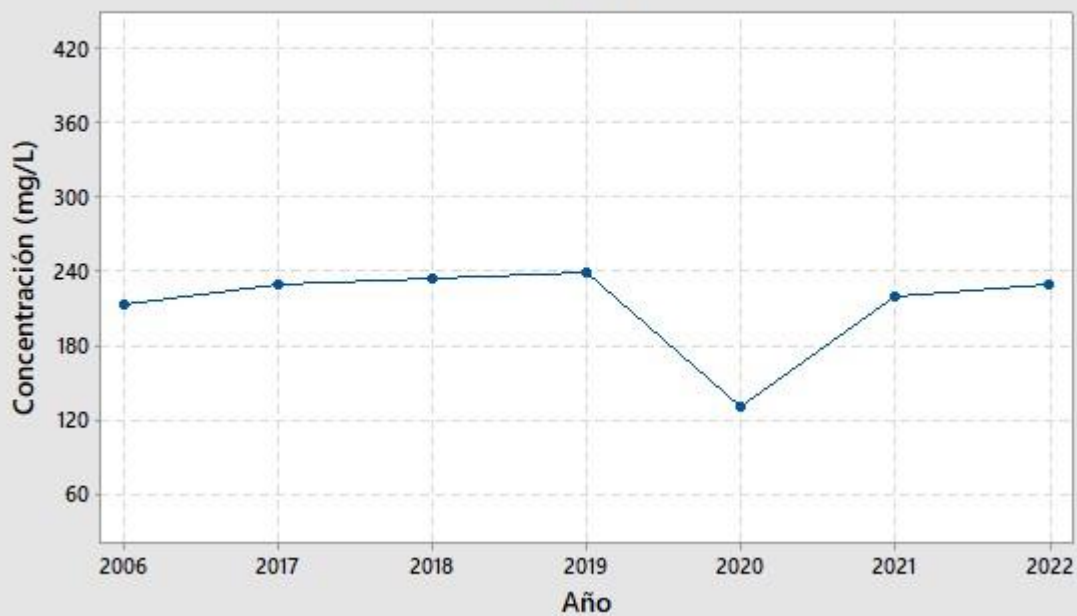




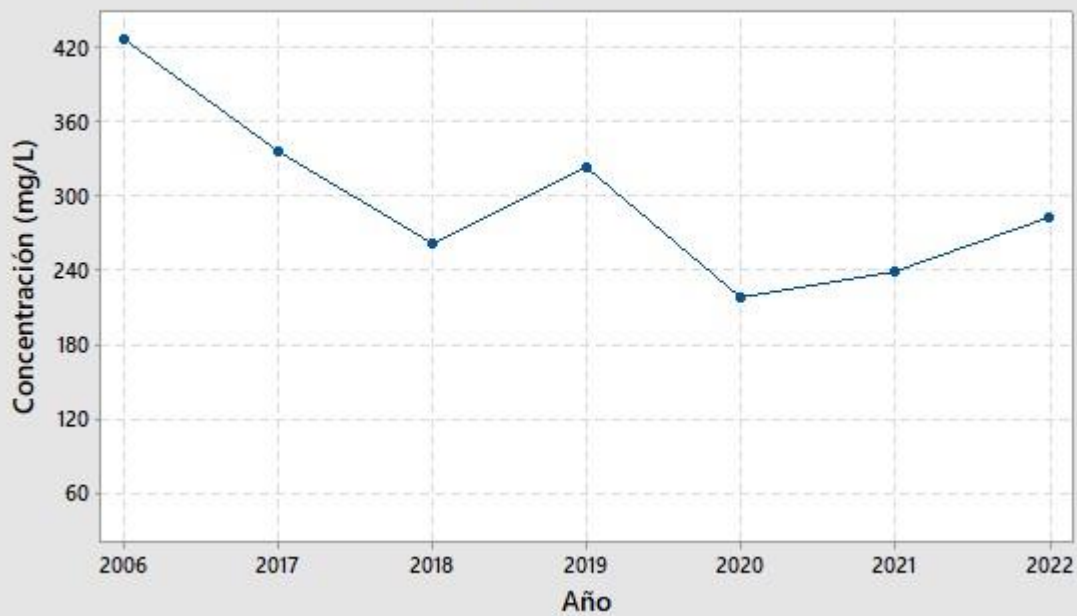
Apéndice E. Gráficos de sólidos disueltos totales



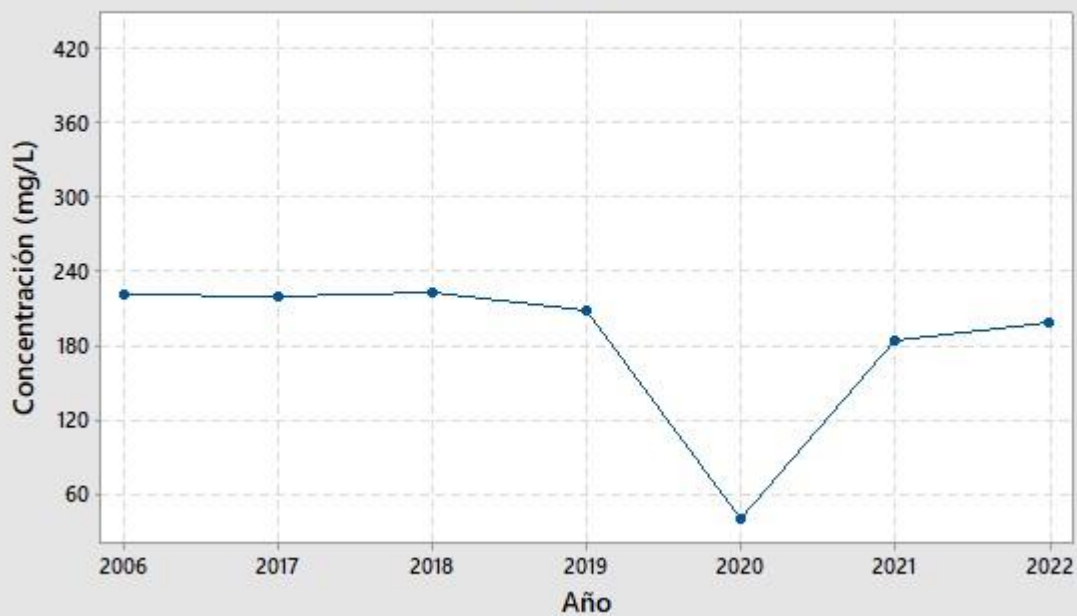
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO CROC



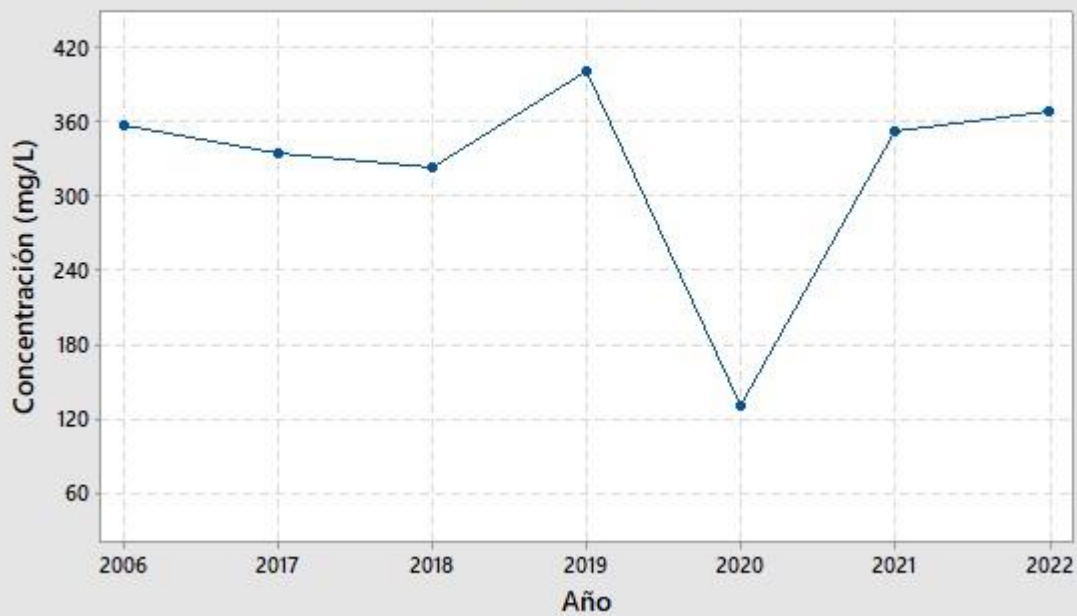
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO DUBLÁN



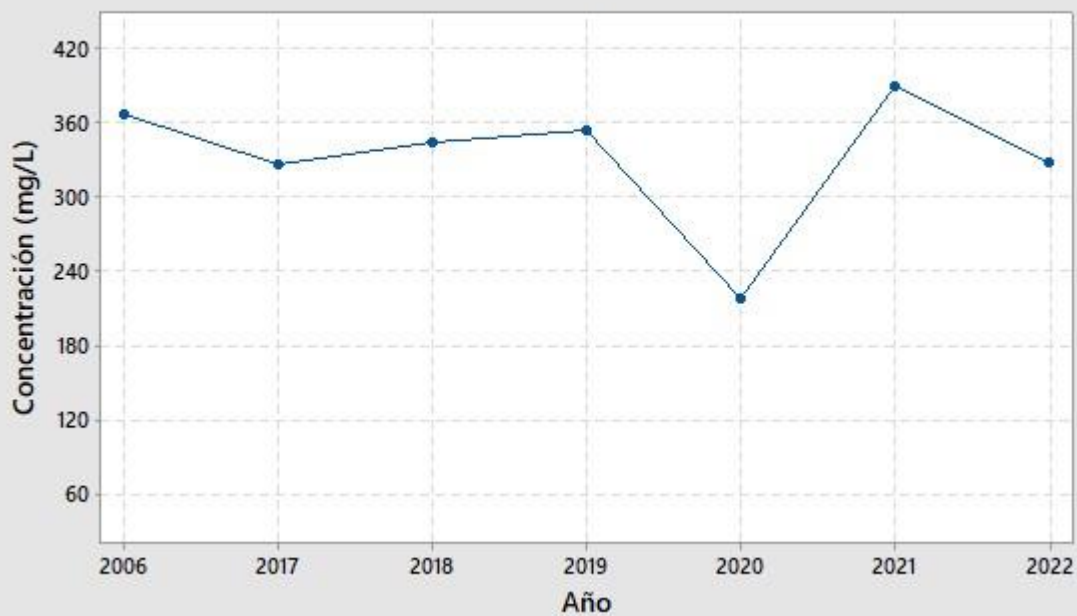
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO OBRERA



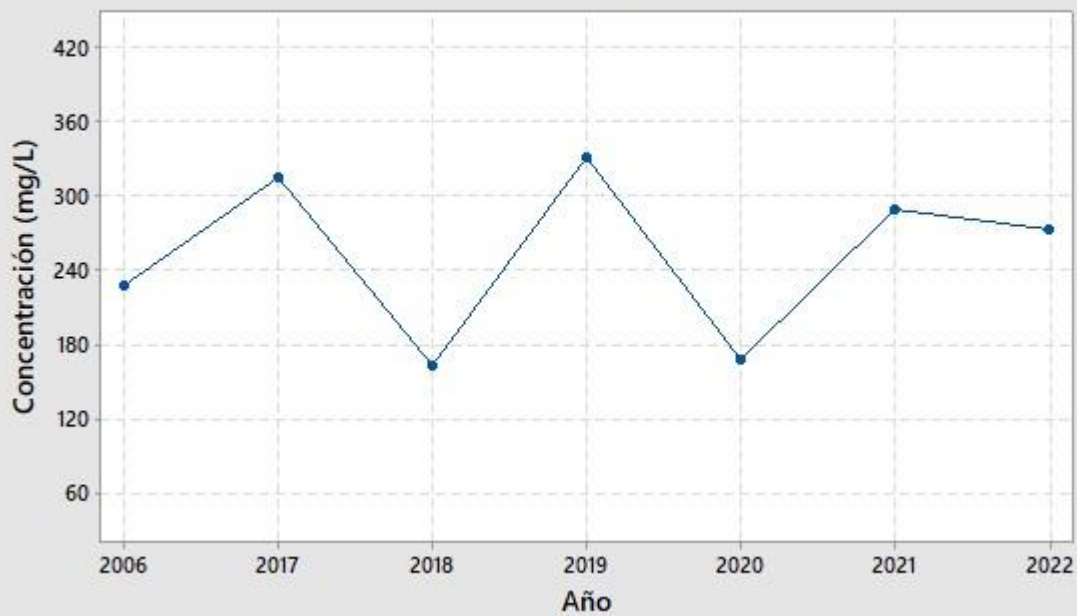
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO PAQUIMÉ



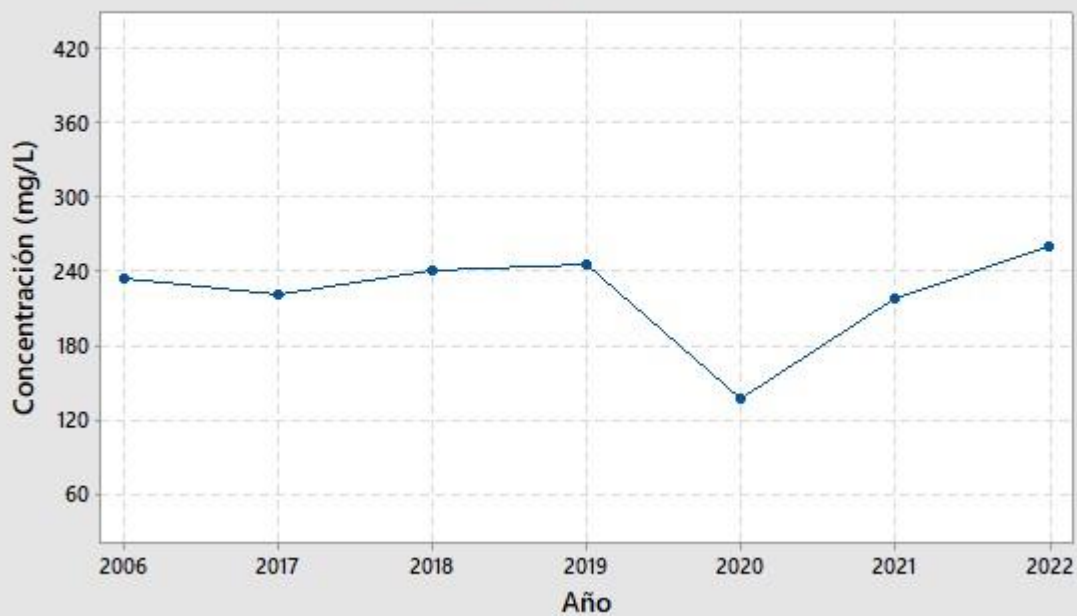
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO PLAZA



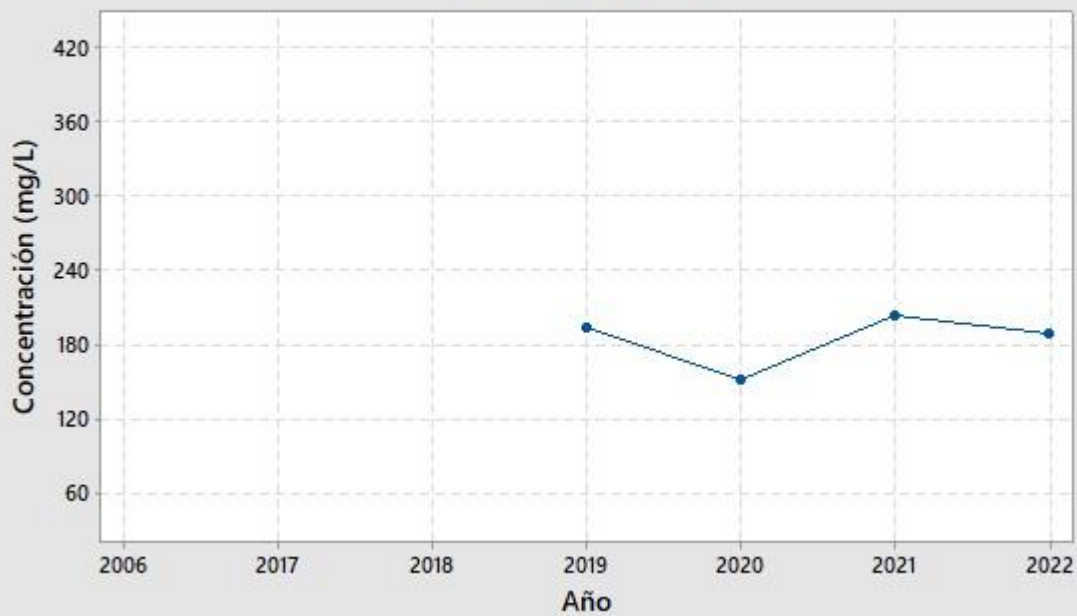
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO QUEMADO



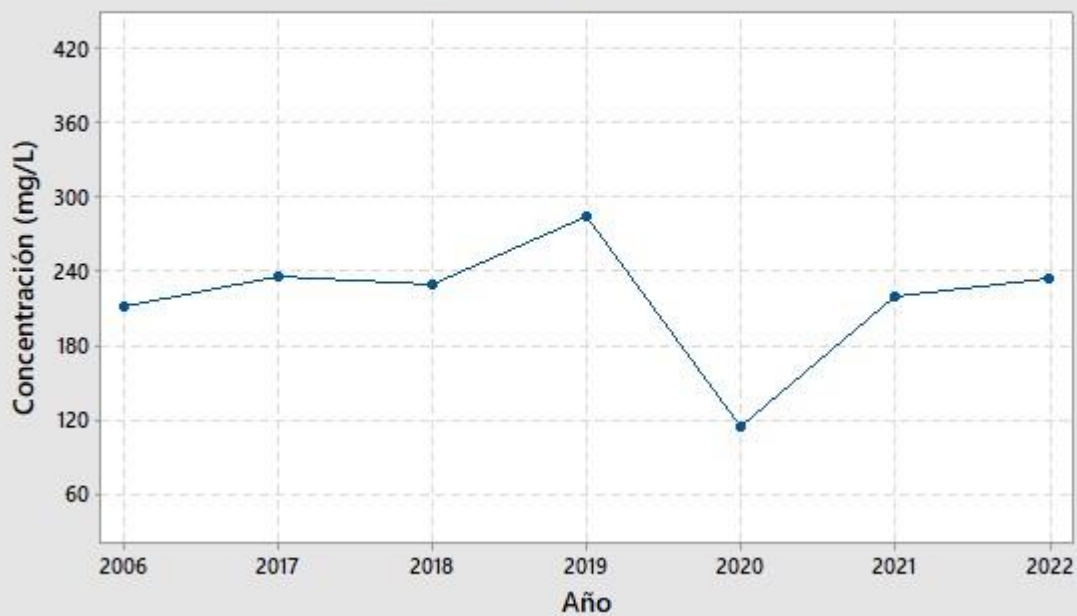
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO REFORMA



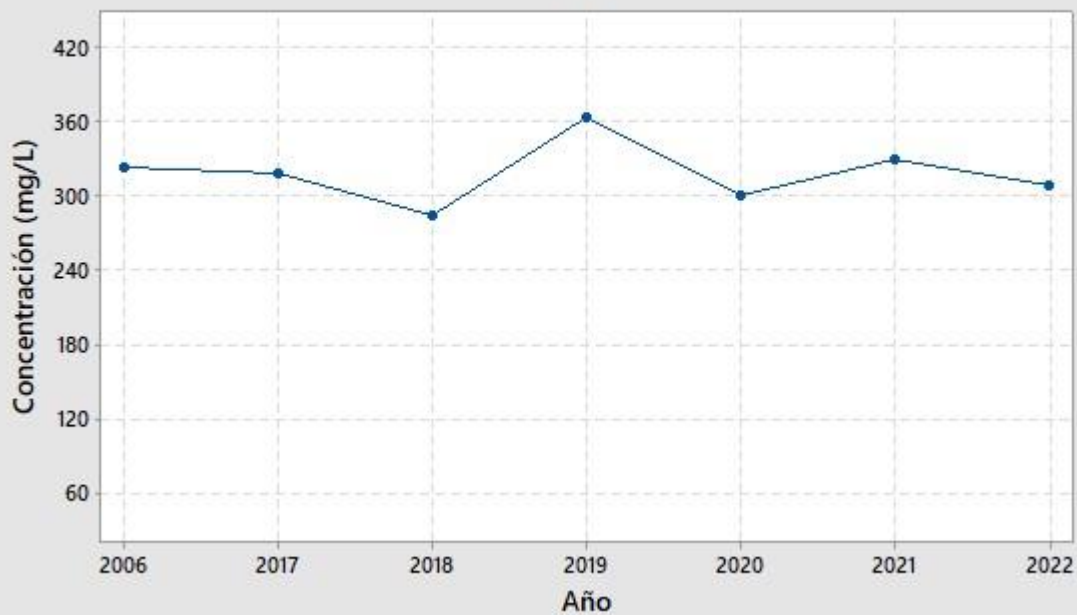
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO SALVADOR PARTIDA

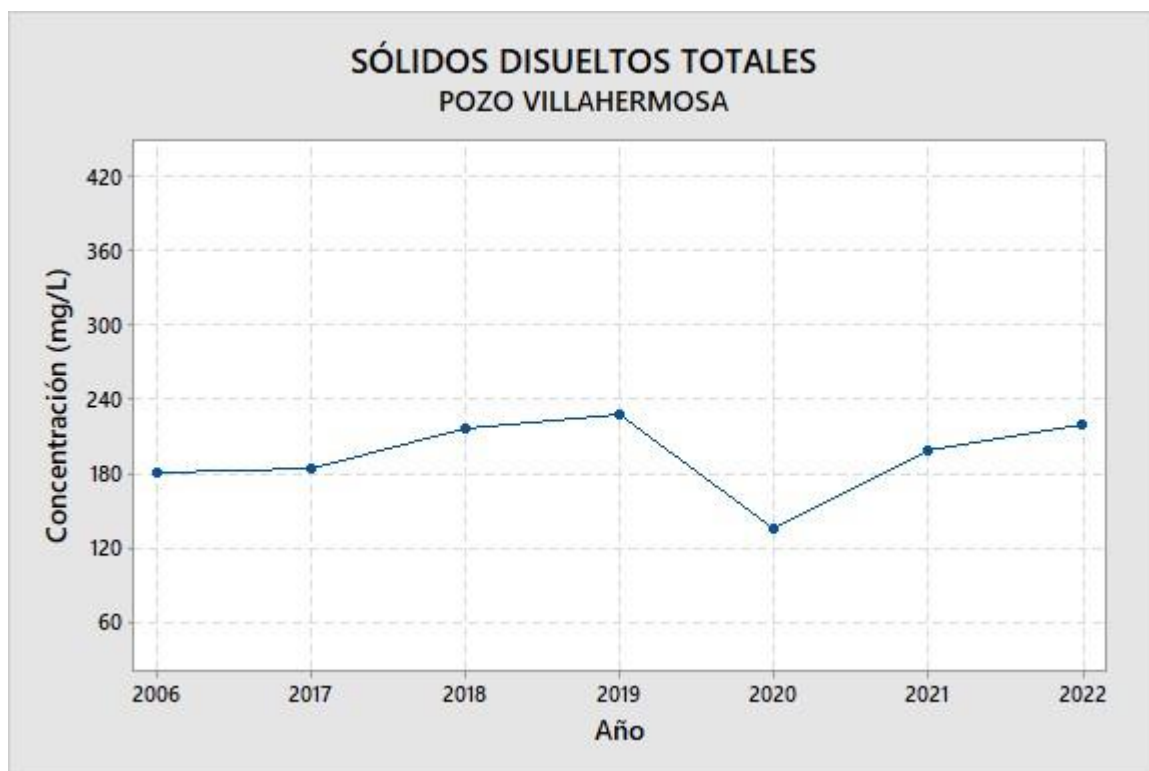


SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO TECNOLÓGICO

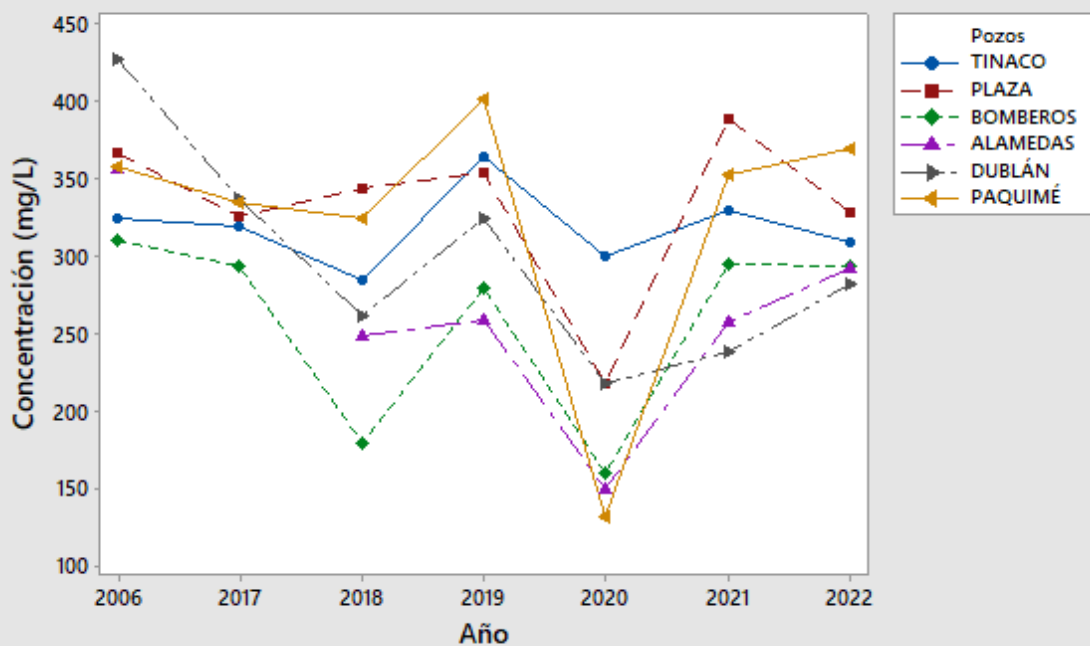


SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZO TINACO

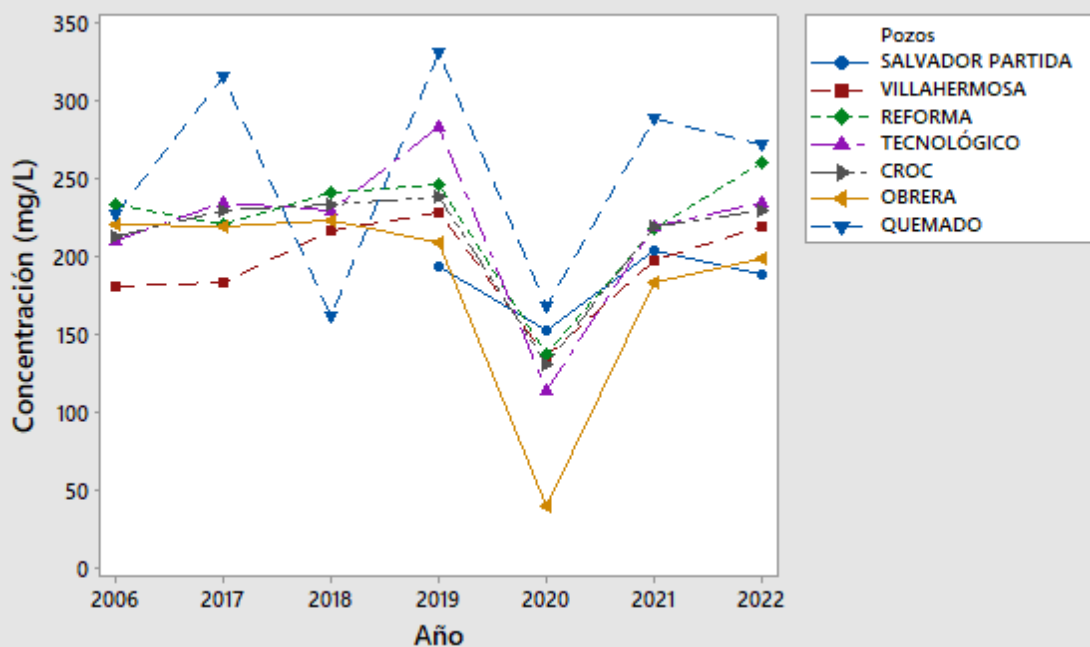




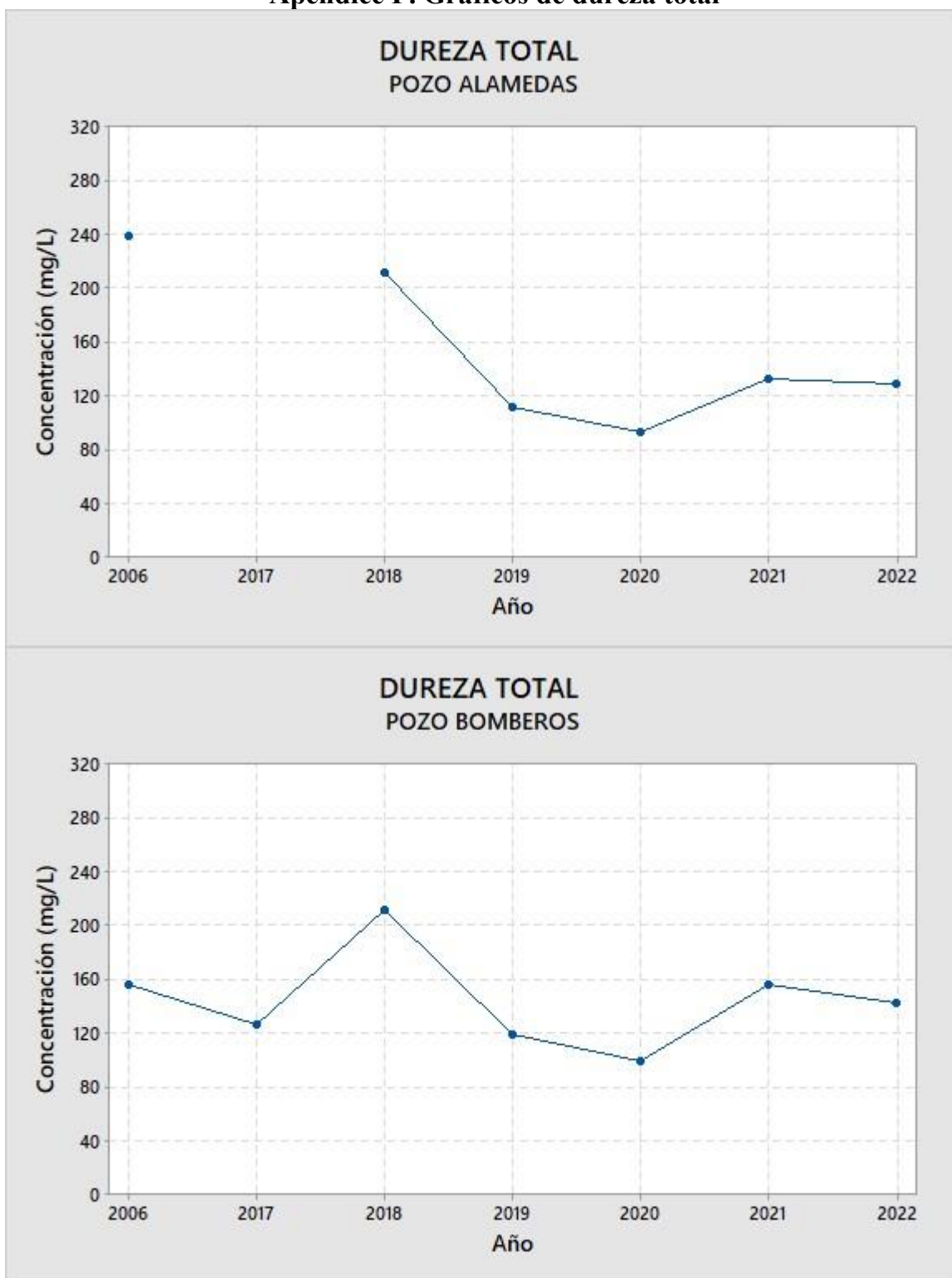
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZOS NCG



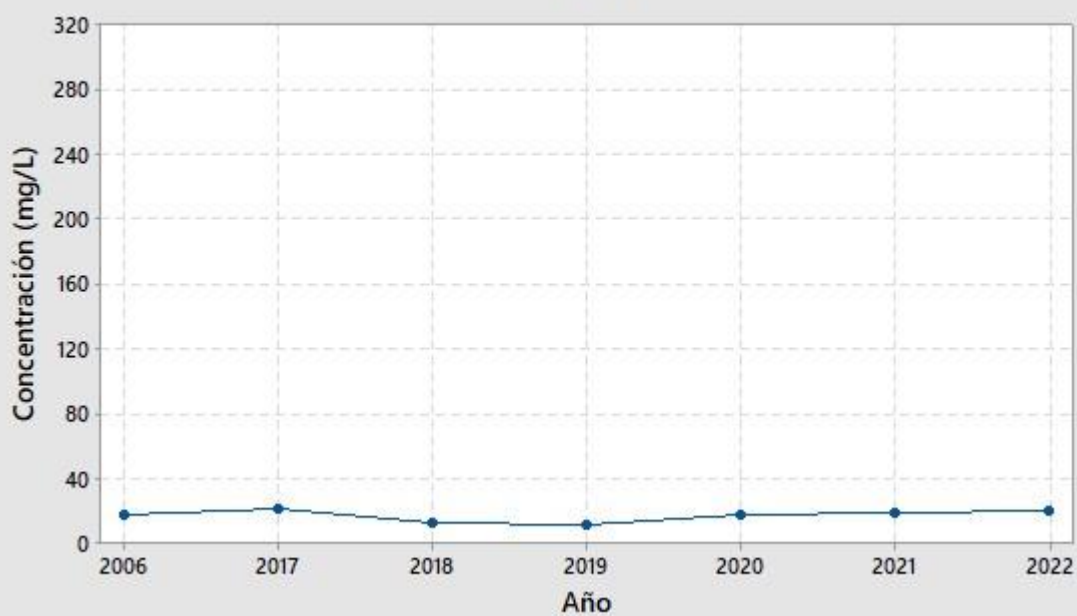
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES POZOS NCG



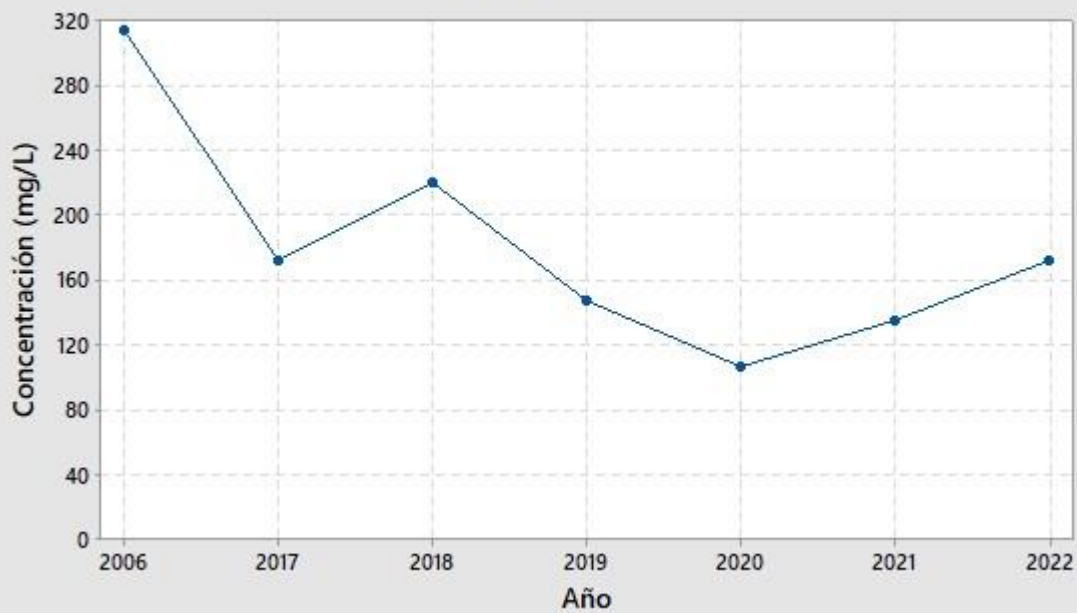
Apéndice F. Gráficos de dureza total



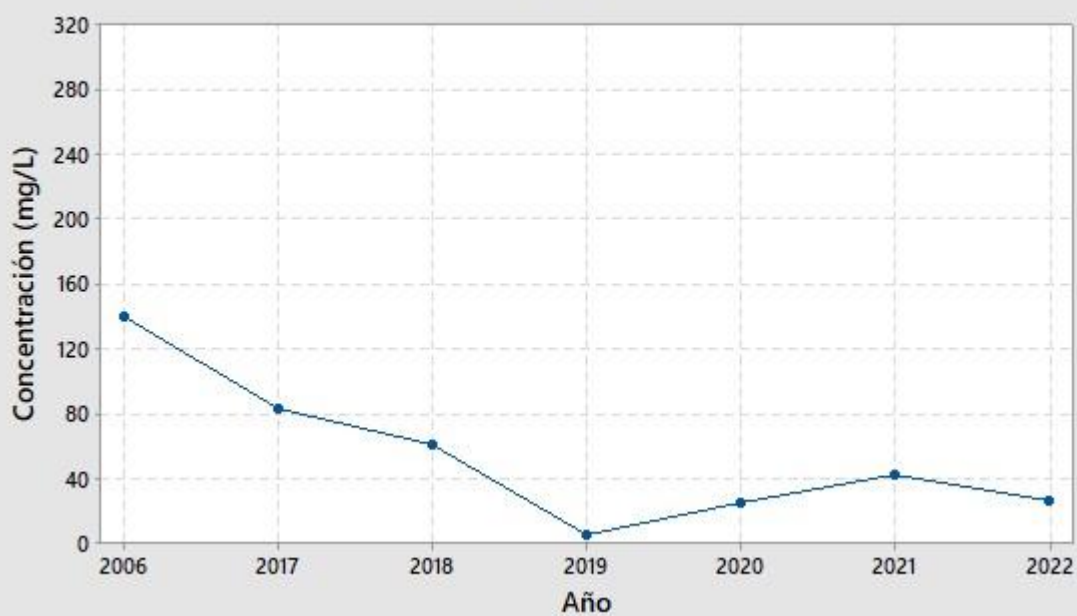
DUREZA TOTAL POZO CROC



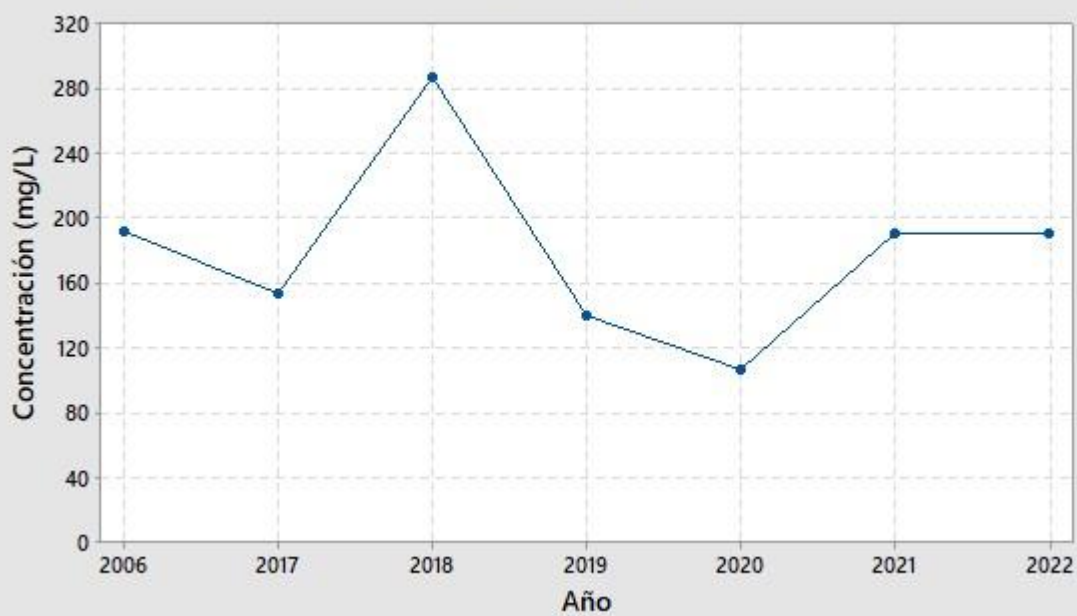
DUREZA TOTAL POZO DUBLÁN

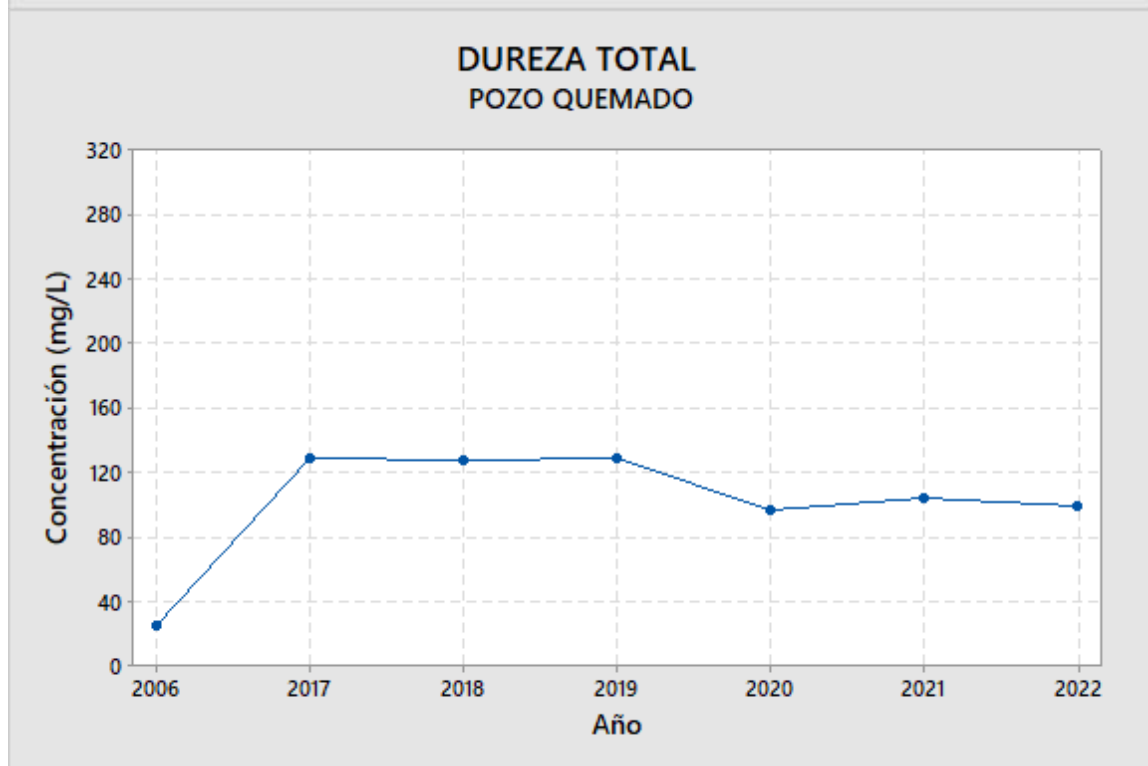
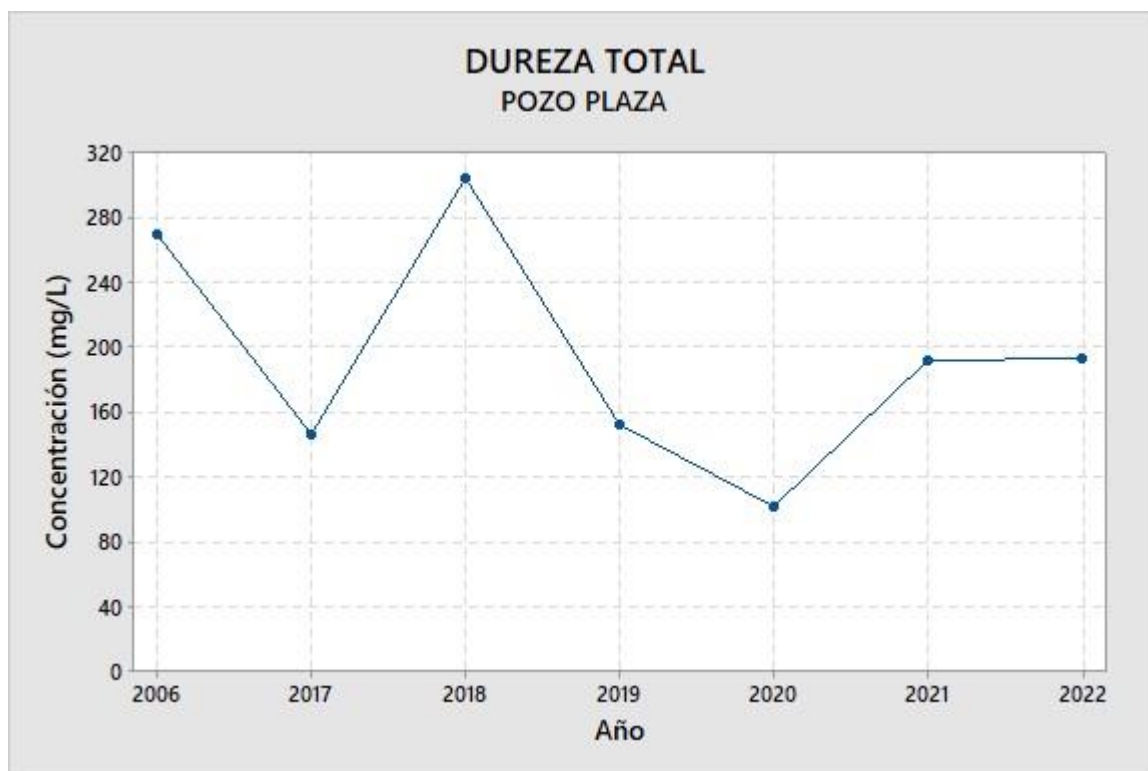


DUREZA TOTAL POZO OBRERA

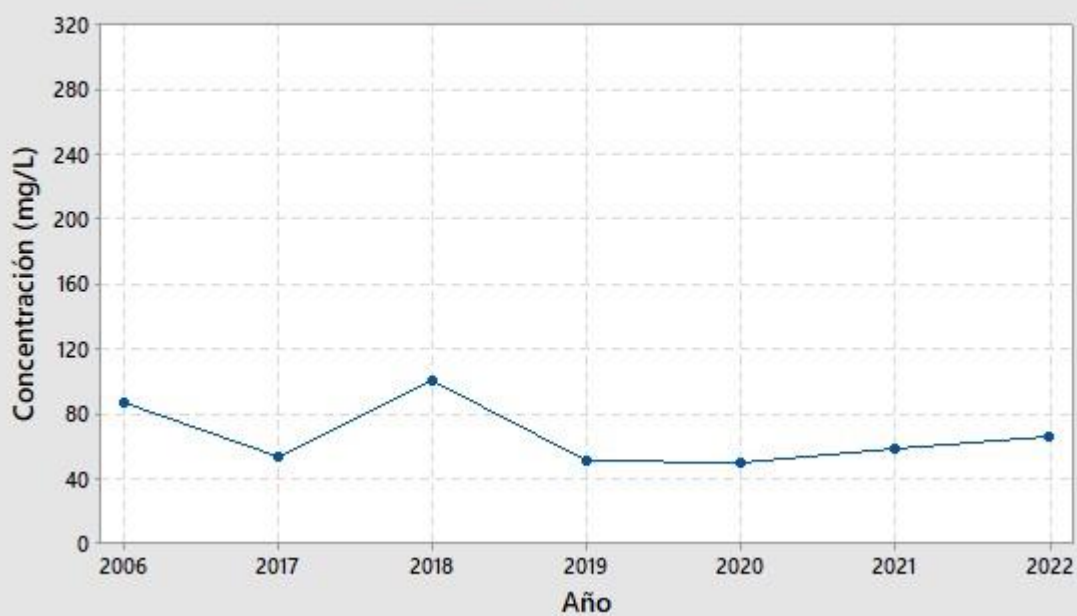


DUREZA TOTAL POZO PAQUIMÉ

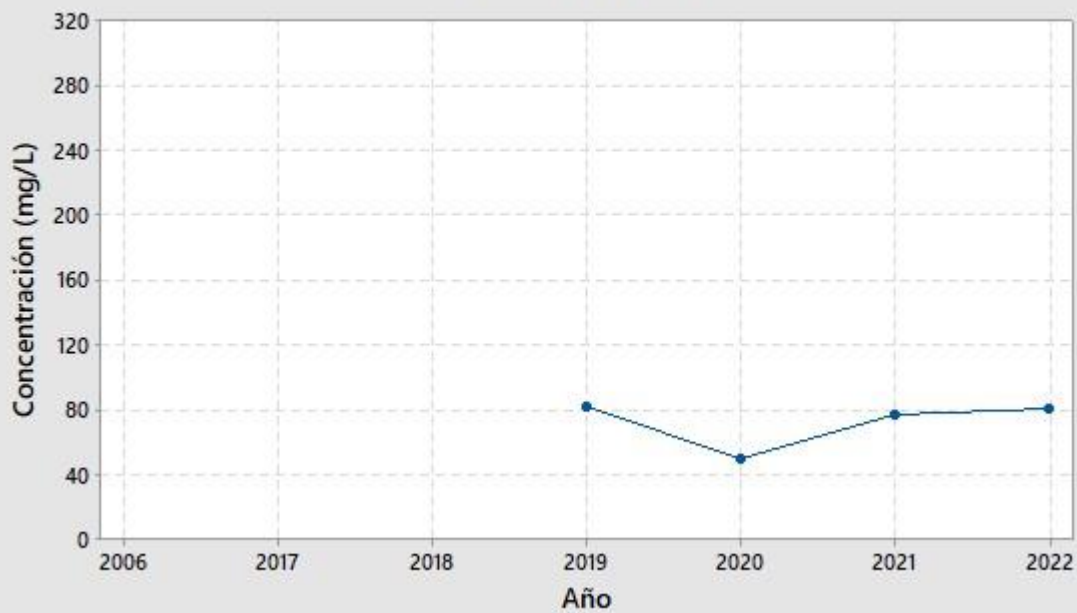


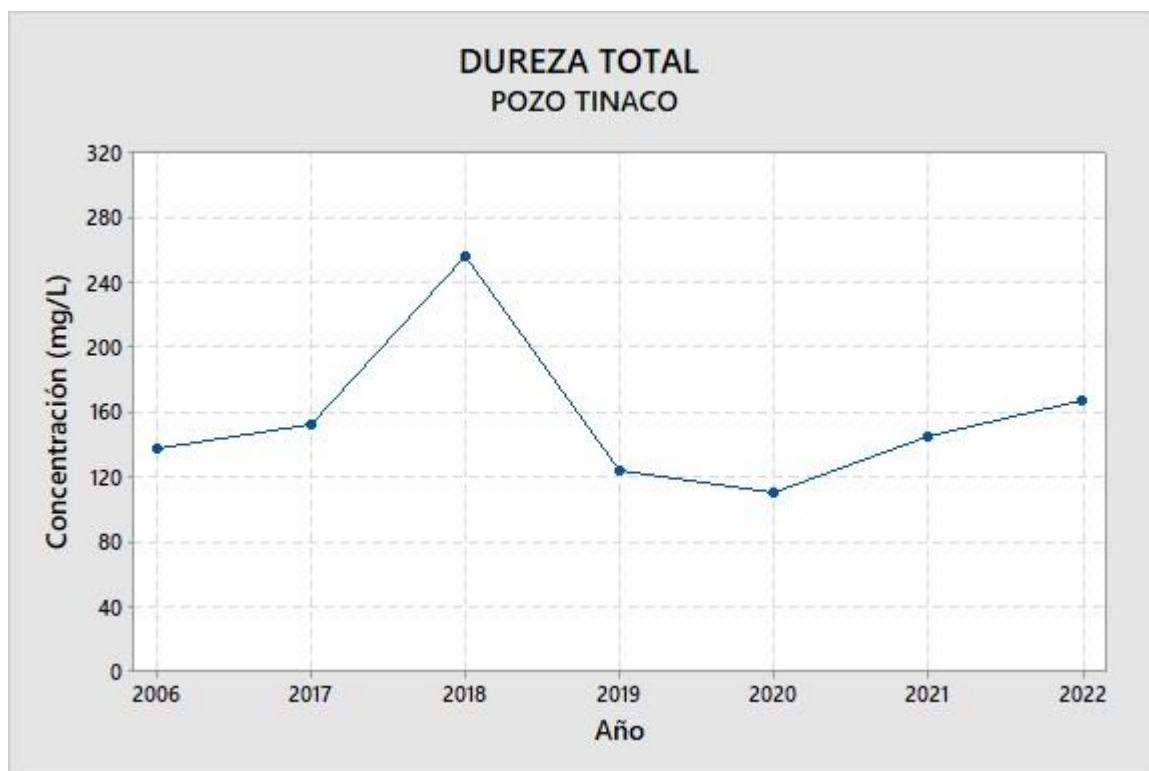
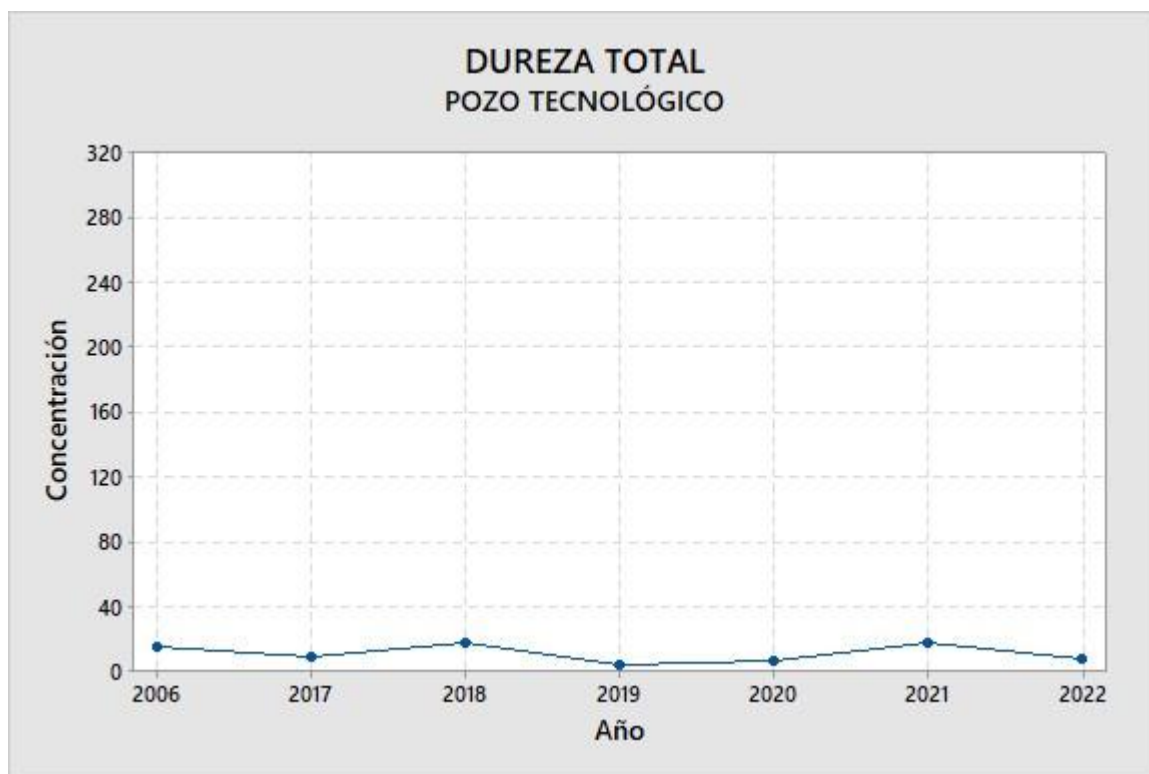


DUREZA TOTAL POZO REFORMA

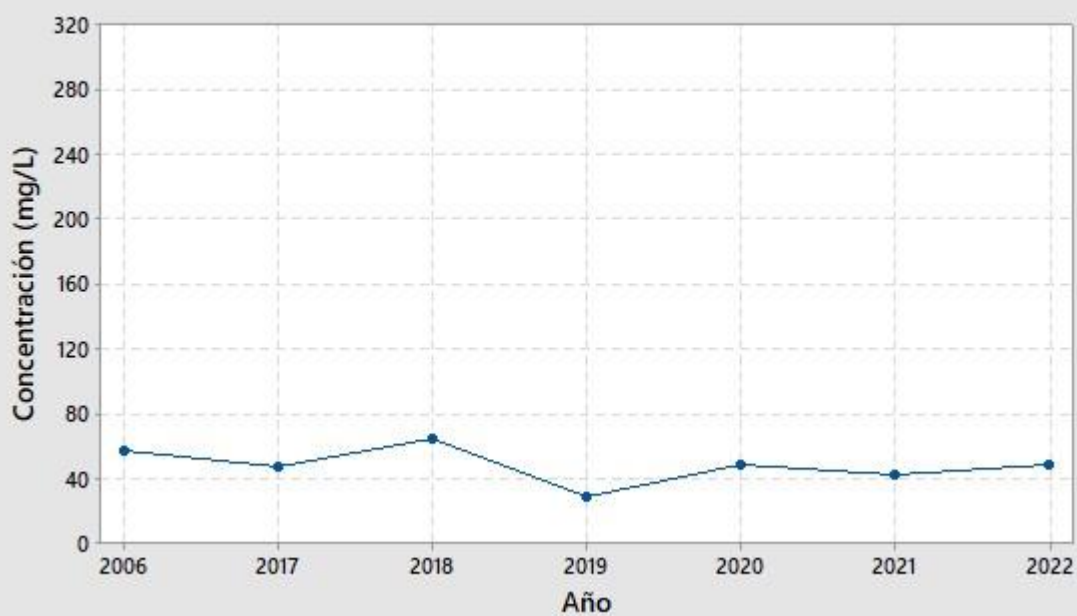


DUREZA TOTAL POZO SALVADOR PARTIDA

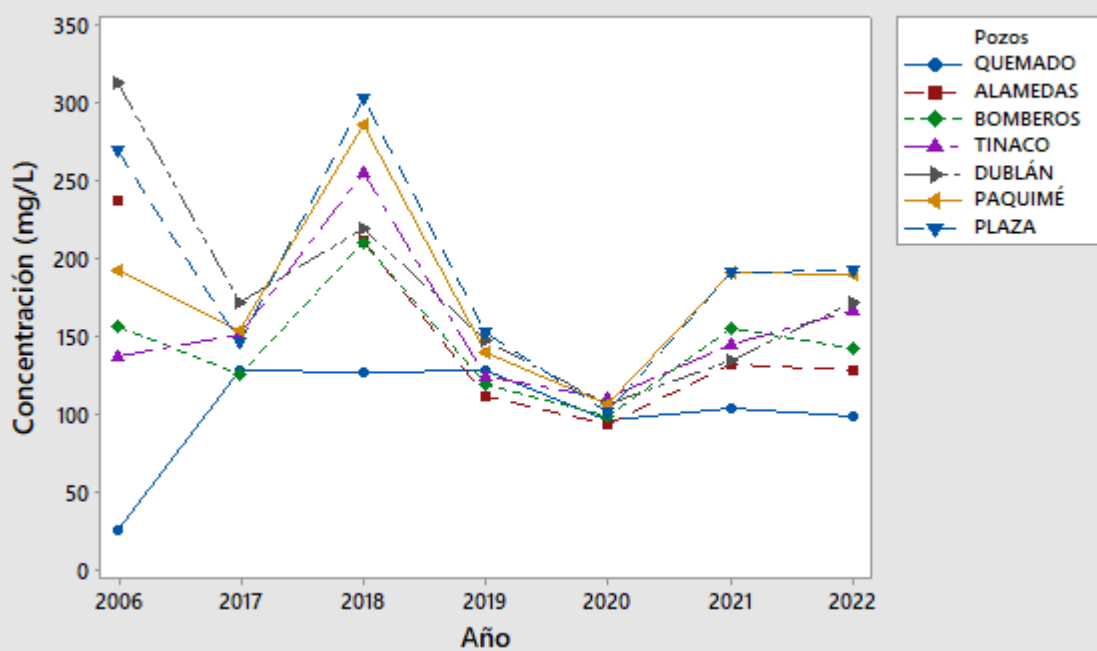


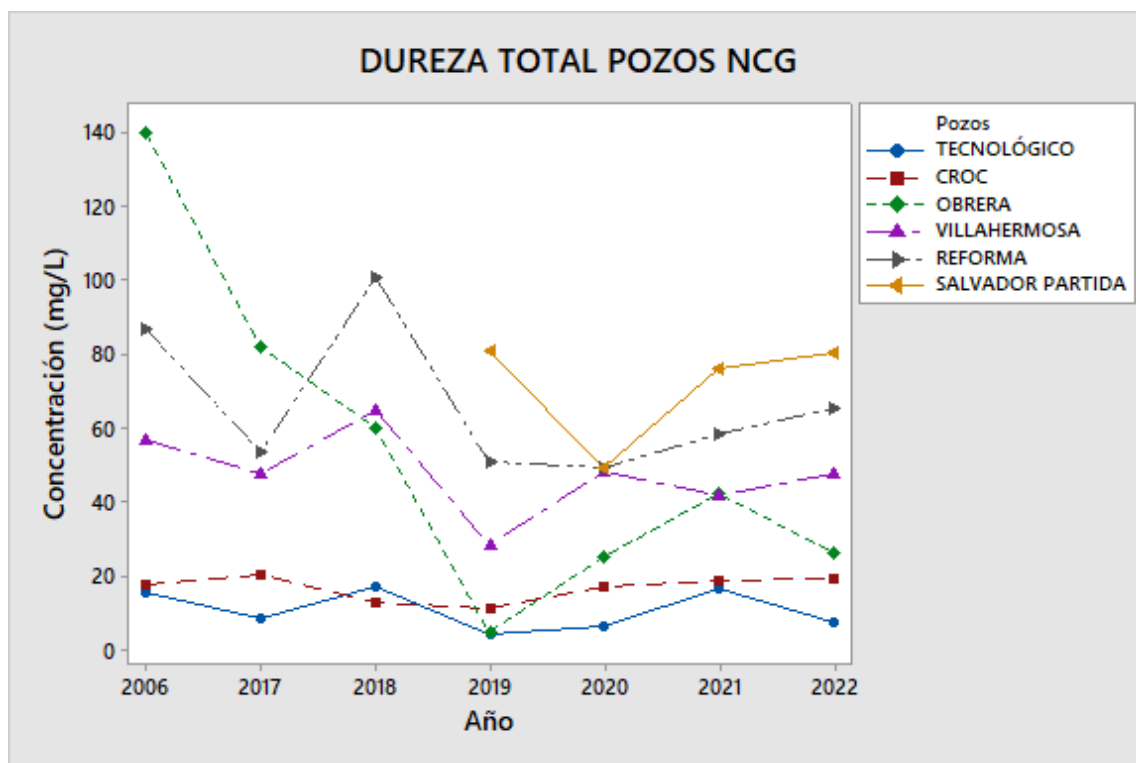


DUREZA TOTAL POZO VILLAHERMOSA



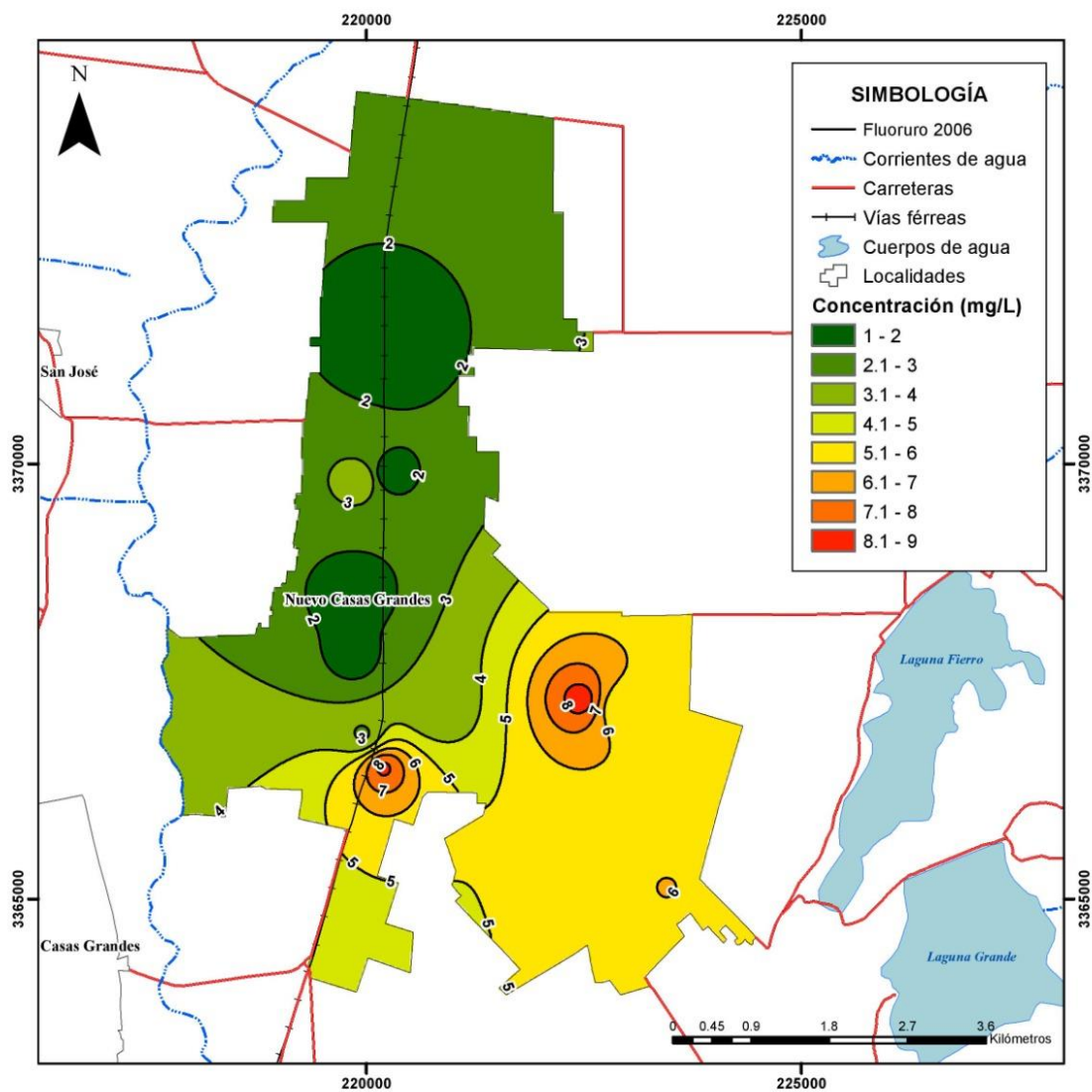
DUREZA TOTAL POZOS NCG



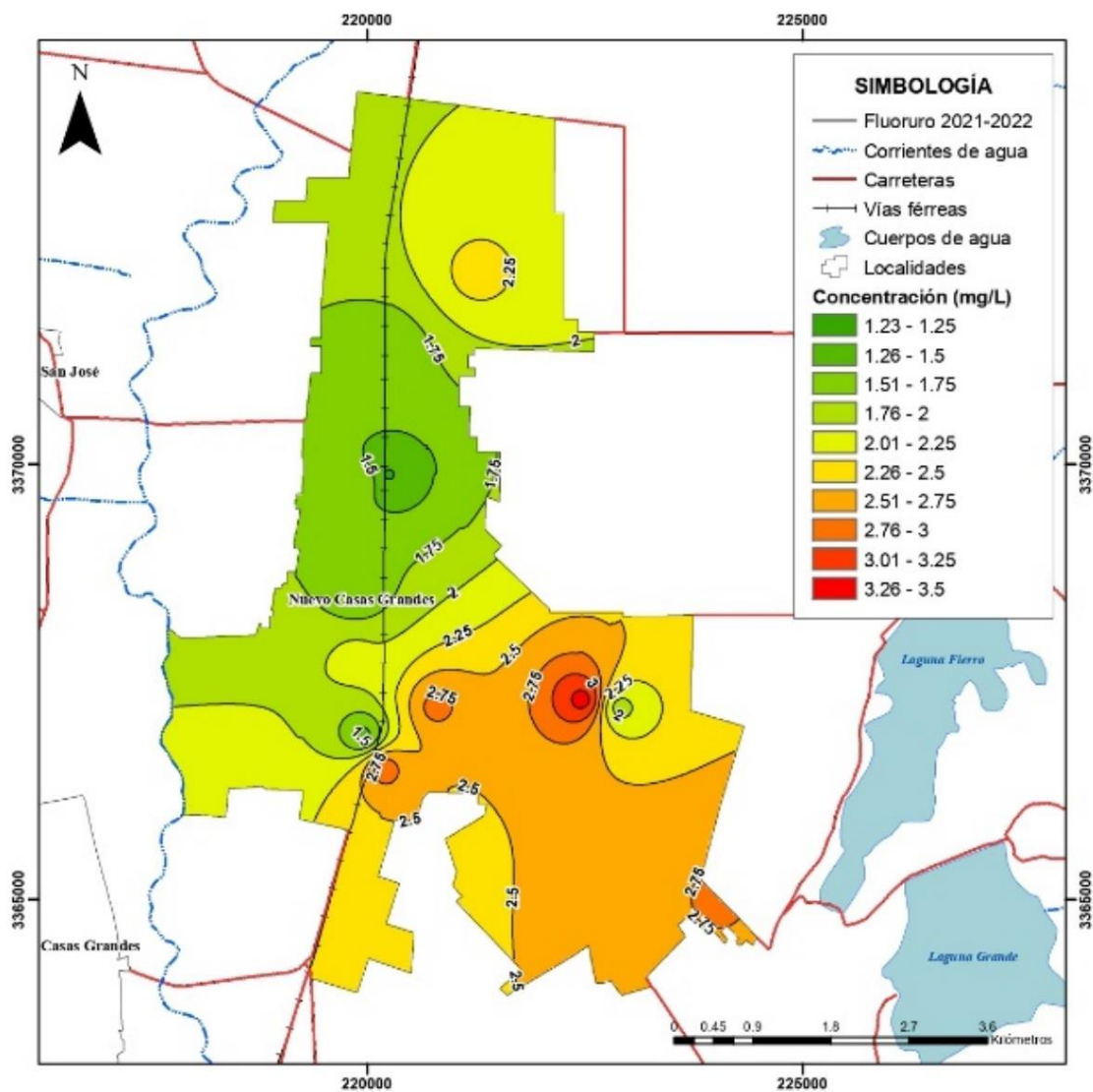


Apéndice G. Planos de concentraciones

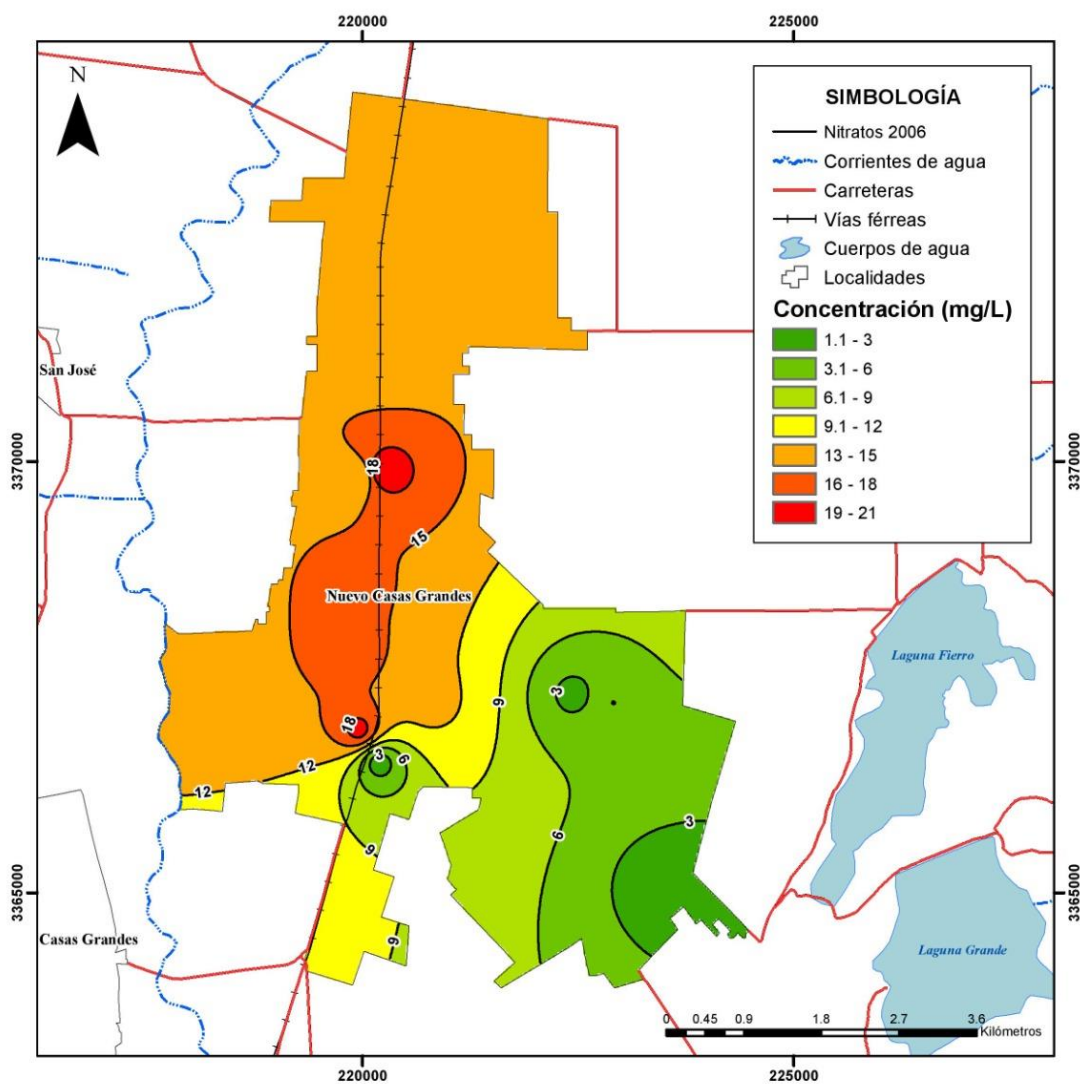
Concentración de fluoruro 2006



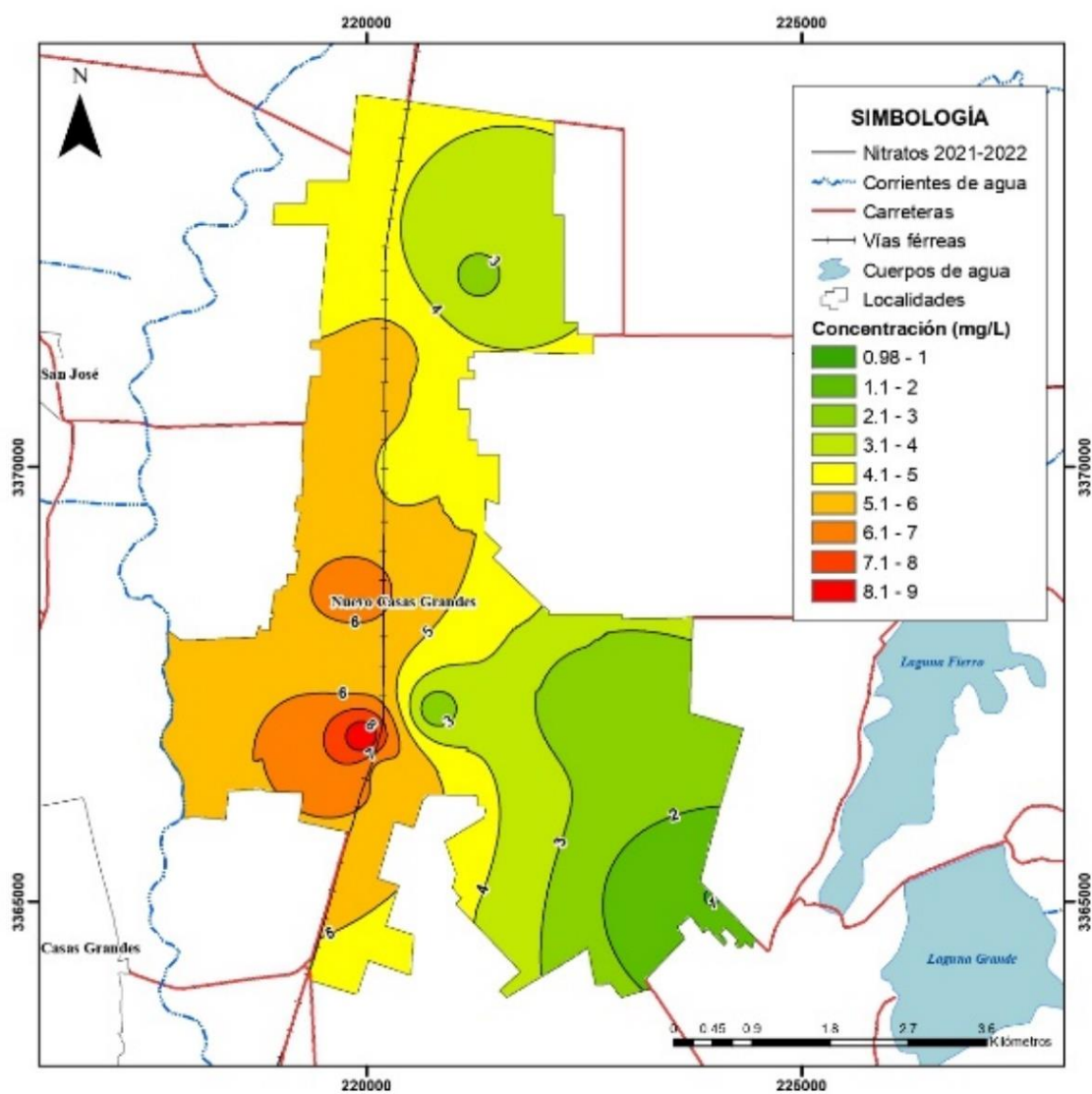
Concentración de fluoruro 2021-2022



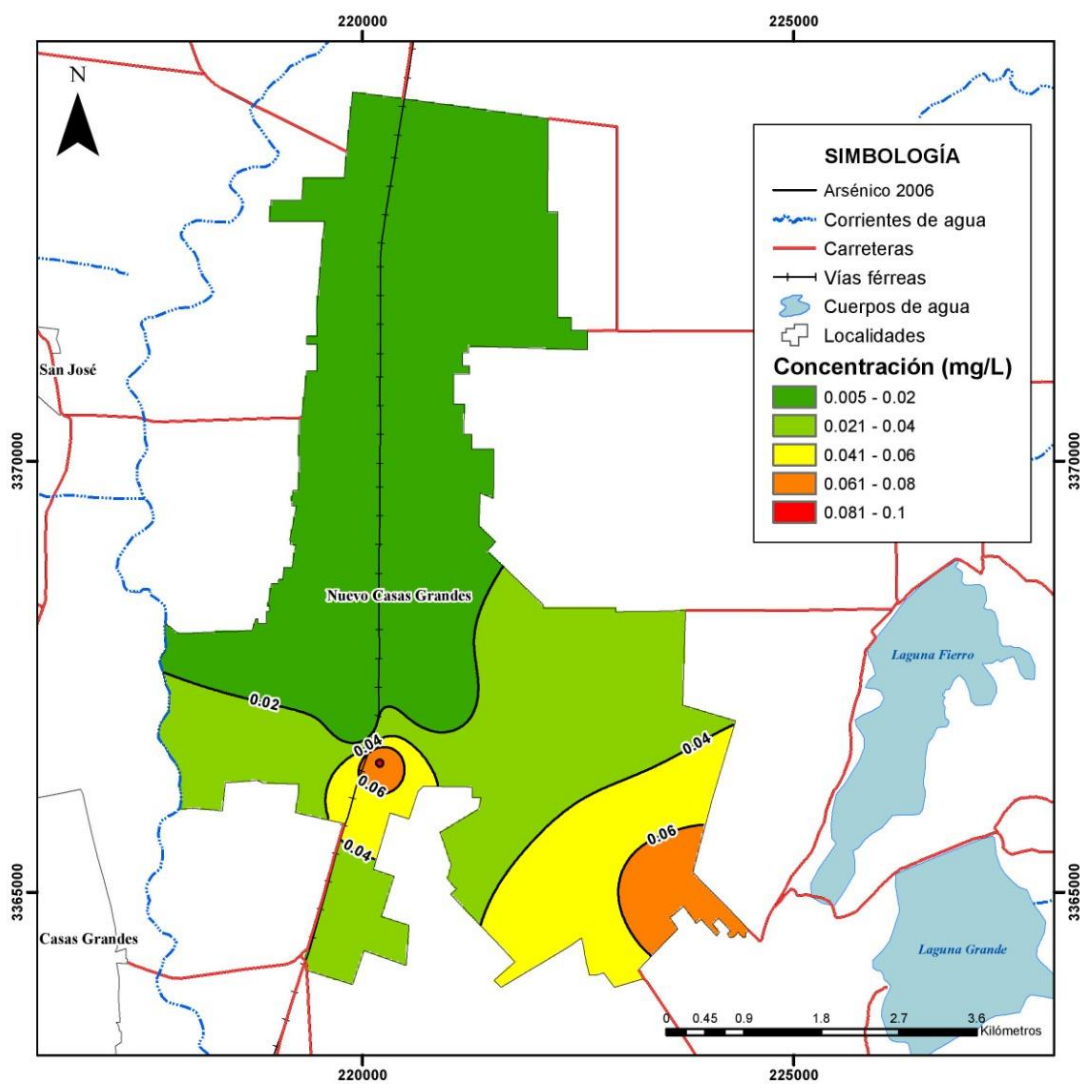
Concentración de nitratos 2006



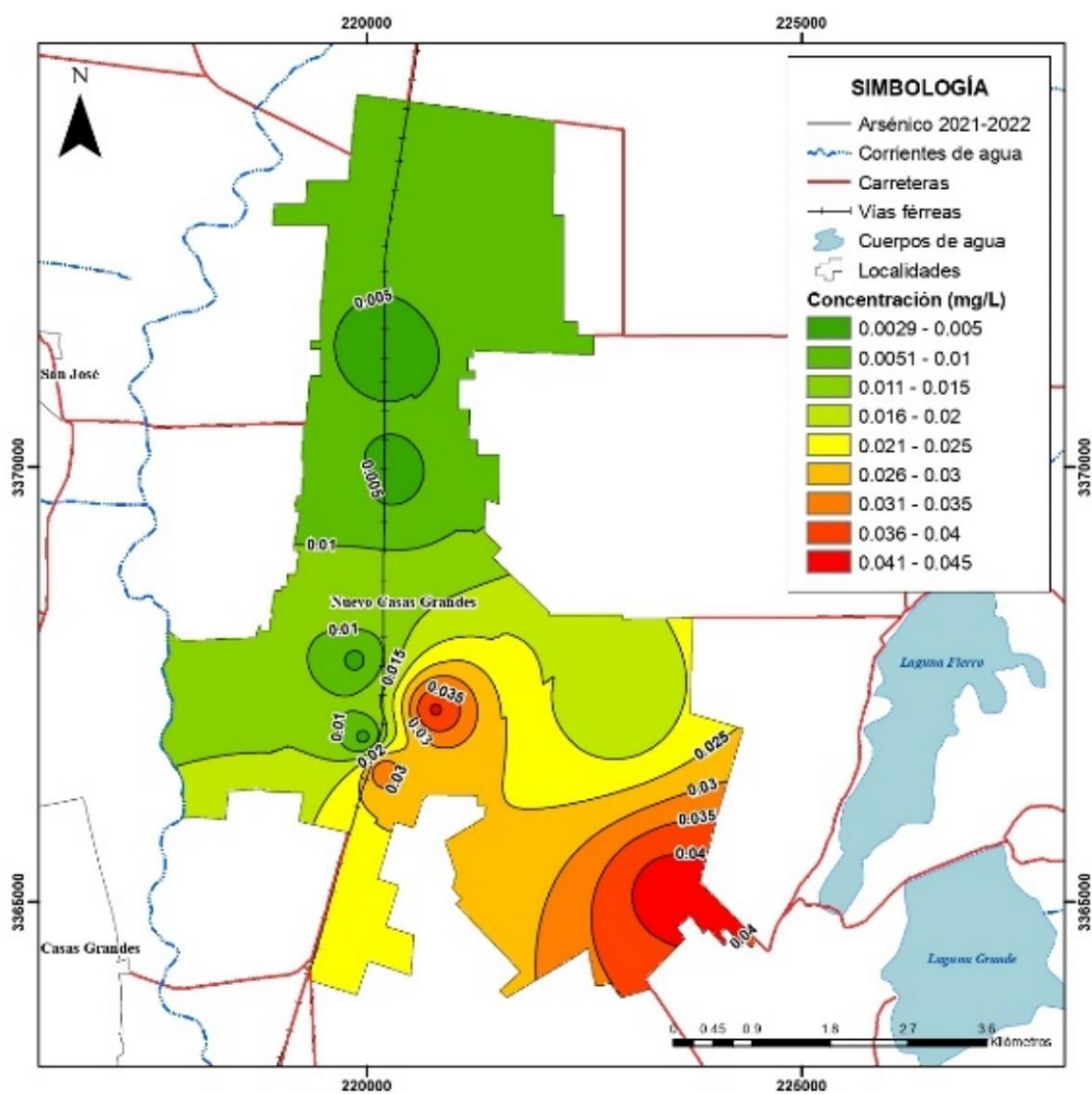
Concentración de nitratos 2021-2022



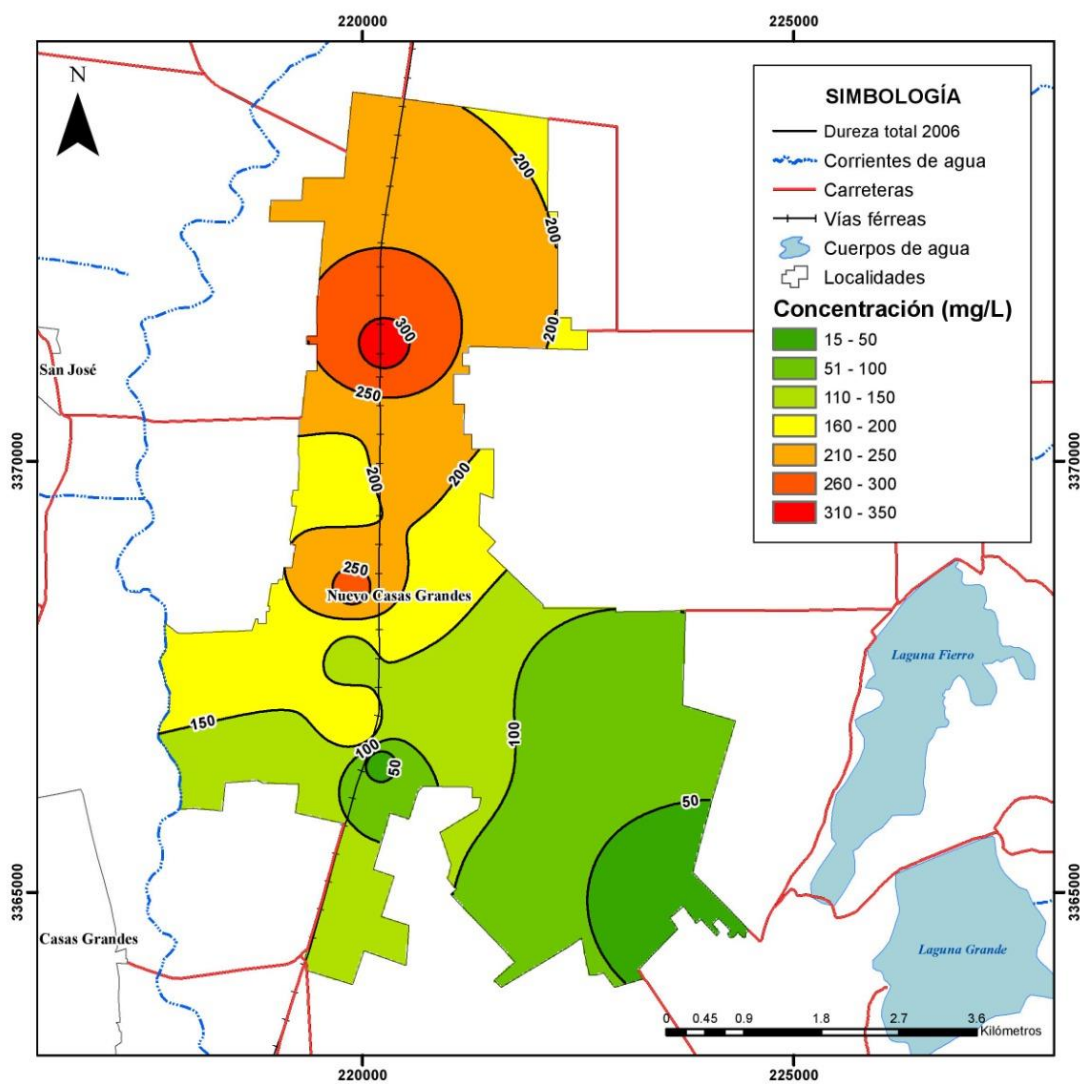
Concentración de arsénico 2006



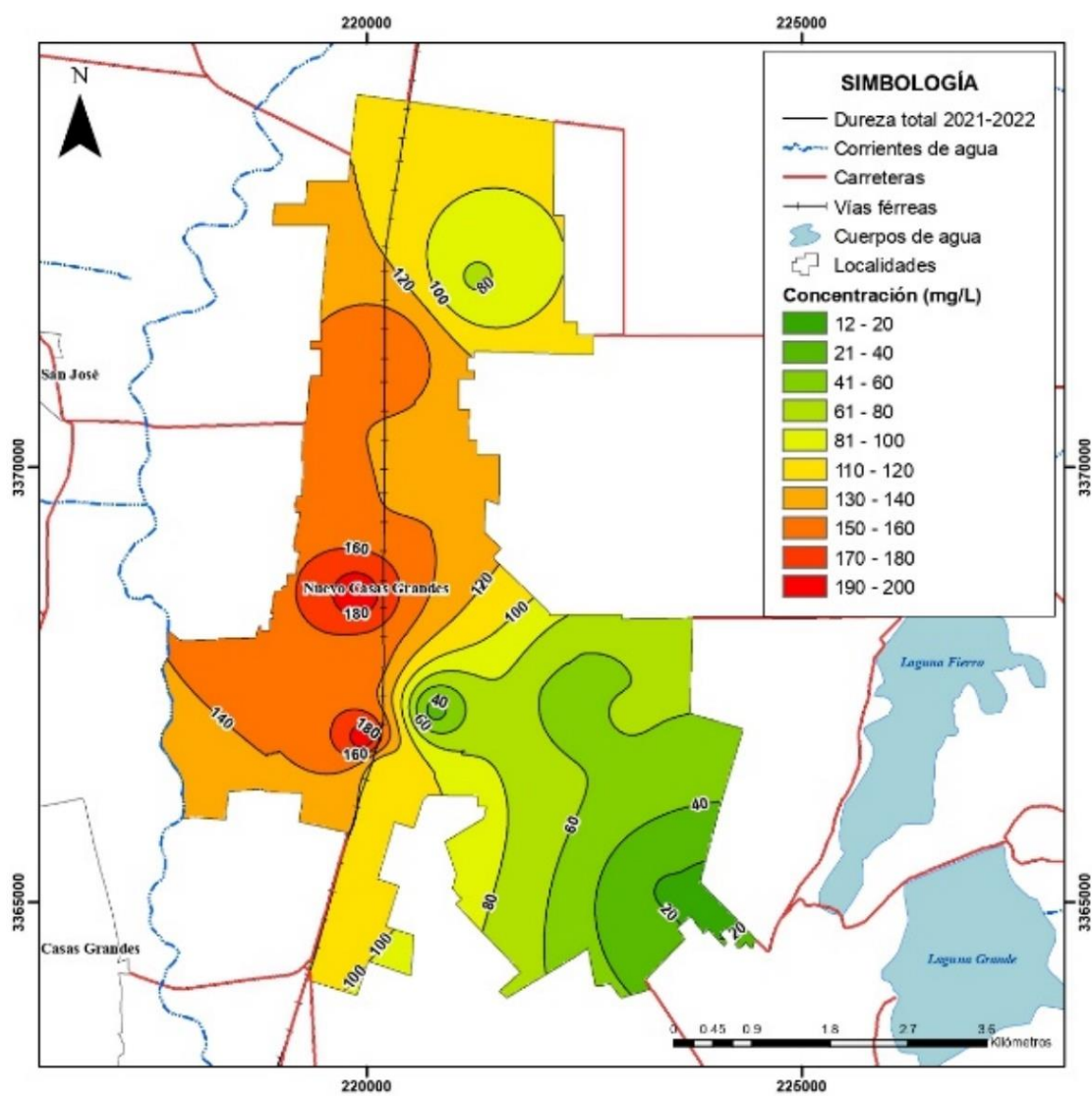
Concentración de arsénico 2021-2022



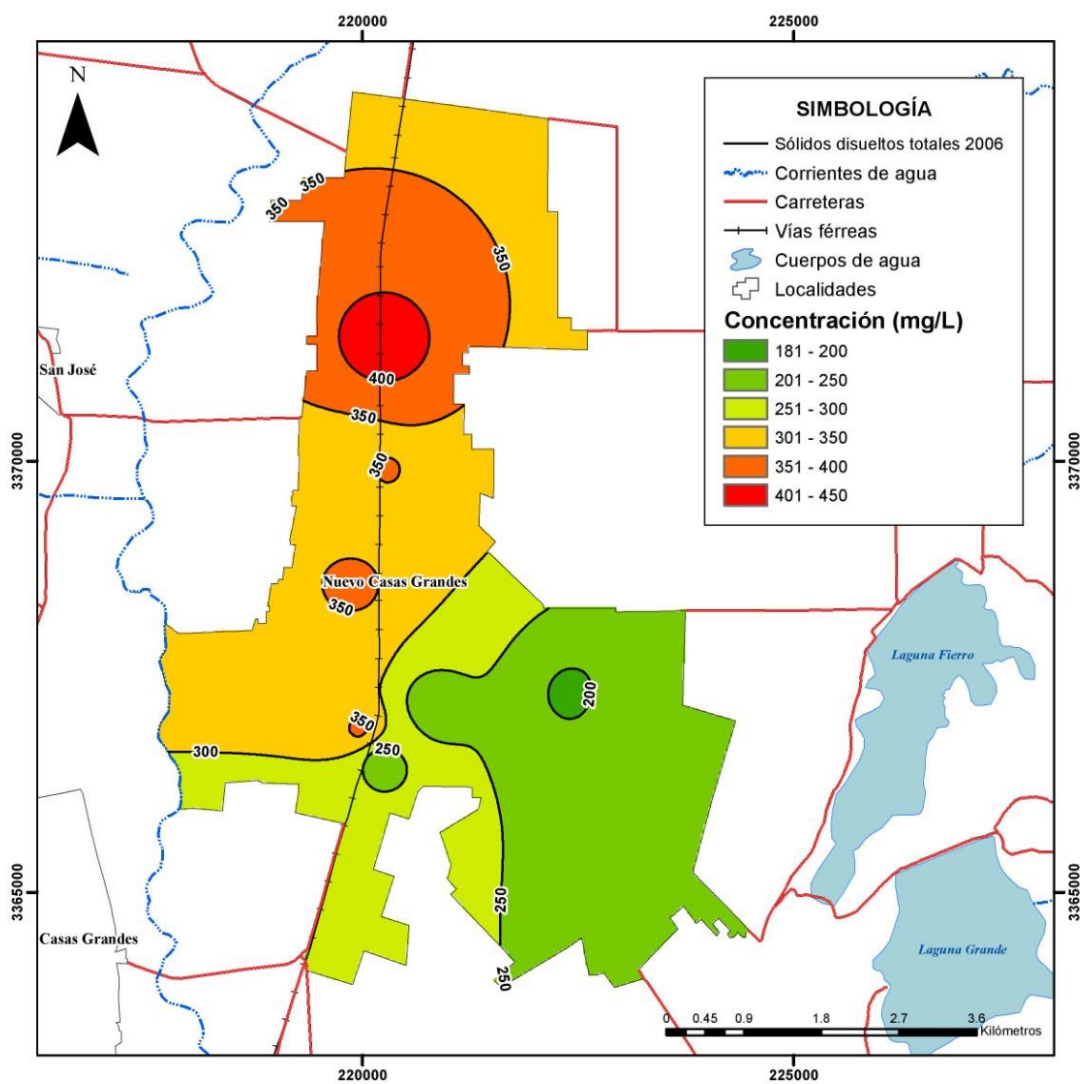
Concentración de dureza total 2006



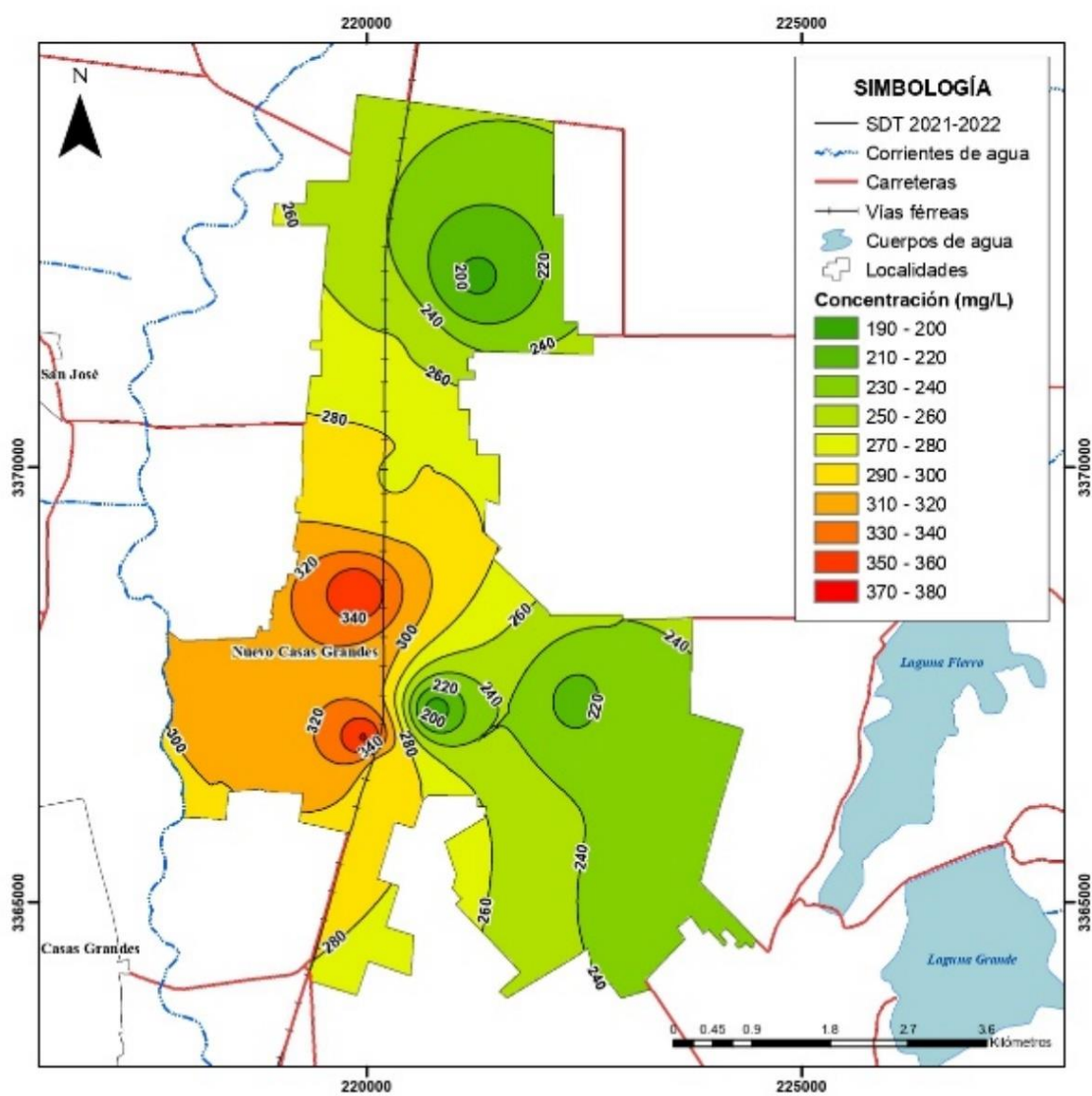
Concentración de dureza total 2021-2022



Concentración de SDT 2006



Concentración de SDT 2021-2022





FLUOR (mg/L)							
POZO	AÑO						
	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TINACO	1.42	0.96	1.665	1.84	1.775	2.055	2.05
PLAZA	1.13	2.07	1.215	0.955	1.2	1.775	1.31
BOMBEROS	3.75	3.36	2.345	1.935	1.175	2.165	1.055
ALAMEDAS	1.31		1.27	1.105	1.115	1.36	1.105
DUBLÁN	1.01	1.16	2.035	0.595	0.98	2.06	1.21
SALVADOR PARTIDA				1.85	5.05	3.16	1.48
VILLAHERMOSA	8.5	6.6	8.475	1.98	7.88	1.595	5.06
REFORMA	5.2	4.94	6.345	1.725	4.45	1.605	2.24
TECNOLÓGICO	5.15	4.91	3.81	3.81	4.19	2.01	3.575
CROC	6.05	5.85	6.66	1.97	5.335	1.705	3.715
OBRERA	3	1.58	7.74	2.665	6.6	1.47	4.175
QUEMADO	8.2	4.78	3.5	2.12	3.49	2.06	3.69
PAQUIMÉ	2.85	1.1	2.225	1.175	2.23	1.12	1.77

NITRATOS (mg/L)							
POZO	AÑO						
	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TINACO	16.91	4.5	2.45	1.95	3.25	2.95	7.35
PLAZA	16.02	4.52	2.665	1.85	3.7	4.85	8.45
BOMBEROS	12.015	4.3	3.34	1.805	3.45	3.95	7.9
ALAMEDAS	20.915		2.13	1.705	2.35	3.55	5.3
DUBLÁN	12.46	3.3	0.55	2.17	3.3	5.85	4.5
SALVADOR PARTIDA				0.845	1.3	2.135	3.6
VILLAHERMOSA	2.0025	1.6	0.7	0.23	1.25	2.05	2.7
REFORMA	6.0075	2.25	1.41	0.925	1.85	2.35	3
TECNOLÓGICO	1.1125	0	0.5	0.31	0.85	1	0.95
CROC	1.78	0.54	1.8	0.695	1.25	1.05	1.6
OBRERA	12.905	2.63	0.8	0.145	0.2	3.45	1.5
QUEMADO	1.5575	5.6	0.9	2.575	3.7	4.7	6.85
PAQUIMÉ	19.135	6.54	2.4	2.435	5.3	6.15	11.25



ARSENICO (mg/L)							
POZO	AÑO						
	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TINACO	0.005	0.014	0.0035	0.0431	0.00375	0.0058	0.00265
PLAZA	0.005	0.007	0.0026	0.00225	0.0026	0.0237	0.0038
BOMBEROS	0.015	0.007	0.0062	0.0052	0.005	0.00725	0.00405
ALAMEDAS	0.005		0.00305	0.00245	0.0032	0.0034	0.00235
DUBLÁN	0.005	0.002	0.00295	0.00145	0.0021	0.00415	0.00235
SALVADOR PARTIDA				0.0184	0.0143	0.0103	0.0029
VILLAHERMOSA	0.038	0.019	0.02505	0.02715	0.0257	0.0233	0.0158
REFORMA	0.028	0.014	0.01835	0.01535	0.01525	0.018	0.0123
TECNOLÓGICO	0.073	0.036	0.0203	0.03745	0.03885	0.0413	0.0435
CROC	0.064	0.031	0.04145	0.0355	0.03865	0.0413	0.04385
OBRERA	0.008	0.017	0.03	0.0353	0.035	0.04075	0.04025
QUEMADO	0.081	0.004	0.0195	0.0167	0.0141	0.0177	0.0481
PAQUIMÉ	0.008	0.003	0.0051	0.0039	0.00385	0.0051	0.00315

DUREZA TOTAL (mg/L)							
POZO	AÑO						
	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TINACO	136.73	151.71	256.04	123.855	110.35	144.41	167.17
PLAZA	269.37	145.5	303.35	152.155	101.3	191.715	192.565
BOMBEROS	156.12	125.91	210.78	118.895	98.8	155.185	142.66
ALAMEDAS	237.97		211.58	111.205	93.2	132.34	128.015
DUBLÁN	313.6	172.08	219.905	146.785	106.45	135.055	172.155
SALVADOR PARTIDA				81.155	49.3	76.28	80.26
VILLAHERMOSA	56.92	47.53	64.635	28.5	48.15	41.66	47.745
REFORMA	87.01	53.54	100.655	50.735	49.3	58.37	65.23
TECNOLÓGICO	15.27	8.34	16.98	4.3	6.35	16.805	7.61
CROC	17.43	20.56	12.535	11.065	16.9	18.815	19.33
OBRERA	139.89	82.26	59.96	4.5	25	42.465	26.325
QUEMADO	25.2	128.04	126.99	128.505	96.45	103.355	98.62
PAQUIMÉ	191.73	153.26	286.48	140.085	106	190.71	190.02



SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L)							
POZO	AÑO						
	2006	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TINACO	324	319	285	364	300	330	309.5
PLAZA	367	326	344.5	354	217.5	389.5	328.5
BOMBEROS	310	294	178.5	279	160	295	294
ALAMEDAS	357		248.5	259	150	258	292
DUBLÁN	428	337	262	324	218	238.5	282.5
SALVADOR PARTIDA				194	152	204	189
VILLAHERMOSA	181	184	217	228	136	198	219.5
REFORMA	234	221	241	246	137.5	218.5	260
TECNOLÓGICO	211	235	230	284	114	220	234.5
CROC	213	230	233.5	239	130.5	219.5	230
OBRERA	221	220	223.5	209	39	184	199
QUEMADO	227	316	162	331	168	289.5	272.5
PAQUIMÉ	358	335	324	402	131	352.5	369.5



Curriculum Vitae

Flor Dayana Nevárez Pérez es Ingeniera Geóloga por la Universidad Autónoma de Chihuahua (2019) y candidata a Maestra en Ingeniería en Hidrología en la misma institución (2025). Su trayectoria profesional abarca auditorías, supervisión de calidad, consultoría geológica y docencia.

Ha trabajado como Consultora Externa en Geología, asesorando en estudios geofísicos y sistemas de información geográfica (SIG), y como Ingeniera de Campo para la UACH en conjunto con la Junta Central de Agua y Saneamiento, liderando brigadas de medición piezométrica en el estado de Chihuahua.

Su experiencia docente incluye la impartición de clases de geografía en nivel secundaria, además de participar como expositora en diversas conferencias y eventos académicos, abordando temas de hidrología, eutrofización y desarrollo sostenible en instituciones como la Universidad del Valle de México y el Gobierno del Estado de Chihuahua. Asimismo, ha sido parte del staff de Women In Mining en la Conferencia Internacional de Minería.

Ha realizado publicaciones y presentaciones en temas de impacto ambiental, calidad del agua y geología aplicada. Entre sus competencias destacan el manejo de herramientas SIG, AutoCAD, ArcGIS y software de análisis geológico, así como la elaboración de informes técnicos en español e inglés.

Para contacto, se puede comunicar a nevarez2812@gmail.com.

Esta tesis/disertación fue mecanografiada por Ing. Flor Dayana Nevárez Pérez.