

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

---



**“EVOLUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA  
PRESENCIA DE NITRATOS EN EL ACUÍFERO MEOQUI-  
DELICIAS, CHIHUAHUA”**

POR:

**I.G. MIRIAM NAYELI VILLALOBOS GUTIÉRREZ**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN INGENIERÍA EN HIDROLOGÍA**

**CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO**

**DICIEMBRE DE 2021**



Tesis “Evolución espacial y temporal de la presencia de nitratos en el acuífero Meoqui-Delicias, Chihuahua” presentada por Miriam Nayeli Villalobos Gutiérrez como requisito parcial para obtener el grado maestro en hidrología, ha sido aprobado y aceptado por:

---

**M.I. Javier González Cantú**  
Director de la Facultad de Ingeniería

---

**Dr. Alejandro Villalobos Aragón**  
Secretario de Investigación y Posgrado

---

**M.J. Miguel Ángel González Núñez**  
Coordinador Académico

---

**Dra. María Socorro Espino Valdés**  
Directora de Tesis

---

**DICIEMBRE DE 2021**

Fecha

Comité:

**Director de tesis:** Dra. María Socorro Espino Valdés

**Director externo de tesis:** Dra. Mélida Gutiérrez Quiroz

**Revisor:** Dr. Alejandro Villalobos Aragón

**Revisor:** Dr. Humberto Silva Hidalgo

© Derechos Reservados  
**Miriam Nayeli Villalobos Gutiérrez**  
Universidad Autónoma de Chihuahua  
Chihuahua, Chih. México  
DICIEMBRE 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

22 de noviembre de 2021.

**ING. MIRIAM NAYELI VILLALOBOS GUTIÉRREZ**

Presente.-

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Hidrología, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por la directora **Dra. Maria Socorro Espino Valdés** para que lo desarrolle como tesis, con el título: **“EVOLUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA PRESENCIA DE NITRATOS EN EL ACUÍFERO MEOQUI-DELICIAS, CHIHUAHUA”**.

### Índice de Contenido

**Dedicatoria**  
**Agradecimientos**  
**Resumen**

#### **Capítulo I: Introducción**

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Justificación
- 1.3 Objetivos

#### **Capítulo II: Descripción de Área de Estudio**

- 2.1. Delimitación geográfica
- 2.2. Clima.
- 2.3. Flor y fauna
- 2.4. Fisiografía
- 2.5. Geología
- 2.6. Estratigrafía
- 2.7. Geología estructural
- 2.8. Hidrología Superficial
- 2.9. Hidrología subterránea
- 2.10 Hidrogeología

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
Circuito No.1, Campus Universitario 2  
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125  
Tel. (614) 442-95-00  
[www.fing.uach.mx](http://www.fing.uach.mx)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

**Capítulo III: Metodología**

**Capítulo IV: Resultados**

**Capítulo V: Conclusión**

**Bibliografía**

**ATENTAMENTE**  
**"Naturam subiecit aliis"**

EL DIRECTOR

FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
U.A.CH.

EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN  
Y POSGRADO

M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ



DR. ALEJANDRO VILLALOBOS ARAGÓN

DIRECCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Circuito No.1, Campus Universitario 2  
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125  
Tel. (614) 442-95-00  
[www.fing.uach.mx](http://www.fing.uach.mx)

# DEDICATORIA

*A Dios...*

*A mis padres, por ser mi base y el mejor ejemplo de esfuerzo  
y fortaleza, por su apoyo incondicional y ser mi motivación.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermanos por mi apoyo e impulsarme a seguir cumpliendo mis metas, por ser una base sólida en la cual sostenerme.

Dra. María Socorro Espino Valdés, directora de tesis, por su paciencia, su apoyo, por confiar en mí y por todos los conocimientos adquiridos a lo largo de este proyecto, de igual manera a la Dra. Melida Gutiérrez Quiroz, directora externa, por estar al pendiente de la realización de este trabajo, a ambas por aportar recursos para que este proyecto pudiera llevarse a cabo.

A mis sinodales el Dr. Alejandro Villalobos Aragón por su apoyo, disposición y constancia, y al Dr. Humberto Silva Hidalgo por sus conocimientos compartidos en clase.

A los compañeros que conformaron las brigadas de campo Daniel Rodríguez Lozano y Alejandro Hernández Hernández, por su disposición y apoyo en la recolección de muestras por las diferentes localidades.

A todas las personas que de alguna u otra manera me brindaron su apoyo durante el transcurso de esta investigación, directa o indirectamente.

## RESUMEN

El acuífero Meoqui-Delicias, localizado en la porción centro-sur del estado de Chihuahua, ha presentado concentraciones por encima del límite máximo permisible para agua potable por la Mod. NOM-127 en ciertos elementos como flúor, nitratos e incluso arsénico. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud la presencia de nitratos y nitritos en el agua se ha asociado con enfermedades tales como la metahemoglobinemia infantil, por lo que es importante vigilar su presencia en el agua de consumo. Debido a las propiedades físicas de los nitratos éstos no pueden olerse o ser detectados por su sabor, además de ser contaminantes móviles en el agua subterránea. La presencia de los nitratos en aguas subterráneas se asocia con infiltraciones procedentes de fuentes puntuales o dispersas de contaminación por lixiviación de compuestos nitrogenados relacionados con procesos antropogénicos derivados de la aplicación excesiva de fertilizantes o a la filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos que los contienen. La zona con mayor vulnerabilidad a la contaminación en el acuífero Meoqui-Delicias corresponde en superficie al distrito de riego DR-005. Para realizar este estudio se tomaron 63 muestras de agua potable, abarcando las localidades en las cuales se contaba con antecedente de concentración de nitratos mayores a 10 mg/l de  $N-NO_3^-$ . Los resultados de nitratos se compararon con datos históricos de otras campañas de muestreo realizadas en años anteriores. Con base a los resultados obtenidos las muestras se clasificaron en cinco categorías en función de la tendencia que ha tenido la concentración de nitrato con respecto al tiempo en cada localidad. Se encontró que aproximadamente una tercera parte de los pozos analizados presentaron un incremento leve o significativo en dicho parámetro. En cuanto a la evolución espacial, se observó la persistencia del problema de contaminación particularmente en la porción central del municipio de Delicias y el norte de Saucillo, coincidentes con la ubicación de gran cantidad de establos de ganado lechero en el área.



## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN .....	4
INDICE DE FIGURAS .....	7
INDICE DE TABLAS .....	7
I. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Antecedentes .....	10
1.2 Justificación .....	14
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo general .....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
II. DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO .....	16
2.1 Delimitación geográfica.....	16
2.2 Clima.....	17
2.3 Flora y Fauna .....	18
2.4 Fisiografía .....	19
2.5 Geología .....	20
2.6 Estratigrafía .....	21
2.7 Geología estructural.....	23
2.8 Hidrología Superficial .....	23
2.9 Hidrología subterránea .....	24
2.10 Hidrogeología .....	24
2.11 Calidad del agua .....	26
2.12 Aspectos socioeconómicos .....	27
III. METODOLOGÍA.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 Resultados de parámetros de campo .....	34
4.2 Resultados de los análisis y evolución espacial de los nitratos en el acuífero.....	37
4.3 Análisis de tendencias en el tiempo de la concentración de nitratos.....	43
4.4 Consideraciones estadísticas.....	47
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
Bibliografía Consultada .....	53



Anexo 1.....	57
Anexo 2.....	58
Anexo 3.....	67



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa de vulnerabilidad a la contaminación en el Acuífero Meoqui-Delicias (Barrera 2008 y Rascón 2011).....	13
<b>Figura 2</b> Ubicación del acuífero Meoqui-Delicias (CONAGUA, 2020) .....	16
<b>Figura 3</b> Climas dentro del Acuífero Meoqui-Delicias, escala 1:1000 000, Serie I (INEGI, 1987).....	17
<b>Figura 4 A:</b> Cultivos de riego, región del Distrito de Riego 005, Delicias. <b>B:</b> Corrales de ganado de la zona de estudio.....	18
<b>Figura 5</b> Localización del acuífero M-D con respecto a la Provincia fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte (INEGI, 1991).....	19
<b>Figura 6</b> Mapa geológico acuífero Meoqui-Delicias, (CONAGUA, 2020). .....	20
<b>Figura 7</b> Columna estratigráfica, Carta geológico minera de Delicias Chihuahua, H13-11 (SGM, 2000).....	22
<b>Figura 8</b> Ganado lechero y de engorda. ....	28
<b>Figura 9</b> Centro de ciudad Delicias, Chihuahua.....	28
<b>Figura 10</b> Localización de muestras de campo, acuífero Meoqui-Delicias .....	30
<b>Figura 11.</b> Recolección de muestras en campo y muestras etiquetadas .....	31
<b>Figura 12.</b> Recolección de datos de campo. Zonda Multiparamétrica portátil .....	32
<b>Figura 13 A:</b> Colorímetro HACH DR/890. <b>B:</b> Muestras con reactivo y muestras “blanco”. .	32
<b>Figura 14</b> Isolíneas de concentración de $N-NO_3^-$ , acuífero Meoqui-Delicias 2003. ....	38
<b>Figura 15</b> Isolíneas de concentración de $N-NO_3^-$ , acuífero Meoqui-Delicias 2006. ....	40
<b>Figura 16</b> Isolíneas de concentración de $N-NO_3^-$ , acuífero Meoqui-Delicias 2020. ....	42
<b>Figura 17</b> Tendencia de concentración de nitratos en acuífero Meoqui-Delicias, año 2020 .....	46
<b>Figura 18</b> Grafica de frecuencia de datos, concentración de $N-NO_3^-$ 2003.....	47
<b>Figura 19</b> Grafica de frecuencia de datos, concentración de $N-NO_3^-$ 2006 .....	48
<b>Figura 20</b> Grafica de frecuencia de datos, concentración de $N-NO_3^-$ 2020.....	49

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Características de permeabilidad de las unidades geológicas (CNA, 2020) .....	25
<b>Tabla 2</b> Coordenadas de pozos seleccionados para muestreo en campo. ....	29
<b>Tabla 3</b> Datos recolectados en campo, campaña 2020, pozos de agua potable acuífero Meoqui-Delicias.....	35
<b>Tabla 4</b> Resultado de pendiente de línea de tendencia para cada pozo del acuífero Meoqui-Delicias.....	43



# I. INTRODUCCIÓN

La exposición por medio del agua de consumo a ciertas sustancias químicas como el fluoruro, el arsénico y el nitrato produce efectos nocivos para la salud. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2011), la presencia de nitratos y nitritos en el agua se ha asociado con la metahemoglobinemia, sobre todo en niños lactantes alimentados con biberón. Este padecimiento se asocia con la dificultad del transporte del oxígeno por la hemoglobina de la sangre al organismo. Altos niveles de metahemoglobina en los lactantes (> 10%) pueden dar lugar a la cianosis, conocida como el síndrome del bebé azul (OMS, 2011).

Los nitratos son iones formados por tres átomos de oxígeno y uno de nitrógeno, con una carga negativa ( $\text{NO}_3^-$ ). Debido a sus propiedades físicas no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas es detectada cuando se manifiesta un problema de salud (Heaton, 1985).

Los nitratos son contaminantes móviles en el agua subterránea, por lo que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral. Estos dos factores permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble, los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la sub-superficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas (Freeze & Cherry, 1979).

Es difícil precisar el origen de la contaminación por nitratos debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas puede ser un resultado de procesos naturales tales como la precipitación, el intemperismo de los minerales y descomposición de la materia orgánica (Heaton, 1985). Aunque la presencia de elementos ajenos al agua subterránea generalmente está asociada a los ambientes geológicos que forman el acuífero, en el caso de los nitratos, éstos están relacionados a procesos antropogénicos los cuales se derivan de la aplicación excesiva de fertilizantes o a la filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos que contienen compuestos nitrogenados (Miguel-Fernández & Vázquez-Taset, 2006; OMS, 2011).

De acuerdo con Pacheco & Calabera (2003) los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos.

Mientras que la contaminación por nitratos proveniente de fuentes puntuales se origina de diversos medios tales como efluentes de tanques sépticos y depósitos de excretas, la contaminación no puntual se distribuye en amplias áreas como son los campos donde los fertilizantes nitrogenados han sido aplicados (Pacheco & Calabera, 2003).



También se ha considerado como responsable del aumento de nitratos en el agua en los últimos años a las emisiones industriales, aunque éstas suelen ser muy puntuales. Lo más preocupante es la contaminación por nitratos provenientes de la agricultura y ganadería intensivas. Estas actividades generan grandes cantidades de abonos químicos a los que se suman los residuos de los excrementos animales. Cuando estos compuestos se encuentran en cantidades demasiado altas para que sean absorbidos por las plantas, se infiltran a través del suelo y alcanzan las aguas subterráneas, contaminando pozos y acuíferos (Palomares, 2013).

La infiltración de nitratos al agua subterránea es un proceso complejo que depende de muchos factores como el uso y características del suelo, carga de nitrógeno presente en el mismo, zonas de recarga de agua subterránea y la profundidad del nivel freático. Debido a su gran movilidad en el agua, estos iones se infiltran fácilmente hacia los acuíferos y, por lo tanto, constituyen el contaminante químico más encontrado en los cuerpos de agua (Montiel, Armienta, Rodríguez, & Domínguez, 2014), especialmente en acuíferos ubicados en zonas áridas (Gutiérrez *et al.*, 2018).

El único control del nitrato por debajo de la superficie es la reducción del nitrato o denitrificación. La reducción del nitrato es una reacción natural en la cual el nitrato es reducido a gases de nitrógeno, menos peligrosos, por la acción de bacterias anaerobias. En donde esta reducción no ocurre, los nitratos que persisten en los abastecimientos de agua son un riesgo (Pacheco & Calabera, 2003).

El acuífero Delicias-Meoqui abastece de agua para fines agrícolas, domésticos e industriales a una vasta región del estado de Chihuahua. Una parte del área suprayacente del acuífero Meoqui-Delicias corresponde al Distrito de Riego-005, una de las obras hidroagrícolas más importantes de México que cuenta con una superficie total de 80,103 ha destinada a fines agrícolas. El DR-005 pertenece a la Región Hidrológica 24 Río Bravo y particularmente a la cuenca del Río Conchos (CNA, 2002). En esta región se realiza la producción de cultivos que incluyen trigo, maíz, alfalfa, sorgo, soja, chiles, cebollas, nueces y hortalizas. Las actividades agrícolas típicas incluyen el uso de compuestos de nitrógeno y fosfato como fertilizantes, tales como amoníaco anhidro, urea y fosfato de amonio. Las dosis varían entre 100 y 270 kg/ha (INEGI, 1999; Gutiérrez *et al.*, 2021).

Estudios anteriores (Barrera, 2008; Rascón, 2011) revelaron la presencia de nitratos en concentraciones por encima del límite máximo permisible en agua de consumo (10 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L) establecido por la norma mexicana para agua potable (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994), en varias localidades rurales y urbanas ubicadas en el área del acuífero Meoqui-Delicias. En dichas investigaciones se encontró en el municipio de Delicias el mayor número de fuentes de agua potable que presentan contaminación por nitratos (Espino-Valdés, Navarro-Gómez, & Royo-Ochoa, 2011).



Las consecuencias asociadas a la contaminación del agua subterránea por nitratos pueden repercutir sobre la salud de las comunidades a corto, mediano o largo plazo; de aquí la necesidad de tomar medidas a fin de disminuir la polución por los mismos (Larios, 2009).

## 1.1 Antecedentes

A nivel mundial, el tema de la contaminación por nitratos en el agua subterránea ha cobrado gran interés, por lo que se han realizado diversas investigaciones. Mutewekil, Muheeb & Hussein (2013) estudiaron el impacto de una planta de tratamiento de aguas residuales en el agua subterránea al norte de Jordania. Se encontró que el 71% de las muestras analizadas superaban la concentración de 20 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , considerada como indicador de contaminación por actividades humana, mientras que el 50% superaban concentraciones de 50 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , valor de referencia establecido por la Organización Mundial de la Salud. Se concluyó que la planta tratadora de aguas era la principal fuente de contaminación del agua subterránea, en donde la profundidad de ésta, la conductividad hidráulica y la distancia desde la planta fueron factores definitivos para la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.

Hernández-Espriú *et al.* (2013) evaluaron la concentración de nitratos en el acuífero Maresme Norte, localizado a 70 km de Barcelona, España, y se encontraron varias muestras que rebasaban hasta 10 veces el límite permisible sugerido por la Organización Mundial de la Salud (50 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ), con una concentración máxima de 567 mg/l, siendo la concentración media de 137 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ . La contaminación por nitratos se extiende por la mayoría de los sistemas de aguas subterráneas de Cataluña, principalmente debido al uso excesivo de fertilizantes agroquímicos.

En la República Mexicana se han realizado estudios para el análisis del agua subterránea de diferentes acuíferos del país, y de esta forma llegar a conocer la concentración de distintos elementos, entre ellos la del nitrato.

De acuerdo con Brenes, Cadena y Ruiz-Guerrero (2011) durante un año se monitoreó mensualmente la concentración de nitratos de 16 pozos en el acuífero del Valle de Puebla, México, reportando que el 44% de ellos rebasaban el límite de 10 mg N- $\text{NO}_3^-$ /L establecido por la norma para agua potable en México (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994). Se observó que la concentración de nitrato en algunos pozos estudiados se incrementa cuando inicia el periodo de lluvias; además los pozos con mayores concentraciones de nitrato se ubican en los municipios de mediana a baja altitud.

Por otra parte, en el estado de Chihuahua se han encontrado nitratos en el agua subterránea en concentraciones que exceden a la norma de agua potable. Tal es el caso de algunas fuentes ubicadas en zonas de riesgo agrícola con alta tasa de evaporación, las cuales corresponden al valle de Tabalaopa-Aldama (Mahlknecht *et al.*, 2008). Por otra parte, investigaciones realizadas en fuentes ubicadas en el acuífero Meoqui-Delicias han revelado



también la presencia de nitratos en altas concentraciones (CNA, 2003; Espino *et al.*, 2007; Barrera, 2008; Rascón, 2011; Espino *et al.*, 2011).

El acuífero Meoqui-Delicias está constituido por material aluvial de permeabilidad media a alta. Su recarga ocurre por precipitación pluvial sobre el área y cerros circundantes, retornos de riego y agua de percolación de los ríos Conchos y San Pedro (CNA, 2020). El flujo de agua subterránea coincide con el recorrido de estos ríos, de sur a norte. Cerca de 1000 pozos perforan el acuífero Meoqui-Delicias; la mayoría de ellos, se emplean para riego agrícola. Sin embargo, parte del volumen extraído se utiliza para satisfacer los requerimientos de agua potable de la población que vive en los municipios de Delicias, Meoqui, Julimes, Rosales, Saucillo y La Cruz (Espino *et al.*, 2007).

En un estudio de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2003) se analizaron 115 muestras de agua subterránea en varias localidades del acuífero Meoqui-Delicias, de las cuales un 27% presentó resultados por encima de la norma de agua potable; el mayor valor reportado fue de 34.30 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ , en una localidad del municipio de Saucillo. La ubicación de estos pozos corresponde al Distrito de Riego-005, donde el uso de fertilizantes es una práctica común.

En los resultados de las investigaciones de Barrera (2008) y Rascón (2011) correspondientes a 96 muestras colectadas en el año 2006 en el mismo acuífero, se observan fluctuaciones entre 6.3 y 88.56 mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  (equivalentes a 1.42 y 20 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ ) en la porción norte del acuífero, mientras que en la porción sur, los resultados varían entre 1.12 y 112.1 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  (0.25 y 25.3 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ ). Las localidades que obtuvieron los valores más altos de nitratos se encuentran en las llanuras aledañas al Río Conchos, es decir dentro del Distrito de Riego-005. En el municipio de Delicias los valores se encuentran en un rango de 49 a 88 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  (11.06 a 19.86 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ ), mientras que en el municipio de Meoqui están entre 14.85 mg/L y 68.85 mg/L (3.35 a 15.54 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ ). La concentración más alta obtenida en este estudio fue de 112.1 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  (25.30 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ ), correspondiente a la localidad de Santa Rosa, misma que se ubica en el municipio de Saucillo.

Con el objetivo de identificar el posible origen de los nitratos en el agua subterránea de 17 localidades ubicadas sólo en el municipio de Delicias, Chih. Espino *et al.* (2011) desarrollaron una investigación utilizando la relación isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  comúnmente conocida como desviación isotópica ( $\delta^{15}\text{N}$ ). Se aplicó el criterio reportado por Kendall & McDonnell (1998), de acuerdo con el cual el rango típico de  $\delta^{15}\text{N}$  para fertilizantes sintéticos es de -5 ‰ a + 5 ‰, mientras que los valores observados en desechos animales o humanos son mayores a 10 ‰; los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre 5 ‰ y 10 ‰ pueden indicar un origen orgánico o la mezcla de las fuentes. Con base en el resultado obtenido se determinó que en las localidades del municipio ubicadas en la zona rural, el nitrógeno presente en el agua se debe principalmente a la mezcla de fertilizantes minerales con residuos de origen animal, como pueden ser los provenientes de establos y fosas sépticas del área. Por otra parte, en la



ciudad de Delicias, cabecera del municipio del mismo nombre, el 90% de las fuentes analizadas presentó valores de  $\delta^{15}\text{N}$  superiores a 10 ‰ lo que indica un origen orgánico de los residuos nitrogenados. Lo anterior puede relacionarse con la existencia de antiguas fosas sépticas, la lixiviación de residuos procedentes de establos ganaderos existentes en el área, así como descargas de aguas residuales que se realizan en un dren que atraviesa a la ciudad en dirección sur a norte (Espino *et al.*, 2011).

Con el fin de identificar zonas afectadas o susceptibles de ser afectadas por contaminantes Barrera (2008) y Rascón (2011), realizaron la cuantificación a la vulnerabilidad natural a la contaminación en el acuífero Meoqui-Delicias, implementado el método DRASTIC, el cual clasifica y pondera parámetros intrínsecos (*depth-profundidad del nivel freático, recharge-recarga neta, acuífero- litología del acuífero, soil-tipo de suelo, topography-topografía, impact-litología de la sección subsaturada, hydraulic conductivity-conductividad hidráulica del acuífero*, las cuales forman el acrónimo DRASTIC), que reflejan las condiciones naturales del medio. Este método supone que el contaminante tiene la misma movilidad en el medio que el agua y es aplicable para acuíferos libres y confinados. Una vez evaluados los parámetros correspondientes al acuífero Meoqui-Delicias, se clasificaron 5 zonas de vulnerabilidad (Figura 1) descritas brevemente como:

1) Zona de vulnerabilidad insignificante. Ubicadas en los cerros y sierras del área con pendiente del 6-18%, el nivel estático oscila entre 30 y 80 m de profundidad, además de contar con los volúmenes de recarga más bajos por año, predominando las rocas ígneas preferentemente tobas riolíticas que funcionan como barreras impermeables a profundidad debido a su somero fracturamiento.

2) Zona de vulnerabilidad baja. Con profundidad del nivel estático entre 20 y 30 metros, destaca dentro de los depósitos aluviales, conglomerado polimíctico, calizas al suroeste del área, teniendo además presencia de sedimento lacustre y toba riolítica. La pendiente va aumentando del centro del acuífero hacia el suroeste de 0-26%. El método DRASTIC asocia pendientes altas con vulnerabilidad baja.

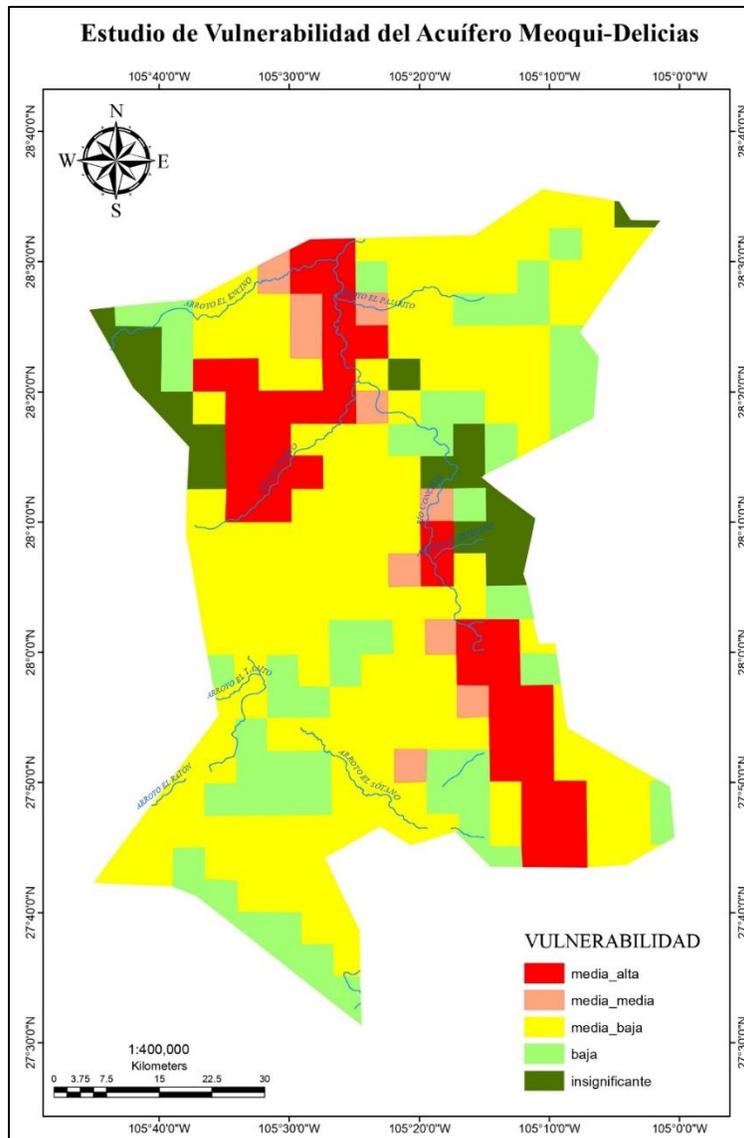
3) La zona media-baja. Se localiza en el centro del valle con pendientes que oscilan de 0 a 2%; en su mayor parte son planicies, lo cual se asocia a una vulnerabilidad alta donde las profundidades del nivel estático presentan gran variación y se manifiestan crecientes en dirección de sureste a noroeste debido a la dirección del flujo subterráneo. El ambiente para estas zonas está representado por depósitos de aluvión, conglomerado polimíctico y abarca la mayoría del acuífero; además en la zona Este, que es donde los rangos de vulnerabilidad de la recarga son más altos, corresponden al Distrito de riego 005.

4) Zona media-media. Se presenta en áreas próximas a los lechos de los ríos que atraviesan la zona de interés, con características como el nivel estático entre 20 y 30 m, recarga promedio anual mayor a 250 mm, favorecida por el Distrito de Riego 005; el ambiente



geológico está conformado por la unidad Grava Conchos conocida por tener una permeabilidad de media a alta, y una pendiente baja de 0 a 2%.

5) Zona con vulnerabilidad media-alta. Se encuentra en su mayoría siguiendo la trayectoria del Río Conchos que atraviesa el valle y en concordancia con la dirección del flujo, con las profundidades del nivel estático más someras entre 5 y 20 m de profundidad y mayor volumen de recarga al acuífero que también coinciden con el DR-005, están albergadas en los depósitos de aluvión de río que van desde una granulometría alta constituida por guijarros y gravas hasta la granulometría fina como arcillas y limos, se encuentran en el lecho de los ríos y en sus llanuras de inundación; estas características facilitan el flujo vertical de contaminantes hacia el acuífero. Topográficamente la pendiente varía de 0 a 2%, por lo que se considera como planicie o valle, lo cual lo clasifica en un rango de vulnerabilidad media-alta.



**Figura 1** Mapa de vulnerabilidad a la contaminación en el Acuífero Meoqui-Delicias (Barrera 2008 y Rascón 2011)



## 1.2 Justificación

En el caso especial del estado de Chihuahua el agua subterránea es el principal recurso hidrológico, tanto para el abastecimiento de agua potable como para el riego industrial y agrícola. El acuífero Meoqui-Delicias está ubicado en la porción centro-este de la región hidrológica RH-24 de la Cuenca del Río Conchos. La lixiviación de residuos nitrogenados se ve favorecida por varios factores, entre ellos la alta permeabilidad del acuífero, la baja pendiente del valle Meoqui-Delicias y la aplicación periódica de grandes cantidades de fertilizantes en el Distrito de Riego-005 (Espino *et al.*, 2007).

La concentración máxima permisible de  $\text{N-NO}_3^-$  en agua de consumo es de 10 mg/L (que equivalen a 44.26 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ) de acuerdo con lo establecido por la Norma Mexicana para agua potable (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994). Derivados de los estudios anteriores, en la actualidad se cuenta con algunos datos sobre la concentración de nitratos en pozos de agua potable que exceden este valor límite en varias localidades ubicadas en el área del acuífero Meoqui-Delicias; la mayoría de ellas pertenecen al Distrito de Riego-005. Tomando en cuenta la relevancia de esta zona, en la que se realizan actividades de agricultura intensiva, misma que implica el empleo de insumos agrícolas, así como la existencia de posibles fuentes puntuales y difusas de contaminación a partir de desechos orgánicos naturales, se considera importante contar con datos vigentes que permitan conocer el impacto actual de tales factores sobre la concentración de nitratos en dicho acuífero.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

El objetivo central de este trabajo es actualizar los datos y la información referente a la presencia de nitratos dentro del acuífero Meoqui-Delicias, el cual comprende varias comunidades pertenecientes al Distrito de Riego-005, en el estado de Chihuahua, mediante la toma de muestras de agua potable. Al mismo tiempo, realizar la comparación con las bases de datos existentes, con la finalidad de evaluar su evolución con respecto al tiempo.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Actualizar la información sobre el contenido de nitratos en el agua subterránea del área de estudio.
- Realizar un análisis comparativo entre resultados reportados en trabajos anteriormente y los recién obtenidos.
- Realizar el análisis estadístico de todos los datos de concentración de nitratos presentes en el acuífero Meoqui-Delicias utilizando el programa Excel, para determinar la tendencia que han seguido conforme al tiempo.
- Determinar variaciones espaciales de los nitratos en el acuífero con base a los resultados obtenidos.



- Ubicar las áreas con mayor tendencia a sufrir contaminación por nitratos. Esto contribuirá a la definición de estrategias para disminuir el riesgo de contaminación del acuífero.



## II. DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 Delimitación geográfica

El acuífero Meoqui-Delicias se localiza en la porción centro-sur del estado de Chihuahua, México y cubre una superficie de aproximadamente 4,830 km<sup>2</sup> (Figura 2), comprende casi en su totalidad los municipios de Meoqui y Delicias, y de manera parcial los municipios de Rosales, La Cruz, Saucillo y Julimes. Este acuífero tiene la clave 0831 de acuerdo con el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Aguas Subterráneas (SIGMAS).

El acuífero Meoqui-Delicias pertenece a la Región Administrativa VI Río Bravo. Queda comprendido casi en su totalidad el Distrito de Riego (DR) 005 Delicias, quien es el mayor usuario del agua, tanto superficial como subterránea (CNA, 2020).

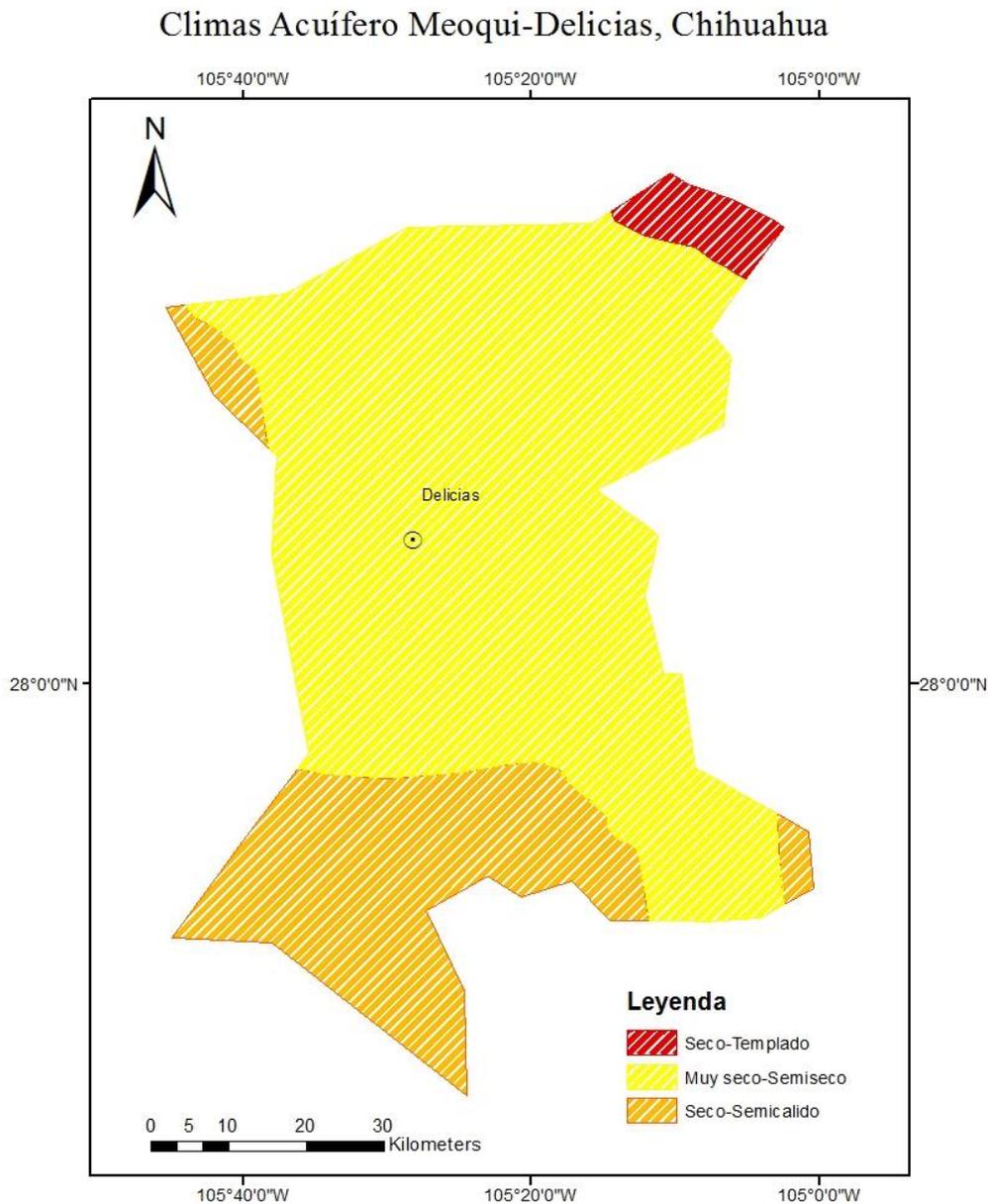


**Figura 2** Ubicación del acuífero Meoqui-Delicias (CONAGUA, 2020)



## 2.2 Clima

El clima predominante en la zona del acuífero, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada para México en 2004 por Enriqueta García, es BWhw, el cual se clasifica como muy árido, semicálido. Hacia la porción sur el clima predominante es del tipo BSoHW el cual se clasifica como árido, semicálido. En ambas zonas con temperatura media anual entre 18° C y 22° C, con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual (Figura 3). En esta región las temperaturas máximas durante el verano llegan a superar los 40°C, y las mínimas en invierno se ubican por debajo de 0° C. La precipitación media anual en la estación Delicias es de 284 mm, estimada en el período 1990- 2004 (CNA, 2020).



**Figura 3** Climas dentro del Acuífero Meoqui-Delicias, escala 1:1000 000, Serie I (INEGI, 1987).



## 2.3 Flora y Fauna

Gran parte del área de estudio se encuentra cubierta por cultivos de riego (Figura 4 A), los cuales abarcan 86,429 ha. Los cultivos incluyen especies vegetales inducidas por el hombre tales como: maíz, alfalfa, algodón, cebolla, chile, cacahuete, tomate, vid, sorgo, avena, nogal, etc. A la par de ellas, se han reproducido quelites, zacate Johnson, cadillos y plantas trepadoras, entre otras. Dentro del área en estudio, donde aún existe la vegetación típica de la región, encontramos plantas propias del Desierto Chihuahuense, entre las que se encuentran: la gobernadora, mezquite, hojaseñ, ocotillo, palmilla, candelilla, lechuguilla, nopal, huisache, gardenche, gatunio, orégano, mimbre, y otras, además de zacates como: navaja, colorado, matón y otros (CNA, 1990).

Con respecto a la fauna de la región la mano del hombre es evidente, ya que encontramos en dicha zona, explotación pecuaria extensiva e intensiva (Figura 4 B). Entre las especies más comunes en la explotación pecuaria extensiva se ubican de mayor a menor cuantía en el siguiente orden: ganado bovino, ganado caprino y ovino, ganado caballar, y ganado asnal y mular. En cuanto a la fauna típica de la región se encuentra venado bura, coyote, liebre, conejo, águila, víbora de cascabel, ratón de campo, ardilla, lechuza, tlacoache, zorrillo, cotucha, paloma habanera, correcaminos, puma, jabalí, alacrán, tarántula, lagartija, entre otros, y especies que solo visitan la zona en determinada época del año, tales como pato, garza, grulla, golondrina y chanate, entre otras. En las zonas no sembradas se puede observar la interacción del ganado con flora y fauna típica de la región (Saucedo, 1996).



**Figura 4 A:** Cultivos de riego, región del Distrito de Riego 005, Delicias. **B:** Corrales de ganado de la zona de estudio.



## 2.4 Fisiografía

El área se localiza en la provincia fisiográfica denominada Cuencas y Sierras, en el centro norte de la República Mexicana, la cual comprende parte de los estados de Chihuahua, Zacatecas y Durango. En esta provincia se localiza una parte de la cuenca del río Conchos, afluente del Bravo, y en su centro, el Bolsón de Mapimí (CNA, 2020).

El territorio al que se refiere el presente estudio (Figura 5) presenta sierras orientadas predominantemente de noroeste a sureste, las cuales emergen de grandes llanuras y bolsones, mismos que presentan una ligera inclinación hacia el noreste, precisamente en el sentido del flujo de las aguas de los ríos San Pedro y Conchos.

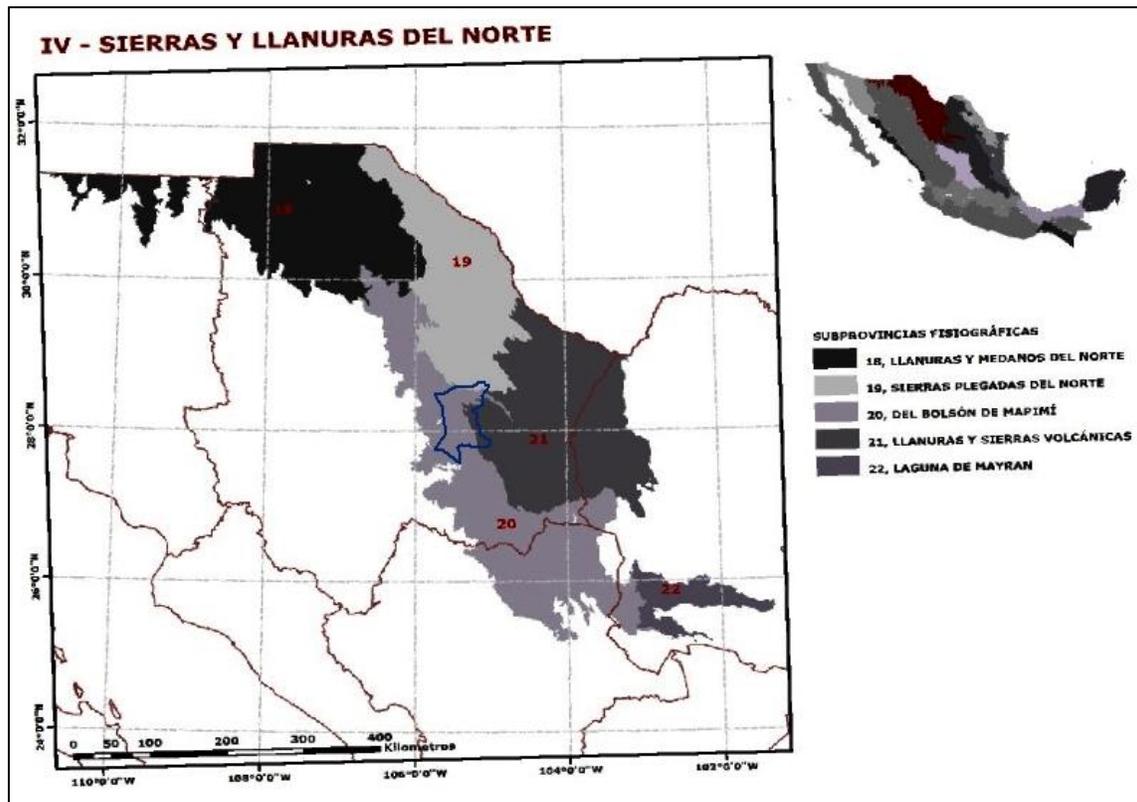


Figura 5 Localización del acuífero M-D con respecto a la Provincia fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte (INEGI, 1991).

Gran parte de las serranías se encuentran rodeadas de lomeríos bajos y suaves, mientras que la zona montañosa se observa escarpada en un ángulo pronunciado, con sierras abatidas por la acción de la erosión eólica y pluvial, dejando al descubierto grandes áreas rocosas, con depósitos coluviales que llegan en su base a depositarse en el suelo de la llanura. Entre las principales sierras de la región podemos nombrar las siguientes: El Carrizo, Ojuelos, Humboldt, La Boquilla, Palomas, Sierra el Pajarito y Sierra Alta (Barrera, 2008).



## 2.5 Geología

En el área de estudio la geología superficial está constituida por rocas volcánicas ígneas que se distinguen en las serranías adyacentes al valle identificando los materiales riolíticos, tobas, riodacitas, traquitas, andesitas y basaltos (Figura 6). El valle se caracteriza principalmente por sus depósitos sedimentarios entre los que se pueden distinguir el aluvión de río, así como también aluvión de planicie y depósitos de talud, destacando entre sus componentes la granulometría de grava, arena y la arcilla, además esta área se encuentra constituida por rocas sedimentarias continentales, representadas por areniscas y conglomerados (Barrera, 2008).

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales más importantes son los que conforman acuíferos y están representados por las rocas de la formación Aurora del Cretácico inferior, constituida por calizas con permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución, que afloran en la mina de Naica y en las serranías localizadas al sur del acuífero. La otra unidad importante está compuesta por los materiales aluviales que junto con intercalaciones de derrames riolíticos rellenan el subsuelo de los valles y en los que se encuentran alojados la gran mayoría de los pozos perforados en la planicie del Distrito de Riego (CNA, 2020).

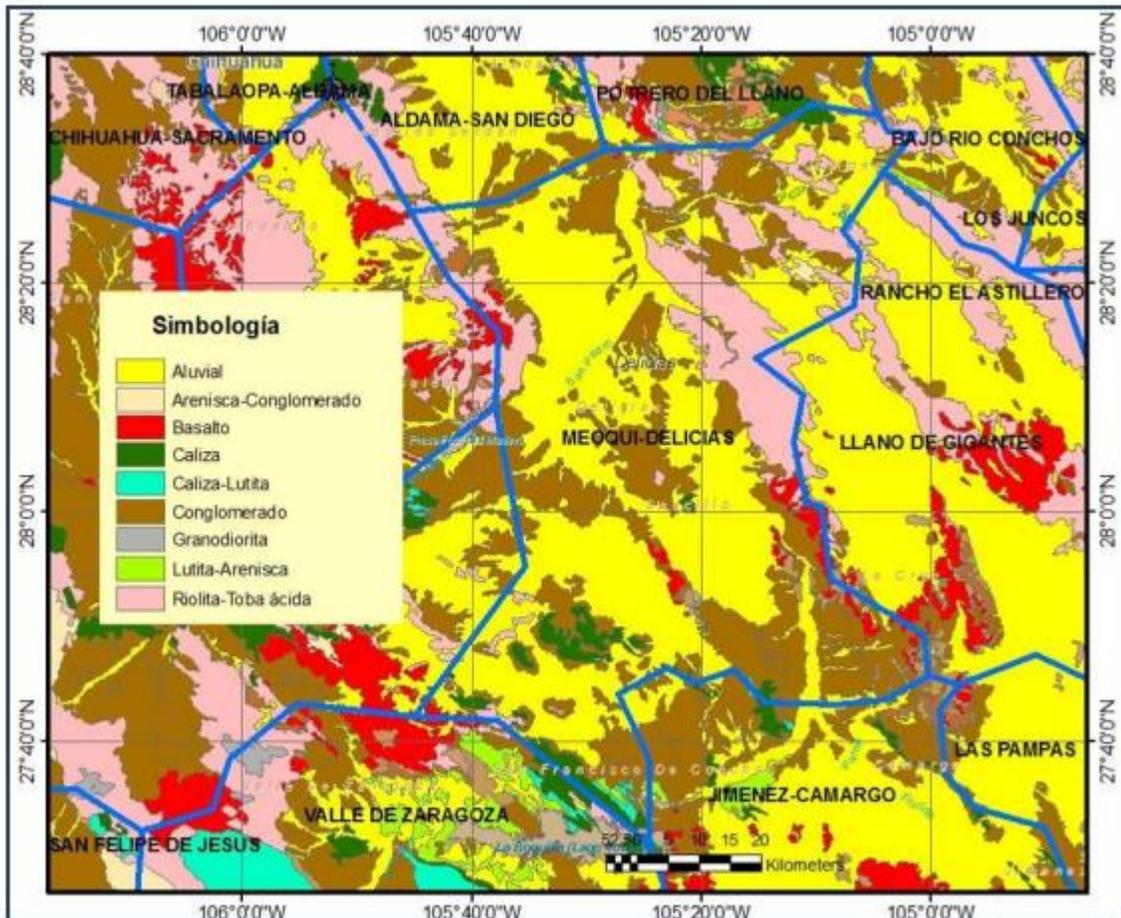


Figura 6 Mapa geológico acuífero Meoqui-Delicias, (CONAGUA, 2020).



## 2.6 Estratigrafía

El área de estudio se conforma por una columna estratigráfica (Figura 7) integrada por rocas sedimentarias marinas, continentales e ígneas, que comprenden un registro cronoestratigráfico desde el Paleozoico hasta el Reciente (CNA, 2020).

El **Paleozoico** se encuentra representado por areniscas y caliza, concordantemente se encuentra la formación Horquilla, depósitos realizados sobre el borde de plataforma o ambiente de talud, constituida por calizas y dolomías, de edad Carbonífero superior. Debido al aporte de sedimentos se deposita la formación Rara, caracterizada por alternancia de areniscas, lutitas y limolitas (SGM, 2000).

La edad del **Triásico al Jurásico medio** está representada por un depósito discordante de conglomerado polimíctico de fragmentos de caliza y arenisca. Discordante a esto afloran lutitas, areniscas y calizas conocido como la formación La Casita, suprayacida discordantemente por rocas del Neocomiano con depósitos correspondientes a zonas de plataforma somera. Por su granulometría y grado de cementación son consideradas como unidades impermeables para fines hidrogeológicos (SGM, 2000).

A fines del Aptiano y principios del Albiano (**Cretácico inferior**) los depósitos sedimentarios varían de un ambiente de deposición de plataforma intermedia a plataforma externa, representado por las formaciones: Cuchillo, constituida por lutitas y areniscas calcáreas y horizontes de caliza con evaporitas; formación Aurora, representada por calizas masivas y estratos gruesos con nódulos de pedernal, facie de plataforma somera, afectados por fracturas y conductos de disolución, que en ocasiones llegan a formar verdaderas cavernas.; formación Benigno, formada por calizas con abundantes fósiles y microfósiles (SGM, 2000). La formación Aurora tiene un gran interés geohidrológico por su potencial como acuífero. Funciona en algunas partes como acuífero confinado y como libre cuando aflora, y hasta semiconfinado cuando está cubierto por materiales menos permeables de otras unidades litológicas, como los conglomerados localizados a pie de las sierras compuestas por calizas (CNA, 2020).

El Oligoceno (**Terciario**) inicia con derrames lávicos de composición intermedia y continua con actividad piroclástica, dando como origen flujos piroclásticos; por encima de esta unidades se encuentran derrames riolíticos y más flujos piroclásticos. El Mioceno se encuentra representado por la formación Boquilla, constituida por calizas lacustres con intercalaciones de areniscas. La actividad plutónica del Oligoceno, representada por emplazamiento de diversos cuerpos ígneos de diferente composición, granito, sienita, granodiorita y pórfido riolítico, se encuentra afectando a rocas del Paleozoico, Mesozoico y parcialmente del Cenozoico (SGM, 2000).

Las unidades de **Cuaternario** son de origen continental como resultado de los procesos erosivos; se encuentra representado por conglomerado, coluvión, lacustre, limo y



aluvión (SGM, 2000). Se distinguen abanicos aluviales antiguos con gravas expuestos en los márgenes del río Chuvísar, que son depósitos sedimentarios aluviales que ocupan las estribaciones de las sierras, los depósitos de pie de monte en los taludes de las sierras, depósitos fluviales, depósitos aluviales y depósitos lacustres y de llanura de inundación. Todas estas unidades presentan permeabilidades variables entre media y alta, excepto los depósitos lacustres que se clasifican con permeabilidad media a baja, que aun así pueden funcionar como acuitardos que transmiten agua hacia las unidades que las subyacen (CNA, 2020).

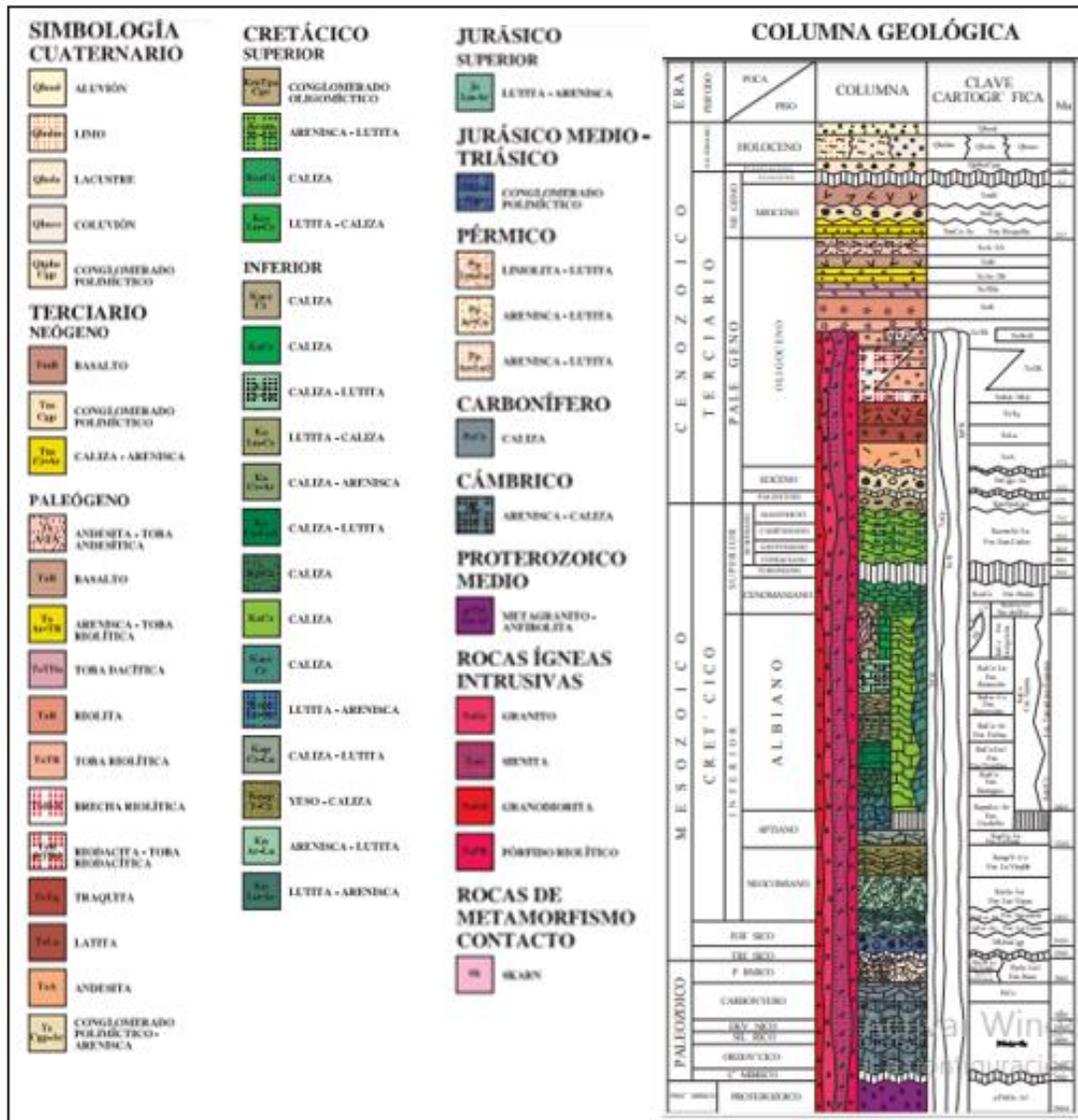


Figura 7 Columna estratigráfica, Carta geológico minera de Delicias Chihuahua, H13-11 (SGM, 2000).



## 2.7 Geología estructural

El marco estructural predominante es producto de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide ocurrida a finales del Cretácico superior y principios del Terciario inferior, continuados por una tectónica trascurrente y finalmente un evento que originó la morfología actual (SGM, 2000). Localmente las rocas paleozoicas se presentan plegadas y deformadas, mientras que las rocas mesozoicas tienen un plegamiento asimétrico con dirección NW-SE, las rocas volcánicas se encuentran afectadas por fallas normales, con orientación predominante NW-SE, característica de la provincia fisiográfica de Cuencas y Sierras (SGM, 2000).

Los bolsones o planicies están representados por los valles de Delicias, Loma Larga, Moncayo, Santa Rita, Naica y la porción norte del Valle de Jiménez. Los plegamientos marcan un dren estructural NW-SE consistiendo en anticlinales paralelos entre sí, correspondiendo a los anticlinales simétricos las sierras de San Diego, Roque y El Cuervo, las cuales están constituidas por rocas de la formación Aurora. Las mesetas son extensos derrames de basaltos que se localizan en la porción sur; geohidrológicamente están sumamente fracturados por lo que funcionan como transmisores del agua infiltrada (CNA, 2020). La posición estructural y alineación que presentan las sierras hace suponer que las rocas ígneas máficas emergieron de una primera etapa del vulcanismo posterior a la Orogenia Laramide e inmediatamente después se inicia la segunda etapa del vulcanismo, representado por la expulsión de basaltos y andesitas, a la vez que las riolitas y tobas riolíticas eran intrusionadas por diques andesíticos (CNA, 2020).

## 2.8 Hidrología Superficial

El aprovechamiento regular del agua con fines agrícolas en la Cuenca del Río Conchos data del período colonial, cuando los conquistadores y evangelizadores hispanos incursionaron a fines del siglo XVI, pero es hasta principios del siglo XX que se inicia un aprovechamiento más intensivo del agua con fines agrícolas a lo largo de la planicie que conforma el actual Valle de Delicias, con ello la apertura al cultivo de mayores extensiones de tierra y la construcción de infraestructura hidráulica donde destaca la Presa Boquilla (terminada en 1916) para la generación de energía eléctrica y la irrigación agrícola. A partir de 1933 se continúan estas obras para aumentar las superficies de cultivo hasta constituirse en 1941 el Distrito de Riego 005 Delicias (Aboites, 1999).

En la zona en estudio los escurrimientos más importantes están representados por el río Conchos y sus afluentes: Parral, Florido, San Pedro y Bachimba. El río Conchos es un afluente de sur a norte, mientras que el Río San Pedro, que proveniente del oeste, avanza hacia el noreste hasta juntarse con las aguas del Río Conchos. Este último nace en la parte oriente de la Sierra Tarahumara, y pertenece a la Vertiente Del Golfo, pues cerca del poblado de Ojinaga, se une al río Bravo (CNA, 2020). El escurrimiento está integrado principalmente por escurrimientos de cuenca propia, escurrimientos aguas arriba provenientes de la Presa La Boquilla, Presa Francisco I. Madero y del río Florido, así como



de los retornos de riego. Una serie de arroyos convergen hacia ambos ríos, en especial aquellos nacientes de la serranía local, cuyas longitudes no superan los cuarenta kilómetros y sólo se les aprecia con agua en época de lluvia. La zona además cuenta con un complejo sistema de canales, los cuales son utilizados principalmente para el riego de terrenos de cultivo, en menor escala para el consumo del ganado y pesca (Barrera, 2008).

La zona pertenece a la Región Hidrológica No. 24, Bravo-Conchos. Subregión Río San Pedro en su parte Oeste, así como en la subregión Cuenca río Conchos, Presa El Granero en su parte Este Cuenca del Río Conchos. A pesar de que la Presa La Boquilla se encuentra fuera del área, tiene influencia en el acuífero dado que parte de sus aguas, junto con las de la presa Francisco I. Madero, se utilizan en el Distrito de Riego 05, el cual se encuentra casi en su totalidad dentro de este acuífero (CNA, 2020).

## 2.9 Hidrología subterránea

El Valle de Delicias (Distrito de Riego 005), aprovecha alrededor de un 64.8% de las aguas superficiales de la cuenca del Río Conchos y 39% de las aguas subterráneas, de estas últimas el volumen anual extraído del acuífero Meoqui-Delicias es de 436.4 Mm<sup>3</sup>. Debido a los ciclos de sequía se observó un incremento en los aprovechamientos de agua subterránea: en 1996 se censaron 242 pozos, actualmente se registran 2134 para diversos usos en los ocho municipios que conforman el Distrito de Riego 005 Delicias, correspondientes en su totalidad al acuífero Meoqui-Delicias y parcialmente al Jiménez-Camargo (CNA, 2003).

El acuífero Meoqui-Delicias está constituido por un suelo poroso granular debido a depósitos sedimentarios continentales, no consolidados que tienen su origen principalmente en ambientes de tipo fluvial y lacustre; estos se encuentran depositados en una fosa formada por una depresión de rocas calcáreas (Martínez, 2001).

El acuífero tiene distintos espesores: entre las poblaciones de Delicias y Saucillo, el espesor máximo alcanza los 500 m, mientras que en los extremos del valle, es decir en las cercanías a la serranía perimetral se tiene un espesor de aproximadamente 300 m, esto debido a la morfología cóncava del subsuelo que se encuentra por debajo del sedimento. El acuífero se considera de tipo libre; sin embargo existen zonas como es el caso de Meoqui, con semiconfinamientos debido a la presencia de cuerpos arcillosos (CNA, 2020).

## 2.10 Hidrogeología

La Comisión Nacional del Agua, en su último reporte de Disponibilidad para el Acuífero Meoqui-Delicias (2020), identifica de acuerdo a la estratigrafía, 3 unidades hidrogeológicas en función de sus valores cuantitativos de conductividad hidráulica (Tabla 1).



**Tabla 1** Características de permeabilidad de las unidades geológicas (CNA, 2020).

Materiales de permeabilidad alta	Depósitos aluviales y depósitos de pie de monte, andesitas, basaltos, calizas de formación Aurora.
Materiales de permeabilidad media	Conglomerados, gravas, arenas y calizas lacustres; tobas riolíticas y riolitas.
Materiales de permeabilidad baja	Rocas de Paleozoico, Jurásico y formaciones Las Vigas, Cuchillo, alternancia de lutitas y areniscas calcáreas del Cretácico superior, tobas riolíticas y conglomerados rojos continentales.

La primer categoría incluye materiales de permeabilidad alta como son los depósitos aluviales y de pie de monte, compuestos por material granular del Terciario y Cuaternario que contienen al acuífero actualmente en explotación. Las calizas de la formación Aurora, perteneciente al Cretácico superior, albergan un acuífero aún no explotado por su gran profundidad, pero potencialmente de gran importancia. El acuífero de los materiales granulares funciona como libre y tiene un espesor que alcanza valores de hasta 500 m (CNA, 2020).

Las rocas ígneas como tobas y riolitas, andesitas basálticas y basaltos presentan una buena permeabilidad secundaria por fracturamiento; este material está cubierto por sedimentos granulares de relleno. Al aflorar estas rocas en superficie funcionan como zonas de recarga (CNA, 2020).

La tercer categoría contiene litologías de permeabilidad baja, rocas de Paleozoico, Jurásico y formaciones Cuchillo y Las Vigas del Cretácico. Todas estas están en contacto directo y pueden considerarse como el basamento geohidrológico regional. Como fronteras laterales del acuífero se tienen las secuencias ignimbríticas y rocas volcánicas riolíticas (CNA, 2020).

La recarga del acuífero se da principalmente por la infiltración de aguas de corrientes superficiales que entran al acuífero (ríos San Pedro y Conchos) dentro del valle, como lo son canales de distribución y la infiltración de excedentes de riego, a nivel parcelario (Barrera, 2008). La recarga principal proviene del sur, correspondiente a las máximas elevaciones, 1350 y 1325 msnm desde la sierra La Venada. A la altura de Ciudad Delicias y Meoqui el flujo general prosigue hacia el norte, recibiendo aportaciones de otra zona de recarga localizada hacia el occidente, por las serranías ubicadas en esta zona y por la sierra de Santo Domingo, ya fuera de los límites del acuífero; a partir de dicha población, se une al flujo principal para dirigirse hacia el NE con un rumbo franco hacia el cauce del río Conchos. La dirección preferencial del flujo subterráneo es de sur a norte, pasando por el Distrito de Riego 05, hasta el río Chuvíscar, siguiendo en forma paralela el curso del río Conchos (CNA, 2020).



La principal descarga se da por la extracción que realizan cerca de 1000 aprovechamientos que en su mayoría se destinan al riego agrícola, aunque una parte del volumen extraído se emplea para el suministro de agua potable a los habitantes de la región, el flujo base del río San Pedro y flujo subterráneo con salida hacia el norte (Espino, Herrera, & Barrera, 2009).

### 2.11 Calidad del agua

Las principales familias de agua en el acuífero Meoqui-Delicias descritas por Barrera (2008) y Rascón (2011) para el muestreo realizado en el año 2006 indican para el municipio de Rosales al noroeste del acuífero, que el agua es principalmente sulfatada bicarbonatada sódica, al igual que en el municipio de Meoqui, en donde destaca la comunidad del Potrero del Llano (M6) con alto contenido de cloruros. Julimes, ubicado al norte del acuífero en las laderas del río Conchos, tiene una composición sulfatada sódica-cálcica; a este respecto cabe resaltar las comunidades de San José (J6) y La Regina (J10) con alto contenido de cloruros. Por otra parte, las localidades de Meoqui y Delicias ubicadas en la zona central del acuífero cercanas al río Conchos y río San Pedro, corresponden a una composición principalmente sulfatada-bicarbonatada sódico-cálcica. El municipio de Saucillo presenta mayormente agua bicarbonatada-sulfatada cálcica-sódica; mientras que en La Cruz principalmente es bicarbonatada-sulfatada sódico-cálcica.

Con respecto a la calidad del agua en el acuífero para el año 2006, Barrera (2008) y Rascón (2011) describen los principales elementos presentes de manera natural; las concentraciones de cloruros que superan lo establecido por la Mod. NOM-127 (250 mg/L) se localizan en el centro del acuífero entre los ríos San Pedro y Conchos, en localidades del municipio de Delicias; sin embargo el pozo de La Regina (J10) en Julimes, alcanzó en esta fecha el valor más elevado de 515 mg/L. Con respecto al flúor, que es particularmente importante por las complicaciones que provoca al consumir agua con concentraciones elevadas (fluorosis dental y ósea), la Mod. NOM-127 establece como nivel máximo permisible 1.5 mg/L. Los municipios de Meoqui y Julimes presentan los valores más elevados de este elemento, con fluctuaciones entre 1.5 y 9.4 mg/L en esa fecha. El contenido de arsénico en el agua subterránea se asocia a los climas áridos y al hidrotermalismo principalmente. Este elemento es de gran importancia por su toxicidad, además de que tiene efectos negativos crónicos en la salud a ciertas concentraciones. Es por esto que la Mod. NOM-127 establece como nivel máximo permisible en agua de consumo humano el valor de 0.025 mg/L. Las comunidades que presentan una alta concentración de arsénico coinciden con las zonas con alto contenido de flúor, como son los municipios de Meoqui y Julimes al norte del acuífero; de igual manera el municipio de Rosales, y Saucillo y La Cruz al sur del acuífero.



## 2.12 Aspectos socioeconómicos

La actividad económica principal de la zona es la agricultura y la ganadería; la industria se desarrolla en menor escala y existe una minería incipiente. Existen dos ciclos de cultivo: el de verano y el de invierno. El sistema de riego depende primordialmente del agua de la presa Francisco I. Madero, también llamada Las Vírgenes, la cual se alimenta de las aguas del río San Pedro; sin embargo, existe también una creciente implementación de pozos de riego, en los cuales la extracción se hace, en la mayoría de los casos, a base de motobombas eléctricas. La agricultura de temporal, es prácticamente inexistente, pues la precipitación pluvial es muy escasa.

En cuanto a la ganadería, destaca la producción de ganado bovino, la cual se divide en dos grupos, el de ganado lechero y el de engorda (Figura 8). Las razas de ganado más comunes en el caso de bovinos de engorda son: Hereford, Charolais, Angus, Brangus y Limousine, mientras que la raza Holstein es la más explotada en ganado productor de leche. En esta región, al igual que en el resto del Estado, se exportan becerros para engorda a los Estados Unidos (Barrera, 2008). La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ubica al Distrito de Desarrollo Rural 13 en la región agrológica de Delicias, la cual comprende los municipios de Delicias, Camargo, Meoqui, Saucillo, Rosales, Julimes, La Cruz y San Francisco de Conchos.

La actividad agrícola comprende 99 mil hectáreas, por su clima seco, casi la totalidad de la agricultura de la región es de riego, se tienen cultivos de forrajes, frutales, hortalizas, oleaginosas y granos. De acuerdo con Rivas-Sotelo *et al.* (2008) para esa fecha las mayores superficies de cultivos eran de alfalfa (29 100 ha), nogal (24 900 ha), chile jalapeño (12 500 ha) y maíz forrajero (8 200 ha). Por otra parte, la ganadería en esta región representa una importante aportación; las actividades de importancia son la leche y la carne bovina (GOB, 2004). La región cuenta con aproximadamente 56 800 cabezas de ganado lechero, la mayor cantidad de establos se encuentran localizados en las riberas de los ríos San Pedro y Conchos, siendo los municipios de Delicias y parte de Saucillo, áreas con grandes problemas de contaminación por esta actividad dentro de las aguas superficiales, a su vez de forma indirecta las corrientes aguas abajo pueden movilizar materiales orgánicos e inorgánicos que contribuyan a la presencia de contaminantes (Rivas-Sotelo *et al.*, 2008).



*Figura 8 Ganado lechero y de engorda.*

Con respecto a la industria, destaca la de tipo alimenticio, aunque en los últimos años se han establecido empresas maquiladoras. En el comercio, la zona cuenta con un mercado local de buen nivel, incluso con centros comerciales de cadenas nacionales, en el caso de la ciudad de Delicias (Figura 9). El turismo y la pesca son actividades económicas que se practican en la zona, pero a escala muy baja; en cuanto al turismo, las principales zonas de atracción son las compuertas de la presa Francisco I. Madero y el poblado de Meoqui, los cuales atraen capitales de la región y de la ciudad de Chihuahua. Además la ciudad de Delicias cuenta con un museo de paleontología e instalaciones para eventos deportivos, como un estadio de béisbol y un lienzo charro. La pesca se practica en dichos sitios turísticos y en los márgenes de los ríos San Pedro y Conchos (Saucedo, 1996).



*Figura 9 Centro de ciudad Delicias, Chihuahua.*



### III. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo se desarrolló la metodología descrita en los siguientes puntos:

- 1.- Se llevó a cabo la recopilación de información geológica, hidrogeológica, climatológica, de tipos de suelos, de química del agua, socioeconómica etc. del acuífero en cuestión.
- 2.- Se efectuó la selección y ubicación de 63 de sitios de muestreo en base al análisis de datos históricos de la química del agua del área de estudio (Tabla 2). Los puntos de muestreo del agua subterránea se definieron considerando los resultados anteriores de nitratos en las principales fuentes de agua potable localizados en el acuífero, y se visitaron en 6 campañas de recolección de muestras (Figura 10).

*Tabla 2* Coordenadas de pozos seleccionados para muestreo en campo.

MUESTRA	COORDENADAS		MUNICIPIO	LOCALIDAD					
	X	Y							
M1	28.3878	-105.6219	MEOQUI	L. CARDENAS	D139	28.1421	-105.526	DELICIAS	COL. CAMPESINA
R2	28.4402	-105.6121	ROSALES	BARRANCO BLANCO	D138	28.0905	-105.525	DELICIAS	COL. NICOLAS BRAVO
R3	28.4544	-105.6019	ROSALES	SANTA RITA	D137	28.128	-105.484	DELICIAS	EJ. EL DIEZ
R7	28.4707	-105.5473	ROSALES	SALON DE ACTOS	D119	28.197	-105.428	DELICIAS	VICENTE GUERRERO
M6	28.4544	-105.5432	MEOQUI	POTRERO DEL LLANO	D130	28.188	-105.398	DELICIAS	SANTA FE
M5	28.4243	105.558	MEOQUI	10 DE MAYO	D133	28.206	-105.379	DELICIAS	LAS VIRGINIAS
M42	28.3492	-105.4851	MEOQUI	PROGRESO	S45	28.214	-105.359	SAUCILLO	BELLA VISTA
M43	28.3112	-105.4684	MEOQUI	LOMAS DE CONSUELO	D129	28.248	-105.356	DELICIAS	LA MERCED
M41	28.3575	-105.5713	MEOQUI	SAN LUCAS	S44	28.244	-105.351	SAUCILLO	AMPLIACION LA MERCED
M21	28.3244	-105.4333	MEOQUI	GPE. VICTORIA	D127	28.234	-105.393	DELICIAS	COL. MORELOS
M22	28.3542	-105.4375	MEOQUI	LOS GARCIA	R30	28.215	-105.5066	ROSALES	R. SAN VALENTIN
M22.2	28.3572	-105.4299	MEOQUI	LOS GARCIA	D126	28.2494	-105.4305	DELICIAS	FRANCISCO I. MADERO
J9	28.3878	-105.4404	JULIMES	SAN JOSE	LC69	27.816	-105.174	LA CRUZ	CORRALÑO DE JUAREZ
J10	28.4122	-105.4514	JULIMES	LA REGINA	LC67	27.824	-105.189	LA CRUZ	EST. LA CRUZ
J11	28.4494	-105.4517	JULIMES	LA ESPERANZA	LC63	27.925	-105.228	LA CRUZ	LAS PINTAS
J12	28.4723	-105.4583	JULIMES	LABOR NUEVA	LC65	27.86	-105.196	LA CRUZ	LA CRUZ
J13	28.4723	-105.4583	JULIMES	BOQUILLA	S59	27.96	-105.228	SAUCILLO	PUERTO DEL TORO
J14	28.4801	-105.4801	JULIMES	CARRIZO	S60	27.986	-105.234	SAUCILLO	PARRITAS
M23	28.3073	-105.4411	MEOQUI	LORETO	S58	27.996	-105.277	SAUCILLO	FCO. MEZQUITAL
M24	28.2947	-105.4492	MEOQUI	LAS PUENTES	S62	27.967	-105.285	SAUCILLO	EST. CONCHOS
M25	28.2896	-105.4622	MEOQUI	GRAN MORELOS	S-98	28.0268	-105.3176	SAUCILLO	EST. SAUCILLO
J15	28.4241	-105.4144	JULIMES	JULIMES	S-56	28.0363	-105.2984	SAUCILLO	SAUCILLO P3
J16	28.3636	-105.4121	JULIMES	EX. H. HUMBOLDT	S-56.2	28.0216	-105.2984	SAUCILLO	SAUCILLO P8
J17	28.3451	-105.3936	JULIMES	EL GRAMAL	S-57	28.0358	-105.3145	SAUCILLO	VICENTE GUERRERO
J18	28.3235	-105.4144	JULIMES	ARENILLAS	D-136	28.0833	-105.376	DELICIAS	COL. ARMENDARIZ
M19	28.3198	-105.4165	MEOQUI	EL TORREON	S-52	28.0806	-105.3437	SAUCILLO	FRANCISCO I. MADERO
R38	28.265	-105.5666	ROSALES	ORINDA	S-54	28.0798	-105.3149	SAUCILLO	GOMEÑO
M39	28.5692	-105.5267	MEOQUI	BUENAVISTA	S-47	28.1799	-105.3443	SAUCILLO	ORRANTEÑO
M40	28.3317	-105.6005	MEOQUI	EST. CONSUELO	S-50	28.129	-105.3507	SAUCILLO	ALTAMIRANO
R35	28.1452	-105.582	ROSALES	LA GARITA	D-134	28.1506	-105.3977	DELICIAS	COL. MIGUEL HIDALGO
					M-27	28.163	-105.24	MEOQUI	NVO. LORETO
					M-26	28.1564	-152.702	MEOQUI	LOS JÁQUES



## Localización de Muestras de Campo, Acuífero Meoqui-Delicias

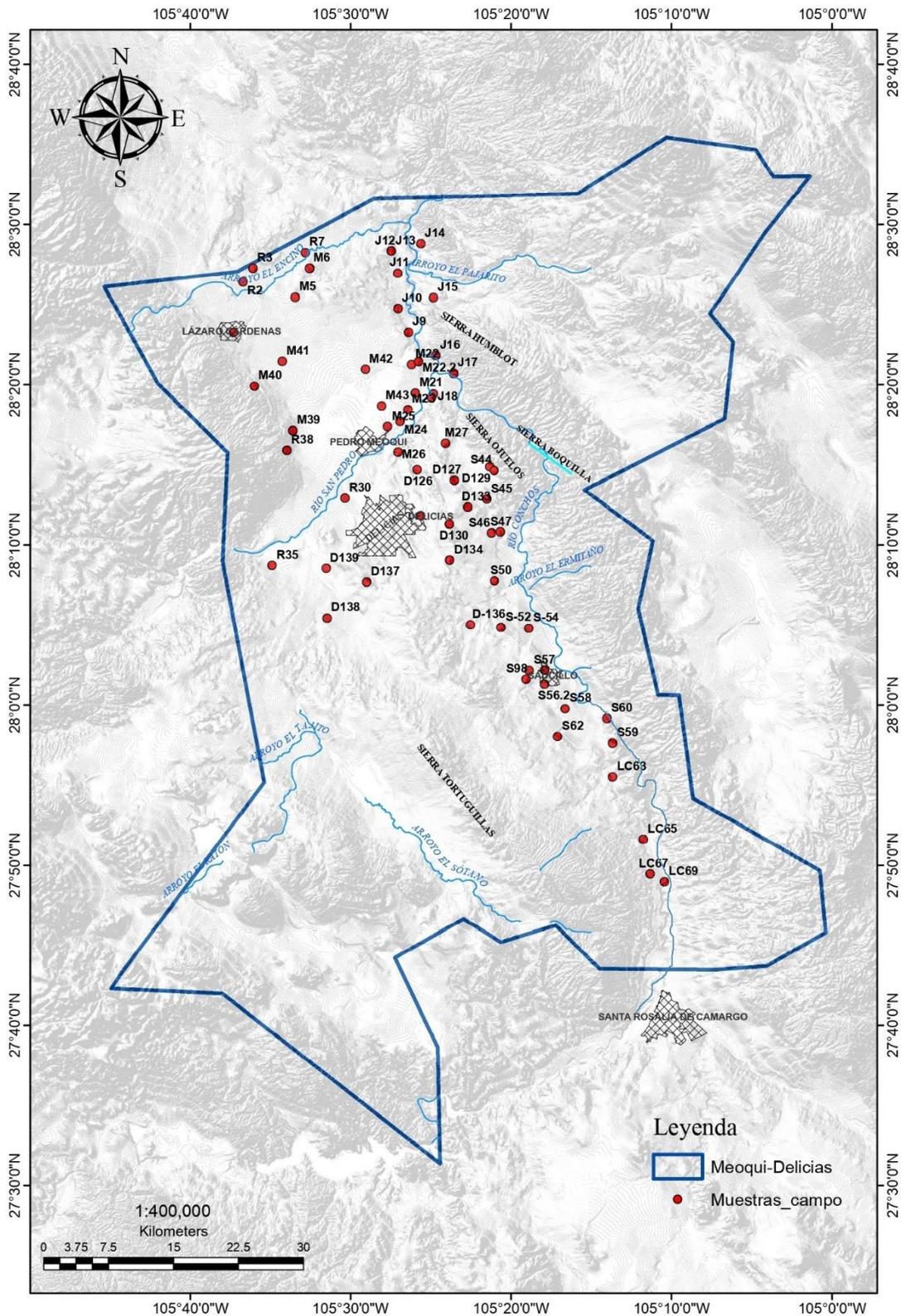


Figura 10 Localización de muestras de campo, acuífero Meoqui-Delicias



3.- Se realizó el trabajo de campo en los sitios seleccionados para recolección de muestras de agua potable, siguiendo las indicaciones descritas en la NOM-014-SSA1-1993 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados", para análisis fisicoquímicos. Se utilizaron envases de plástico de 250 ml de capacidad con tapones del mismo material, hielera y hielo para conservar la temperatura de las muestras (de 4 a 10° C). De acuerdo con las recomendaciones la muestra se tomó en grifo del sistema de distribución o pozo profundo, se dejó correr el agua por al menos 3 min o hasta asegurarse de que el agua de la tubería había sido vaciada totalmente. El muestreo se realizó cuidadosamente, evitando contaminar tapón, boca e interior del recipiente; se tomó un poco del agua que se iba a analizar, se cerró el envase y agitó para enjuagar, desechando el agua; esta operación se repitió tres veces, procediendo a tomar la muestra y etiquetado de envase (Figura 11). Para el análisis de Nitratos de este estudio la muestra podía conservarse máximo 48 hr en refrigeración (Secretaría de Salud, 1993).



**Figura 11.** *Recolección de muestras en campo y muestras etiquetadas*

4.- Como establece la NOM-014-SSA1-1993 fue necesario llevar a cabo la medición de parámetros de campo (pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT) y temperatura) en las muestras de agua colectadas, para lo cual se utilizó el equipo HANNA HI 9828 que consiste en una sonda multiparamétrica portátil (Figura 12). En un recipiente apto para utilizar la sonda, se recolectó un poco del agua a analizar agitando y repitiendo este paso por tres veces; se procedió a tomar la muestra y colocar la sonda encendida dentro para obtener los resultados en el equipo, tomando nota de estos en la bitácora de campo.



**Figura 12.** Recolección de datos de campo. Zonda Multiparamétrica portátil

5.- Se realizó el análisis de nitratos mediante la técnica HACH de Nitrato de alto rango (0 a 30.0 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ ), empleando un colorímetro HACH modelo DR/890 (Figura 13-A), mediante el método de reducción de nitratos a nitritos empleando cadmio metálico. La técnica emplea 10 ml de la muestra y el contenido de uno de los sobres de reactivo NitraVer 5 "Powder Pillow", se cierra la celda y se agita vigorosamente durante un minuto utilizando el "Timer" del equipo, una vez que se termina de agitar se deja reposar por 5 min ("Timer 2"), a la par se llena otra celda con la misma muestra sin reactivo como "Blanco", el "Blanco" se coloca en el equipo y se lee como Zero. Una vez calibrado se coloca la muestra con reactivo que después de pasar los 5 min de reposo cambia a un color amarillento (Figura 13-B), se coloca la muestra en el equipo y se lee para obtener el resultado de  $\text{N-NO}_3^-$  en mg/L.



**Figura 13 A:** Colorímetro HACH DR/890. **B:** Muestras con reactivo y muestras "blanco".



6.- Una vez recopilada tanto la información de campo como de laboratorio (resultado de  $\text{N-NO}_3^-$ ), se realizó la comparación de estos resultados obtenidos en la reciente campaña de muestreo con las bases de datos de correspondientes a los estudios de la Comisión Nacional del Agua (2003) y las investigaciones de Barrera (2008) y Rascón (2011) las cuales obtuvieron sus resultados en la campaña de muestreo y análisis en el año 2006.

6.- Se organizaron los resultados en tablas y mapas con isolíneas de concentración de nitratos para cada año en el que se tiene información (2003, 2006 y 2020).

7.- Se realizó el análisis estadístico y comparativo de los datos obtenidos en distintas campañas de recolección de datos.

8.- Se efectuó el análisis de resultados y obtención de conclusiones.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados de parámetros de campo

Entre los meses de diciembre 2020 y febrero 2021, se realizaron varias visitas de campo, durante las cuales se recolectaron 63 muestras de agua subterránea de pozos de distintas localidades que abarcan los municipios de Meoqui, Delicias, Rosales, Saucillo, Julimes y La Cruz. En campo se analizaron varios parámetros; temperatura, pH, sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad eléctrica (Tabla 3). La norma mexicana para agua potable (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994), establece que el pH (potencial de Hidrogeno) debe estar entre 6.5-8.5, siendo solo las localidades de La Merced y Col. Nicolás Bravo (municipio de Delicias) las que se encuentran por debajo de este rango con 6.39 y 5.98, respectivamente.

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua (OMS, 2011). La Modificación a la norma NOM-127-SSA1-1994 tiene como límite máximo permisible de SDT el valor de 1000 ppm; de los 63 pozos analizados, 14 se encuentran por encima de la norma, siendo los municipios de Delicias y Julimes lo que cuentan con los valores más altos, con 5 y 7 localidades que rebasan este límite; los valores más elevados están en las localidades de Santa Fe (Delicias) con 2059 ppm, seguido por La Regina (Julimes) con 1587 ppm, Labor Nueva y Boquilla (ambas de Julimes) con 1429 ppm cada una, Col. Morelos (Delicias) con 1333 ppm, Las Virginias (Delicias) con 1307 ppm. Por otra parte algunas localidades del municipio de Meoqui (Lázaro Cárdenas, Estación Consuelo, Buenavista, Los Jaques) y Orinda en Rosales se encuentran por debajo de los 400 ppm, al Noroeste del acuífero. De igual manera corresponden los datos de conductividad eléctrica, ya que este parámetro proporciona una evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua, y es una propiedad importante del agua que se toma frecuentemente como un indicador del grado de mineralización. El tener valores tan elevados de SDT y por lo tanto de conductividad eléctrica, da como resultado una baja aceptabilidad del sabor del agua de consumo humano, además de causar excesivas incrustaciones en tuberías; sin embargo no se dispone de datos confiables sobre posibles efectos negativos para la salud asociados a la ingestión de SDT presentes en el agua potable.



**Tabla 3** Datos recolectados en campo, campaña 2020, pozos de agua potable acuífero Meoqui-Delicias.

MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	TEMP. °C	pH	SDT	CE µmohs/cm
D119	DELICIAS	VICENTE GUERRERO	18.18	7.13	1128	1611/1403
D126	DELICIAS	FRANCISCO I. MADERO	21.34	7.26	775	1107/1030
D127	DELICIAS	COL. MORELOS	23.45	7.35	1333	1905/1845
D129	DELICIAS	LA MERCED	26.12	6.39	794	1134/1158
D130	DELICIAS	SANTA FE	18.23	7.3	2059	2942/2565
D133	DELICIAS	LAS VIRGINIAS	24.04	6.72	1307	1867/1833
D134	DELICIAS	COL. MIGUEL HIDALGO	24.73	7.48	862	1231/1225
D-136	DELICIAS	COL. ARMENDARIZ	25.74	7.19	863	1233/1251
D137	DELICIAS	EJ. EL DIEZ	20	7.34	519	744/674
D138	DELICIAS	COL. NICOLAS BRAVO	21.42	5.98	1057	1510/1409
D139	DELICIAS	COL. CAMPESINA	25.03	7.7	520	743/744
J9	JULIMES	SAN JOSE	18.27	8.27	1056	1510/1313
J10	JULIMES	LA REGINA	22.86	7.09	1587	2267/2175
J11	JULIMES	LA ESPERANZA	23.11	7.46	1031	1474/1419
J12	JULIMES	LABOR NUEVA	22.26	7.11	1429	2043/1948
J13	JULIMES	BOQUILLA	22.2	7.11	1429	2043/1948
J14	JULIMES	CARRIZO	18.98	7.32	1221	1741/1543
J15	JULIMES	JULIMES	23.54	7.04	1193	1704/1659
J16	JULIMES	EX. H. HUMBOLDT	19.8	7.43	890	1271/1146
J17	JULIMES	EL GRAMAL	13.73	7.51	720	1029/808
J18	JULIMES	ARENILLAS	25.48	7.19	840	1200/1210
LC63	LA CRUZ	LAS PINTAS	18.63	7.3	762	1068/961
LC65	LA CRUZ	LA CRUZ	21.9	7.76	914	1304/1223
LC67	LA CRUZ	EST. LA CRUZ	21.63	7.2	739	1056/993
LC69	LA CRUZ	CORRALEÑO DE JUAREZ	25.1	7.35	88	1264/1268
M1	MEOQUI	L. CARDENAS	20.92	7.27	401	572/528
M5	MEOQUI	10 DE MAYO	24.49	8.25	469	670/664
M6	MEOQUI	POTRERO DEL LLANO	18.73	7.91	953	1361/1199
M19	MEOQUI	EL TORREON	14.12	7.98	701	1051/794
M21	MEOQUI	GPE. VICTORIA	22.13	7.21	739	1055/998
M22	MEOQUI	LOS GARCIA	25.17	7.48	842	1203/1207



MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	TEMP. °C	pH	SDT	CE μmohs/cm
M22.2	MEOQUI	LOS GARCIA	13.5	7.23	1000	1428/1117
M23	MEOQUI	LORETO	18.67	8.04	690	986/877
M24	MEOQUI	LAS PUENTES	21.87	7.43	539	769/722
M25	MEOQUI	GRAN MORELOS	22.02	7.29	604	863/814
M26	MEOQUI	LOS JÁQUES	27.18	7.54	355	507/528
M27	MEOQUI	NVO. LORETO	27.71	7.12	675	964/1011
M39	MEOQUI	BUENAVISTA	10.78	7.93	383	547/399
M40	MEOQUI	EST. CONSUELO	21.77	7.03	398	567/533
M41	MEOQUI	SAN LUCAS	17.49	7.37	434	620/531
M42	MEOQUI	PROGRESO	22.27	7.51	618	883/837
M43	MEOQUI	LOMAS DE CONSUELO	24.29	7.36	727	1039/1025
R2	ROSALES	BARRANCO BLANCO	22.38	7.38	587	838/796
R3	ROSALES	SANTA RITA	17.51	7.49	429	613/526
R7	ROSALES	SALÓN DE ACTOS	24.29	8.11	490	699/690
R30	ROSALES	R. SAN VALENTIN	15.85	8.15	418	597/493
R35	ROSALES	LA GARITA	23.14	6.9	951	1357/1308
R38	ROSALES	ORINDA	12.77	7.58	330	471/362
S44	SAUCILLO	AMPLIACION LA MERCED	19.87	7.55	583	833/752
S45	SAUCILLO	BELLA VISTA	21.1	7.76	575	820/759
S46	SAUCILLO	STA. ROSA	21.17	6.97	817	1167/1080
S47	SAUCILLO	ORRANTEÑO	22.44	7.03	735	1049/998
S50	SAUCILLO	ALTAMIRANO	23	7.48	581	833/792
S52	SAUCILLO	FRANCISCO I. MADERO	22.98	7.56	755	1029/1039
S54	SAUCILLO	GOMEÑO	21.03	7.31	786	1122/1038
S56	SAUCILLO	SAUCILLO P3	24.61	6.74	834	1191/1182
S56.2	SAUCILLO	SAUILLO P8	27.01	7.23	8.43	1206/1249
S57	SAUCILLO	VICENTE GUERRERO	24.94	7.58	456	651/650
S58	SAUCILLO	FCO. MEZQUITAL	15.43	7.15	1020	1457/1192
S59	SAUCILLO	PUERTO DEL TORO	22.42	7.62	444	634/602
S60	SAUCILLO	PARRITAS	22.43	7.28	454	649/615
S62	SAUCILLO	EST. CONCHOS	23.44	7.37	793	132/1101
S98	SAUCILLO	EST. SAUCILLO	22.17	7.22	668	954/904



## 4.2 Resultados de los análisis y evolución espacial de los nitratos en el acuífero

Los resultados obtenidos en la campaña de muestreo realizada entre diciembre de 2020 y febrero de 2021 se presentan en el Anexo 1, en donde se muestran también los datos históricos de nitratos correspondientes a los 63 pozos analizados previamente, durante los años 2003 y 2006. Para fin de esta investigación es de gran interés observar la evolución de este parámetro a través del tiempo comparando los resultados obtenidos con anterioridad.

En los datos de la Comisión Nacional del Agua correspondientes al año 2003 (CNA, 2003) se observaron concentraciones de nitratos por encima del límite máxima permisible por la norma oficial mexicana (Mod. NOM-127-SSA1-1994) al noroeste del acuífero, en la localidad de 10 de Mayo (M5) y Potrero del Llano (M6) del municipio de Meoqui, con 18.96 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L y 12.3 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L respectivamente, así como en Barranco Blanco (R2) y Santa Rita (R3) del municipio de Rosales, con 11.88 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L en cada uno. Sin embargo destaca la zona central del acuífero y por lo tanto del Distrito de Riego 005, con mayor cantidad de pozos con concentraciones por encima de la norma; estos pozos corresponden principalmente a los municipio de Delicias, Saucillo y Meoqui, siendo el pozo de Santa Rosa (S46) en Saucillo el que presenta la mayor concentración de nitratos con 34.3 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L. El 72% de las muestras analizadas del municipio de Delicias superan los 10 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L permisibles, siendo las localidades de Vicente Guerrero (D119) y la Colonia Campesina (D139) las que cuentan con los valores más elevados del municipio, con 17.16 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L y 17.71 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L respectivamente. En esta zona, del municipio de Meoqui destacan las localidades de Loreto (M23), Nuevo Loreto (M27) y Los Jáquez (M26) con 13.91 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L , 11.76 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L y 10.07 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L respectivamente (figura 14).

De acuerdo a lo anterior, para el año 2003 se tiene que el 37% de las muestras consideradas para este estudio sobrepasan el límite de la norma oficial mexicana (10 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> /L), y de éstas el 72% se encuentra en la cuenca de los ríos principales, el río San Pedro y Conchos; esta es la misma zona donde se encuentra la mayor concentración de establos, por lo que se concluye que puede ser este el motivo de la gran cantidad de pozos que sobrepasan la norma, ya que en esta zona se concentra mayor cantidad de nitratos por posible lixiviación de desechos orgánicos.



## Acuífero Meoqui-Delicias, Isolíneas de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, año 2003

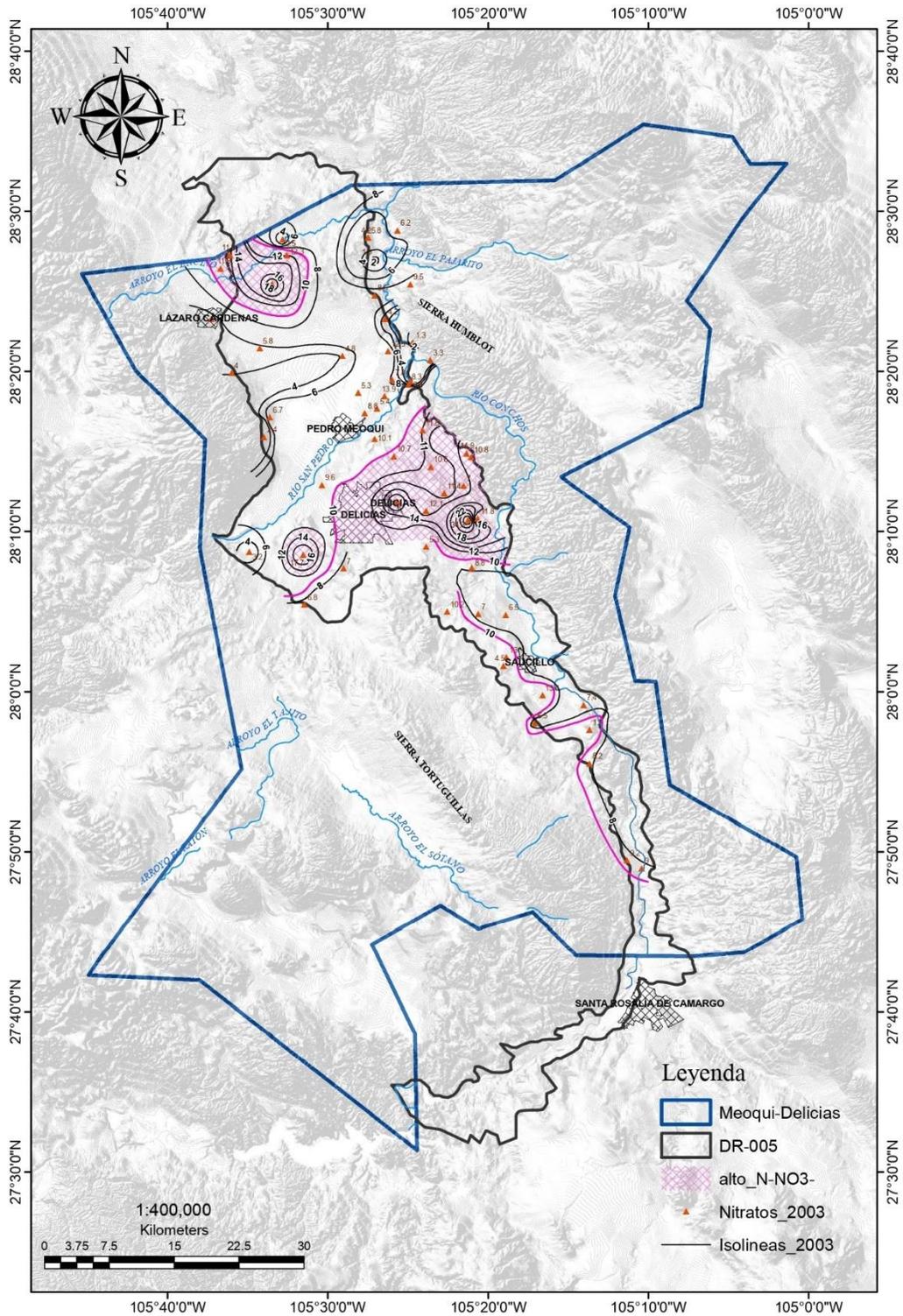


Figura 14 Isolíneas de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, acuífero Meoqui-Delicias 2003.



Tres años después de los resultados anteriores, en 2006 se realizó una campaña de recolección de datos (Barrera, 2008; Rascón, 2011) donde se observan algunos cambios, ya que en la parte noroeste del acuífero (municipios de Meoqui y Rosales), la concentración de nitratos disminuyó hasta 5 mg/L; en el pozo de la localidad de 10 de Mayo (M5), en Meoqui, varió la concentración de 18.93 mg/L a 13.41 mg/L, mientras que en Santa Rita (R3) en Rosales, disminuyó de 11.88 mg/L a 6.30 mg/L, encontrándose incluso por debajo del nivel máximo permisible por la NOM-127. En el municipio de Delicias, donde en 2003 se contaba con un 72% de las muestras por encima de los 10 mg/L, para el 2006 este porcentaje disminuyó a un 54%, manteniéndose los valores más elevados en las localidades de la Col. Campesina (D139) y Las Virginias, con 19.99 mg /L y 14.84 mg/L respectivamente. Cabe señalar que estas dos localidades tuvieron un incremento en la concentración de 2 y 3 mg/L respectivamente, comparado con los datos obtenidos en 2003. Similar fue el caso del Ejido el Diez (D137), en el cual los nitratos aumentaron de 7.05 mg/L a 10.03 mg/L; sin embargo localidades como Vicente Guerrero (D119), La Merced (D129), Col. Armendáriz (D136), Francisco I. Madero (D126) y Col. Morelos (D127) disminuyeron su concentración de nitratos, presentando 12.47 mg /L, 12.09 mg /L, 9.54 mg /L, 9.48 mg /L y 5.93 mg /L respectivamente. El pozo de Santa Rosa (S46) en Saucillo, aunque disminuyó su concentración, sigue siendo el pozo más elevado en nitratos, con 25.28 mg /L. En Saucillo las concentraciones se mantienen sin cambios significativos, siendo el pozo de Vicente Guerrero (S57) el que presentó disminución en su concentración de 13.04 mg /L en 2003 a 5.57 mg /L para el año 2006 (Figura 15).

Para estas fechas la zona con mayor concentración de nitratos siguió siendo la parte central del acuífero, en las laderas del Río San Pedro y Conchos, cercana a la ciudad de Delicias, lo que coincide con altos valores de salinidad en términos de sólidos disueltos totales (SDT) y cloruros registrados por Barrera (2008). Se define que esto puede deberse a las fuentes puntuales de contaminación que son los establos, los grandes campos de cultivo, así como mal manejo de desechos orgánicos de las comunidades.



## Acuífero Meoqui-Delicias, Isolínea de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, año 2006

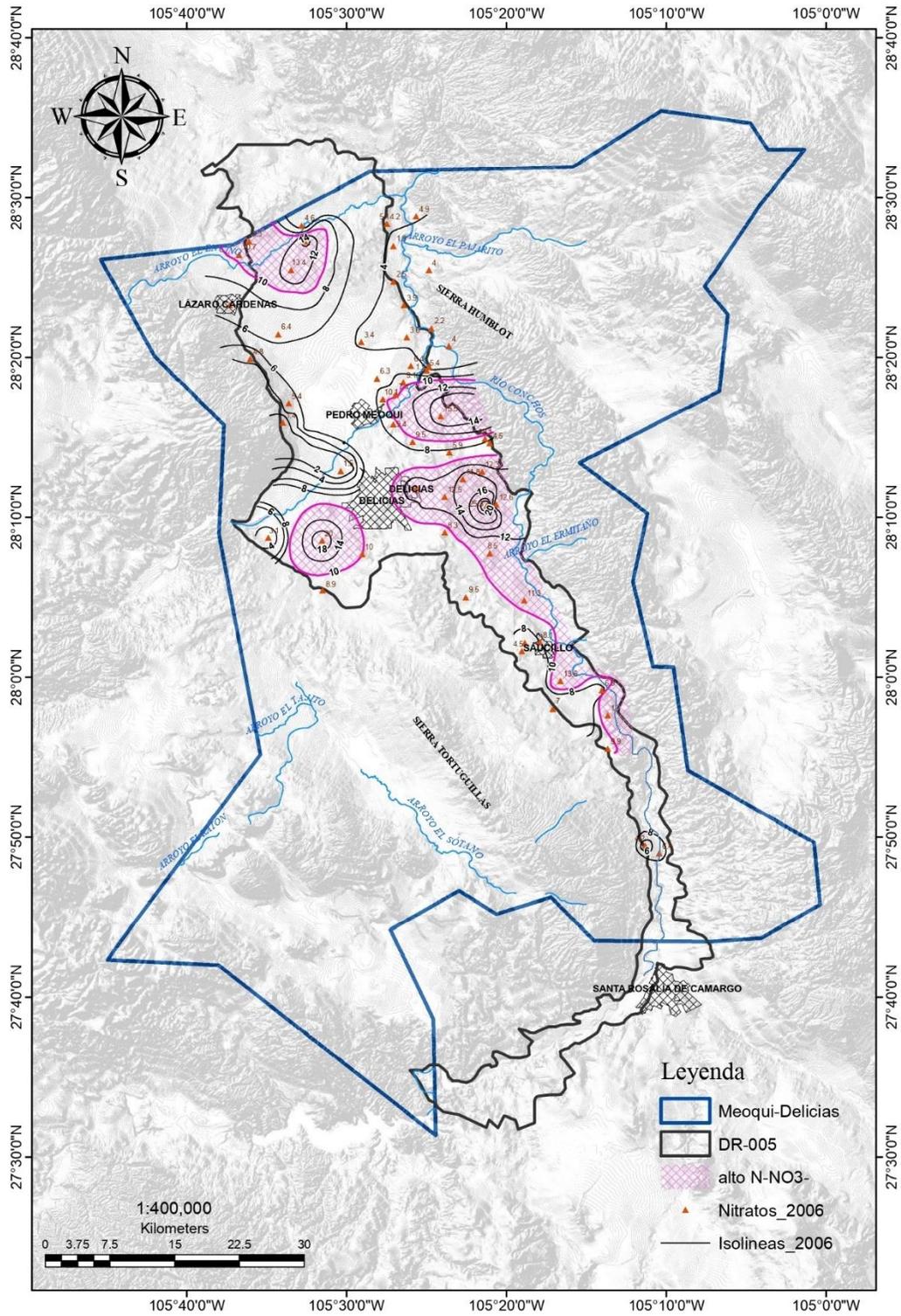


Figura 15 Isolíneas de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, acuífero Meoqui-Delicias 2006.



La última campaña de recolección de datos corresponde a fines del 2020 e inicios del 2021. Para esta fecha se observa que únicamente el 25% de los pozos censados sobrepasan la Norma Oficial Mexicana para agua potable (Mod. NOM-127-SSA1-1994). Haciendo la misma observación de las campañas anteriores, se tiene que en la parte noroeste del acuífero las concentraciones disminuyeron, ya que solamente el pozo de la comunidad de Potrero del Llano (M6) del municipio de Meoqui permanece por encima de la NOM con 11.9 mg/L, aunque comparado con el dato registrado en 2006, éste se encuentra a la baja. Por otra parte la concentración de nitratos en 10 de Mayo (M5) de Meoqui, así como Barranco Blanco (R2) y Santa Rita (R3) de Rosales, disminuyeron considerablemente al llegar a concentraciones de 3.6 mg/L, 5.4 mg/L y 4.2 mg/L respectivamente. Se observa también que el municipio de Delicias presenta las concentraciones más elevadas de nitratos en esta campaña de muestreo, con valores de hasta 23.2 mg/L en la comunidad de La Merced (D129), misma que en el año 2006 presentó una concentración de 12.09 mg/L. Así mismo se ve un aumento en Las Virginius (D133) que tuvo una concentración de nitratos de 20.1 mg/L, mientras que la Col. Nicolás Bravo (D138), que anteriormente no había presentado concentraciones elevadas, para el 2020 obtuvo un valor de 15 mg/L; para esta localidad se observa una elevación en la concentración de nitratos conforme pasan los años, ya que en 2003 tenía una concentración de 6.81 mg/L. Nuevamente destaca que esta zona de alto contenido de nitratos coincide con elevados valores de salinidad en términos de Conductividad Eléctrica, parámetro indicativo de un alto contenido de sales disueltas (Anexo 1). En Saucillo el pozo de Santa Rosa (S46) sigue disminuyendo con el tiempo, ya que para el año 2020 alcanzó una concentración de 17.8 mg/L; este mismo efecto sucede en Vicente Guerrero (S57), Orranteño (S47) y Puerto del Toro (S59), con 4.5 mg/L, 7.3 mg/L y 5.9 mg/L respectivamente para el año 2020 (Figura 16).

Se aprecia que la zona con mayor presencia de nitratos sigue siendo la ladera del Río Conchos, dentro del DR-005, en localidades que pertenecen a los principales municipios, Delicias, Meoqui y Saucillo. Se puede decir que en esta área se encuentran los establos de ganado bovino de mayor extensión, así como los cultivos y por ende, se infiere el uso de fertilizante, sin dejar de lado las fuentes puntuales como fosas sépticas de comunidades rurales que no cuentan con un adecuado sistema de drenaje y tratamiento de sus aguas residuales.



## Acuífero Meoqui-Delicias, Isolíneas de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, año 2020

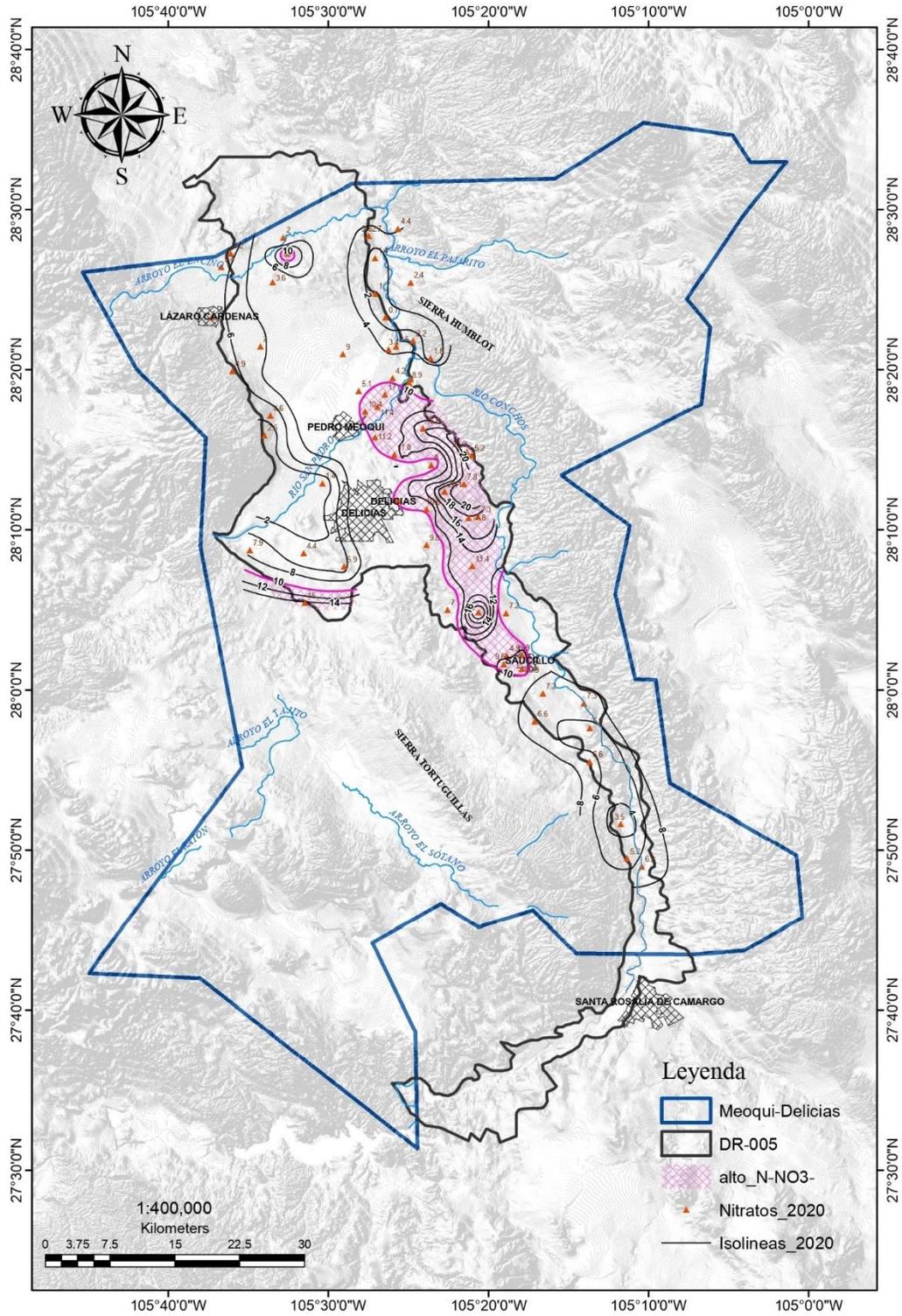


Figura 16 Isolíneas de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, acuífero Meoqui-Delicias 2020.



### 4.3 Análisis de tendencias en el tiempo de la concentración de nitratos

En esta sección se realiza el análisis de las tres bases de datos sobre nitratos (2003, 2006 y 2020) para identificar el comportamiento de este parámetro con respecto al tiempo en cada pozo estudiado.

El Anexo 2 contiene las gráficas de cada localidad en donde se comparan las concentraciones de  $N-NO_3^-$  correspondientes a cada año. En la tabla 4 se muestra la pendiente de la línea de tendencia resultante de la aplicación del análisis de regresión lineal a los datos de cada pozo. Tomando en cuenta los valores de dichas pendientes se estableció un criterio para clasificar los pozos en 5 categorías, dependiendo de la condición que muestran las concentraciones de nitratos vs el tiempo, es decir: a la alza (alta, pendiente entre 0.09 y 0.9), incremento muy leve con el tiempo (media alta, pendiente entre 0.05 y 0.09), sin cambio (igual, pendiente entre 0.05 y -0.05), disminución leve (media baja, pendiente entre -0.05 y -0.09) o disminución notable (baja con pendiente entre 0.09 y 0.9).

**Tabla 4** Resultado de pendiente de línea de tendencia para cada pozo del acuífero Meoqui-Delicias

MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	PENDIENTE	MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	PENDIENTE
S52	SAUCILLO	FRANCISCO I. MADERO	0.8267	R7	ROSALES	SALÓN DE ACTOS	-0.0773
D129	DELICIAS	LA MERCED	0.5844	M6	MEOQUI	POTRERO DEL LLANO	-0.0815
D133	DELICIAS	LAS VIRGINIAS	0.4681	J14	JULIMES	CARRIZO	-0.0831
D138	DELICIAS	COL. NICOLAS BRAVO	0.4665	D130	DELICIAS	SANTA FE	-0.0891
M24	MEOQUI	LAS PUENTES	0.332	M39	MEOQUI	BUENAVISTA	-0.1021
S98	SAUCILLO	EST. SAUCILLO	0.3211	J17	JULIMES	EL GRAMAL	-0.1081
M23	MEOQUI	LORETO	0.3001	LC69	LA CRUZ	CORRALEÑO DE JUAREZ	-0.1181
R35	ROSALES	LA GARITA	0.2961	J12	JULIMES	LABOR NUEVA	-0.1188
M42	MEOQUI	PROGRESO	0.2942	LC67	LA CRUZ	EST. LA CRUZ	-0.137
S50	SAUCILLO	ALTAMIRANO	0.2926	LC63	LA CRUZ	LAS PINTAS	-0.1383
D134	DELICIAS	COL. MIGUEL HIDALGO	0.2171	D137	DELICIAS	EJ. EL DIEZ	-0.1387
M27	MEOQUI	NVO. LORETO	0.1693	J13	JULIMES	BOQUILLA	-0.1565
J18	JULIMES	ARENILLAS	0.1574	D-136	DELICIAS	COL. ARMENDARIZ	-0.1867
M19	MEOQUI	EL TORREON	0.1026	M21	MEOQUI	GPE. VICTORIA	-0.1943
D126	DELICIAS	FRANCISCO I. MADERO	0.0948	J9	JULIMES	SAN JOSE	-0.2109
M26	MEOQUI	LOS JÁQUES	0.0848	S44	SAUCILLO	AMPLIACION LA MERCED	-0.2121
M25	MEOQUI	GRAN MORELOS	0.074	D119	DELICIAS	VICENTE GUERRERO	-0.2508
S56	SAUCILLO	SAUCILLO P3	0.0624	S47	SAUCILLO	ORRANTEÑO	-0.3005
M41	MEOQUI	SAN LUCAS	0.0615	J15	JULIMES	JULIMES	-0.323
M40	MEOQUI	EST. CONSUELO	0.038	R30	ROSALES	R. SAN VALENTIN	-0.3331
J16	JULIMES	EX. H. HUMBOLDT	0.0365	J10	JULIMES	LA REGINA	-0.3383
R38	ROSALES	ORINDA	0.026	R3	ROSALES	SANTA RITA	-0.3576
S60	SAUCILLO	PARRITAS	0.0043	S57	SAUCILLO	VICENTE GUERRERO	-0.3697
S62	SAUCILLO	EST. CONCHOS	-0.004	M22	MEOQUI	LOS GARCIA	-0.3723
M43	MEOQUI	LOMAS DE CONSUELO	-0.0332	R2	ROSALES	BARRANCO BLANCO	-0.3796
J11	JULIMES	LA ESPERANZA	-0.0333	S58	SAUCILLO	FCO. MEZQUITAL	-0.4015
D127	DELICIAS	COL. MORELOS	-0.0604	S59	SAUCILLO	PUERTO DEL TORO	-0.4242
S54	SAUCILLO	GOMEÑO	-0.0618	S46	SAUCILLO	STA. ROSA	-0.8346
M1	MEOQUI	L. CARDENAS	-0.0665	M5	MEOQUI	10 DE MAYO	-0.8403
S45	SAUCILLO	BELLA VISTA	-0.067	D139	DELICIAS	COL. CAMPESINA	-0.886



Los resultados de dicha clasificación se comentan a continuación (Figura 17).

- a) Alta. El 25% de las muestras consideradas para este estudio se encuentran en esta condición (círculos rojos en el mapa de la Figura 17). Al comparar los resultados obtenidos en las 3 campañas de muestreo se tiene que la pendiente es positiva (ente 0.09 y 0.9), es decir que la concentración de nitratos en el tiempo va aumentando; esto sucede principalmente en la parte central del acuífero en los municipios de Delicias y Meoqui donde los establos y los cultivos tienen mayor densidad. Sin embargo, la comunidad que mayor incremento ha tenido es Francisco I. Madero (S52) en Saucillo, la cual en los años 2003 y 2006 se había mantenido por debajo del límite máximo que establece la NOM-127 mientras que para el año 2020 se obtuvo una concentración muy por encima de ésta, llegando a 19.8 mg/L, por lo que la línea de tendencia presenta pendiente positiva. Las comunidades de Las Puentes (M23), Loreto (M23), Progreso (M42), El Torreón (M19) y Nuevo Loreto (M27) en Meoqui; Arenillas (J18) en Julimes; La Merced (D129), Las Virginias (D133), Francisco I. Madero (D126), Col. Miguel Hidalgo y Col. Nicolás Bravo (D138) en Delicias; así como las comunidades de Altamirano (S50), Est. Saucillo (S98) en Saucillo, tienen en común que se encuentran en las laderas de los Ríos San Pedro y Conchos y un comportamiento a la alza. Recordando que los nitratos se comportan como un contaminante móvil, se puede decir que han sido transportados desde una fuente puntual que podría ser la concentración de grandes establos en esta misma zona, y que influyen de manera constante a través del tiempo contaminando de manera creciente los cuerpos de agua.
- b) Media alta. Sólo 4 de las muestra censadas (6.66%) se encuentran en esta categoría (círculos rosa pálido en la Figura 17), y se trata de las comunidades en donde el comportamiento de los nitratos en el tiempo presenta un leve incremento (pendiente positiva entre 0.05 y 0.09), por esto se considera que los alores están a la alza pero no de una manera tan notable como los de la categoría anterior. Se tiene que los pozos de Los Jáques (M26), Gran Morelos (M25), San Lucas (M41) de Meoqui y el pozo 3 de Saucillo (S56), se encuentran dentro de esta categoría.
- c) Igual. Esta clasificación se refiere a las comunidades que han tenido una tendencia estable con el tiempo, lo que corresponden el 11.7% del total de las muestras (señalados con círculos azules). Las localidades de esta clasificación se encuentran dispersas en el acuífero: Est. Consuelo (M40) de Meoqui y Orinda (R38) de Rosales, ubicadas en pie de monte de Sierra Alta al Noroeste del acuífero; La Esperanza (J11) y Ex. Hacienda Humboldt de Julimes, que se encuentran a pie de monte de Sierra Humboldt en ladera del Río Conchos; y, al sur del acuífero, Parritas (S60) y Est. Conchos (S62) en el municipio de Saucillo, cercanas a la Sierra Boquilla.



- d) Media Baja. Esta clasificación corresponde a localidades que presentan un ligero comportamiento negativo en los resultados de la concentración de nitratos, es decir que la concentración va a la baja (círculos verde claro en el mapa). La mitad de estas localidades están al norte del acuífero cercanas al arroyo El Encino. Carrizo (J14), Potrero del Llano (M6), Salón de Actos (R7) y Lázaro Cárdenas (M1) se encuentran en esta zona, mientras que, al centro del acuífero, localidades como la Col. Morelos (D127) y Santa Fe (D130) en Delicias, y Bella Vista (S45) y Gomeño (S54) de Saucillo presentan esta característica.
- e) Baja. Con el paso del tiempo la mayoría de los pozos (43.3%) censados para este estudio mostraron una tendencia a la baja, es decir que ha disminuido la cantidad de nitratos presentes en el agua subterránea. Esta condición se presenta principalmente en los municipios de Julimes y Saucillo, con seis comunidades de cada uno con concentraciones a la baja, Meoqui y Delicias con cuatro y los municipios de La Cruz y Rosales con tres localidades cada uno. Las localidades que se encuentran alrededor de la ciudad de Delicias presentan tendencia a la baja siendo la Col. Campesina (D139) la que mayor pendiente negativa presenta, es decir es la que más disminución en la concentración de nitratos ha tenido con el tiempo ya que en los años 2003 y 2006 se encontraba por encima de la norma oficial mexicana NOM-127, con 17.71 mg/L y 19.99 mg/L respectivamente, y para el año 2020 se registraron 4.4 mg/L de concentración, mostrando un comportamiento a la baja considerable.

En resumen, del análisis anterior se infiere que aproximadamente una tercera parte de los pozos analizados presentaron un incremento leve o significativo en la concentración de nitratos con respecto al tiempo, mismos que se ubican preferentemente en la porción central del acuífero, lejos de las zonas de recarga.

Por el contrario, la mayoría de las fuentes ubicadas en las cercanías de las áreas de recarga natural del acuífero, como son la Sierra Alta, al poniente, y las Sierras Humboldt y Boquilla en la porción oriental del mismo, se muestran sin cambio o con descenso en la concentración de nitratos, probablemente debido a la recarga natural. Además, la disminución de nitratos observada en la sección noreste del distrito de riego DR-005, específicamente en los pozos del municipio de Julimes ubicados en ambos flancos del río Conchos, sugieren una posible dilución del agua en la zona, a consecuencia de las aportaciones del riego superficial realizado con agua procedente de la presa Francisco I. Madero (Las Vírgenes).

Por otra parte, cabe la posibilidad de considerar otra contribución a la disminución de nitratos observada de manera más específica durante el reciente muestreo, ya que éste fue realizado en la época invernal, cuando las maniobras de cultivo (como aplicación de fertilizantes) y riego en la zona disminuyen drásticamente; lo anterior puede ser un factor favorable para que en los suelos regados se presente el fenómeno natural de



desnitrificación biológica, que consiste en la actividad de bacterias anaerobias que, siendo las condiciones favorables, pueden reducir los nitratos a nitritos y finalmente a nitrógeno gaseoso, lo que se considera como un proceso natural de descontaminación en relación a este parámetro.

### Acuífero Meoqui-Delicias, Tendencia de concentración de Nitratos en el tiempo

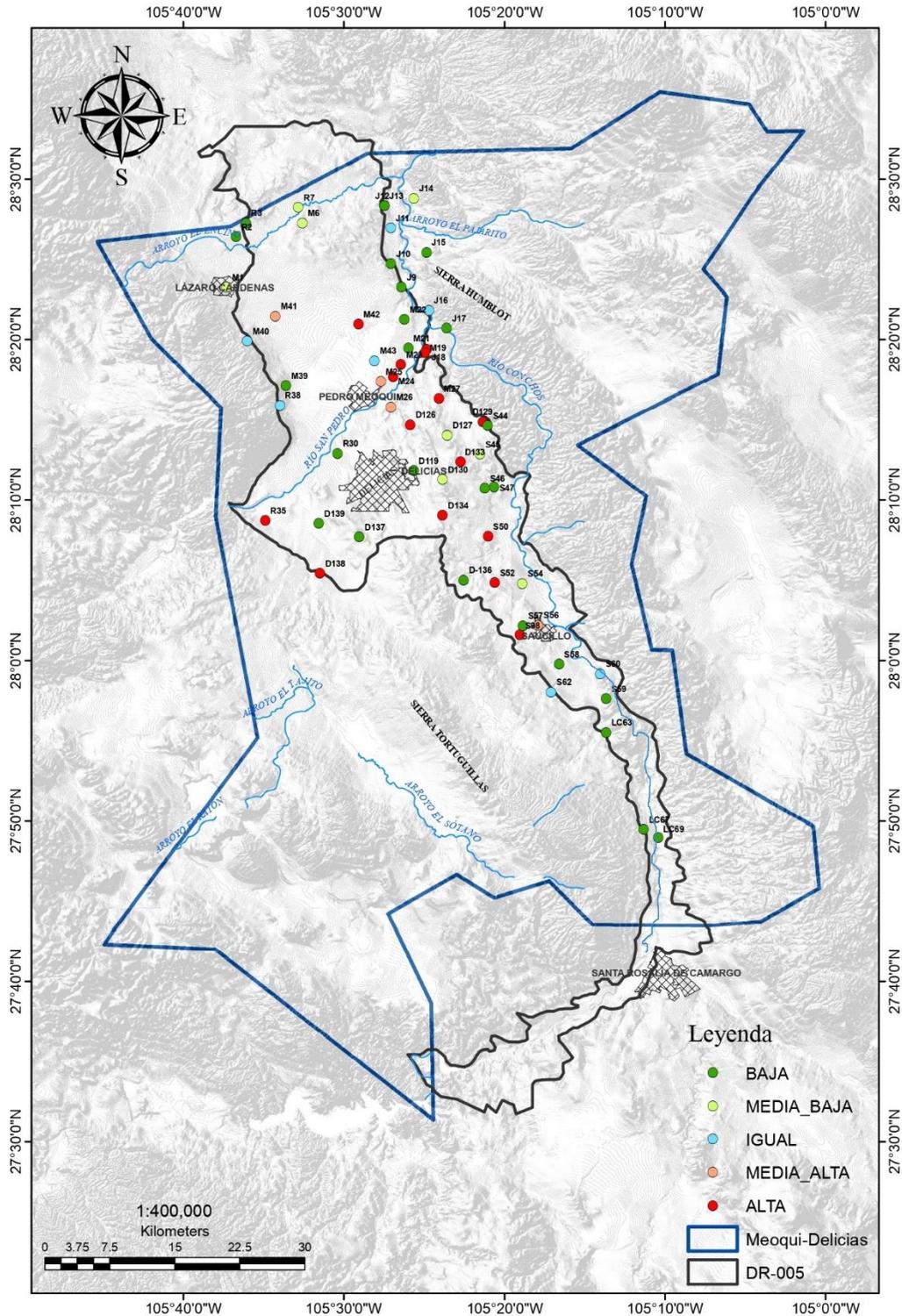
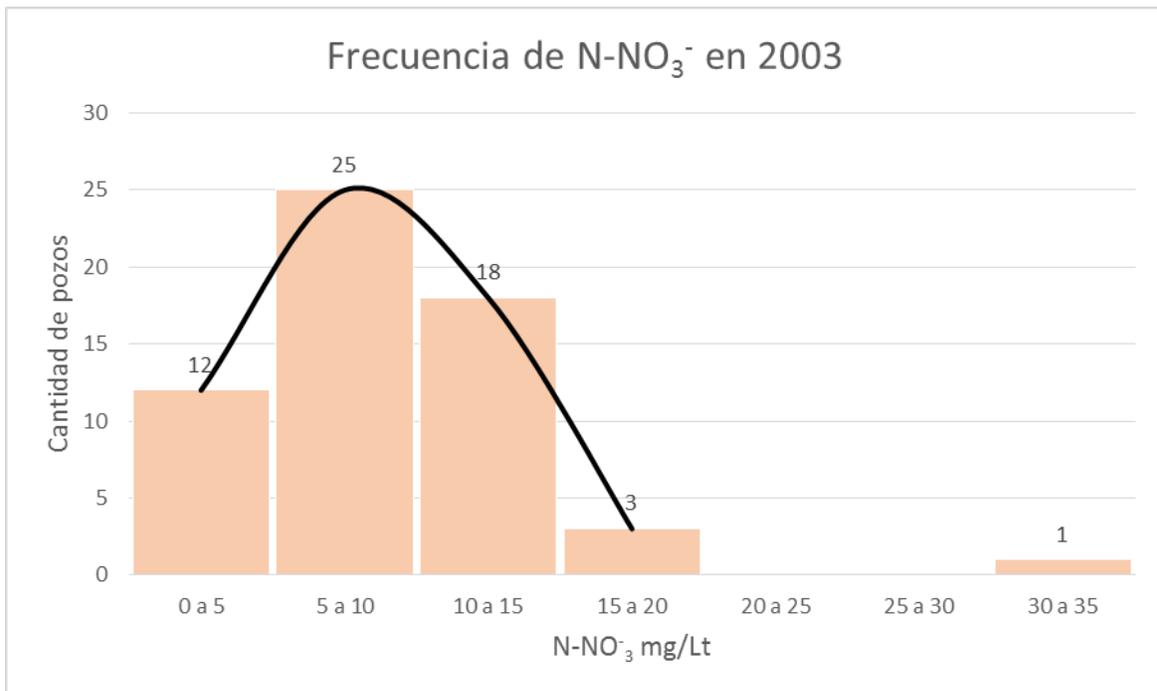


Figura 17 Tendencia de concentración de nitratos en acuífero Meoqui-Delicias, año 2020



#### 4.4 Consideraciones estadísticas

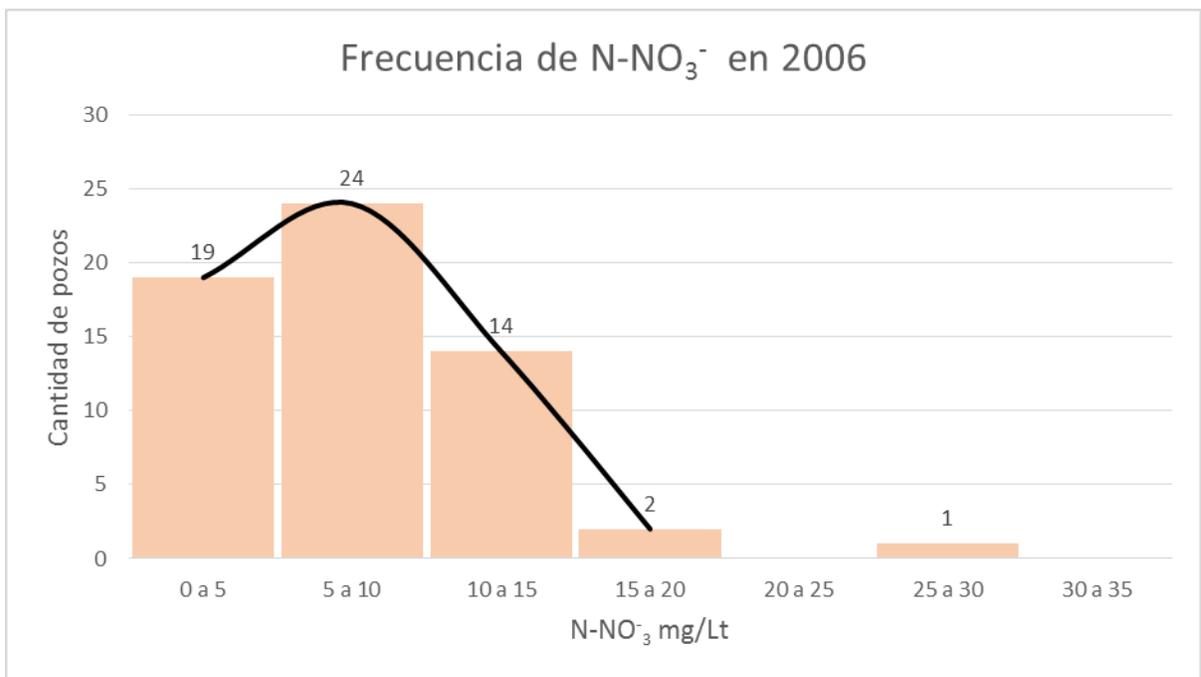
Respecto al análisis estadístico, que es de gran apoyo para el análisis del comportamiento de contaminantes en el agua subterránea, se obtuvo el gráfico de frecuencias para cada año en que se registró el contenido de nitratos en el agua potable del acuífero de interés. Para los datos del 2003 la mayor frecuencia de datos se encuentran en el rango de concentración de 5-10 mg/L, en donde 25 de los 59 pozos considerados en ese año se encuentran dentro de este rango. Es seguido por el rango de 10-15 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  con 18 registros, y 4 de los pozos censados que están por encima de 15 mg/L. En resumen se observa que el 37.28% de los pozos correspondientes a este estudio están por encima de lo establecido por la Modificación a la NOM 127 (Figura 18).



**Figura 18** Gráfica de frecuencia de datos, concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  2003.



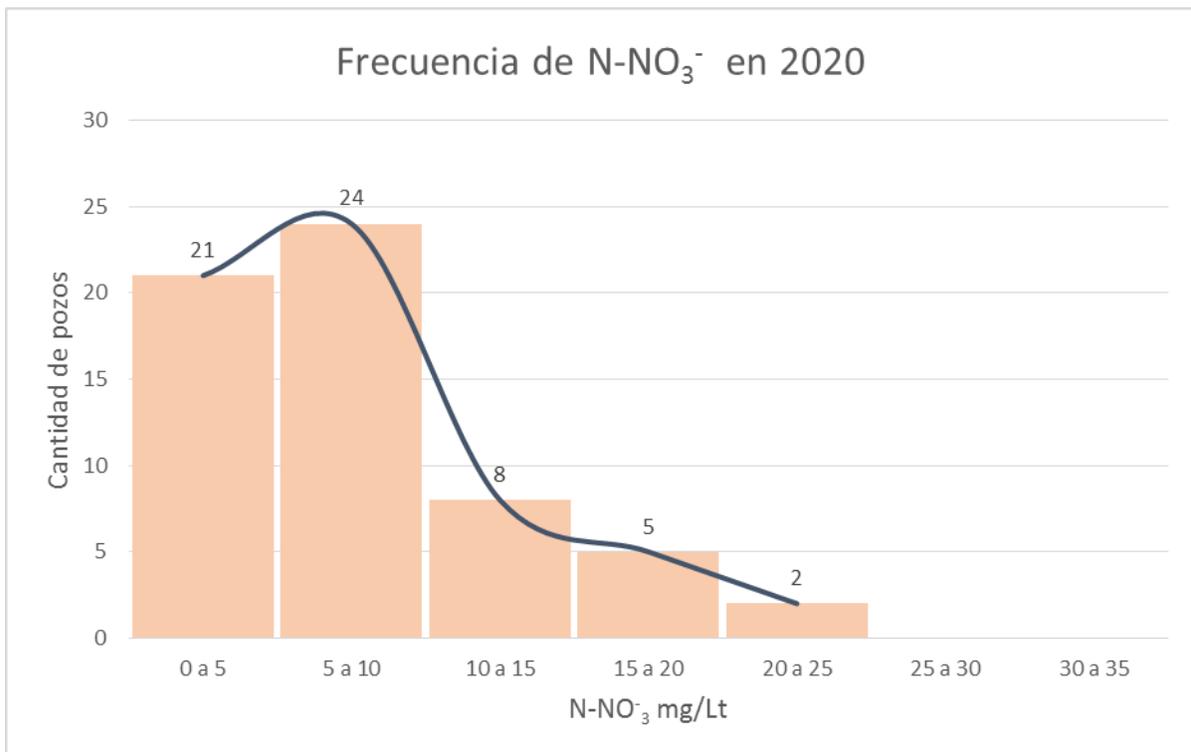
El registro de datos del 2006 presenta un comportamiento similar al observado en 2003 ya que el rango de datos que se encuentra entre 5 y 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  presenta la mayor frecuencia. En esta categoría se registraron 24 de los 60 pozos del estudio, es decir, el 40% de las localidades investigadas. También en este año se observa un aumento en la categoría de 0 a 5 mg/L, en la que están registradas 19 localidades (31.6% del total). En resumen, el 28.3% de las muestras se encuentran por encima de los 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  permitidos para agua potable por la NOM 127, registrando 14 de los 60 pozos en un rango de 10-15 mg/L, dos que se encuentran entre 15 y 20 mg/L y una de las localidades que alcanzó un valor mayor a 25 mg/L (Santa Rosa, en Saucillo) (Figura 19).



**Figura 19** Grafica de frecuencia de datos, concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  2006



La campaña de 2020 presenta la mayor concentración de datos entre las categorías de 0 a 5 mg/L y de 5 a 10 mg/L con 35% y 40% de las localidades respectivamente. Esto indica que el 75% de las localidades censadas durante esta campaña de muestreo se encuentran dentro de norma. Del 25% restante que sobrepasan lo máximo permitido por la Modificación a la NOM 127, un 46.66% llegan a concentraciones mayores a 15 mg/L, siendo las localidades de La Merced y Las Virginias (ambas del municipio de Delicias) las que presentan las concentraciones más elevadas de este estudio, con 23.2 y 20.1 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  respectivamente (Figura 20).



**Figura 20** Gráfica de frecuencia de datos, concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  2020

Después de analizar las 3 gráficas de frecuencias, se observa que la cantidad de localidades en el rango de 0 a 5 mg/L aumenta desde el 2003 hasta el 2020; la mayor frecuencia de datos en los 3 casos se encuentra entre 5 y 10 mg/L, mientras que los valores elevados (mayor a 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  permitido por la NOM 127) disminuyen desde 2003 con 22 localidades, al 2006 con 17 localidades y al 2020 con 15 localidades.



Así mismo se analizaron las medidas de dispersión (rango, varianza y desviación estándar) para cada localidad. Estos parámetros tienen como objetivo analizar el grado de separación de los valores con respecto a la media aritmética (promedio) o la mediana. Así mismo se obtuvo la significancia estadística, la cual sirve para determinar si el valor obtenido muestra que las variables “X”-“Y” están relacionadas o sólo presentan relación como consecuencia del azar. Para el municipio de Delicia se analizaron estadísticamente 11 localidades; en Julimes, 10 localidades; en La Cruz, 3 localidades; en Meoqui, 16 localidades; en Rosales, 6 localidades; y en el municipio de Saucillo fueron 14 localidades analizadas (Anexo 3).

En el Anexo 2 se presenta el análisis gráfico de tendencia de los datos de cada uno de los aprovechamientos que cuenta con datos de calidad de agua. Debido a que sólo se cuenta con tres registros de datos (tres fechas), éstos no son suficientes para realizar un análisis estadísticamente representativo de persistencia, ya que es necesario contar con una serie de tiempo de datos con una mayor cantidad de registros para que se pueda evaluar la significancia en la correlación de los datos.



## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al realizar el análisis de las tres campañas de recolección de datos de campo y de concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en alrededor de 60 pozos de agua potable del acuífero Meoqui-Delicias en el Estado de Chihuahua, se contó con datos para la elaboración de mapas de isolíneas de concentración de nitratos para cada año. Estos mapas permiten observar que la *mancha* del contaminante ha disminuido tanto en la porción noroeste como al oriente y sur del acuífero. Sin embargo persiste en la porción central del mismo con valores por encima del límite máximo permisible para agua de consumo humano establecido por la Modificación a la NOM-127 (10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ ).

El análisis de tendencia con respecto al tiempo, identificando cinco categorías, permite apreciar que la mayoría de las localidades (43.3%) presentan una tendencia a la baja en la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  para el año 2020 comparada con los años 2003 y 2006. Entre las posibles razones que pueden justificar dicha disminución se encuentran la cercanía de los pozos que muestran tal comportamiento con las zonas naturales de recarga del acuífero, la disminución de actividades de riego y de aplicación de insumos agrícolas (fertilizantes nitrogenados) y el posible efecto natural de desnitrificación biológica efectuado por bacterias reductoras en condiciones anaerobias.

Por otra parte, una gran cantidad de localidades (31.7%) se encuentran a la alza en los resultados de  $\text{N-NO}_3^-$ , las cuales se concentran principalmente en el centro del acuífero, en una zona cercana a la junta de los ríos principales, el Río Conchos y Río San Pedro. Al respecto, algunas localidades de los municipios de Delicias y Meoqui encabezan esta categoría, lo que puede deberse a la gran cantidad de establos de ganado lechero que se localizan en esta zona del acuífero y, por lo tanto, la lixiviación e infiltración de grandes cantidades de desechos orgánicos hacia el agua subterránea. Estos contaminantes móviles en el agua no son adsorbidos por los materiales del acuífero ni precipitan como un mineral, persistiendo en el mismo, además de ser capaces de viajar grandes distancias en un ambiente poroso o fracturado, como es el caso del acuífero Meoqui-Delicias.

Respecto al análisis estadístico se observa que la mayoría de los resultados obtenidos en las diferentes campañas de muestreo se encuentran en el rango de 0 a 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  y que existe una disminución en la cantidad de localidades que presentaban altos valores, lo que se considera como un indicador favorable para la calidad del agua subterránea del acuífero en estudio.

Por otra parte es importante señalar que es necesario realizar periódicamente campañas de muestreo en la zona para de esta forma conseguir una serie de tiempo más completa con respecto a la concentración de nitratos y otros elementos considerados como contaminantes del agua subterránea, tanto de origen natural (por contacto con la roca y materiales del medio acuífero) como antropogénico, dada gran la importancia de este



acuífero ubicado en el estado de Chihuahua, tanto desde el punto de vista hidrogeológico como ambiental y socioeconómico.

De igual manera se considera necesario que, por parte de las autoridades correspondientes, se establezcan medidas de control y regulación de la aplicación de fertilizantes en las áreas de cultivo, así como la implementación de sistemas de tratamiento y/o disposición adecuada de los residuos procedentes de los establos ganaderos tan ampliamente distribuidos en la zona de estudio, a fin de evitar el crecimiento del problema que representa la actual contaminación por nitratos en este importante acuífero.

Como área de oportunidad para estudios futuros se sugiere efectuar análisis de correlación de la concentración de nitratos con respecto a la profundidad de los aprovechamientos o de los niveles de agua subterránea, para lo cual es posible que se requiera efectuar trabajos de campo que permitan levantar un censo de pozos en el que se recabe dicha información.



## Bibliografía Consultada

- Aboites, L. (1999). *Breve historia de Chihuahua*. México: Fondo de la Cultura Económica.
- Barrera, Y. (2008). *Estudio hidrogeoquímico y de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Meoqui-Delicias del Estado de Chihuahua*. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Brenes, R., Cadena, A., & Ruiz-Guerrero, R. (2011). Monitoreo de la concentración de nitrato en el acuífero del Valle de Puebla. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(4).
- CNA. Comisión Nacional del Agua (1990). *Políticas de Operación del acuífero Delicias-Meoqui, Estado de Chihuahua*.
- CNA. Comisión Nacional del Agua (2002). *Síntesis del Proyecto de Modernización y Tecnificación de los Distritos de Riego del Río Conchos*. México: Comisión Nacional del Agua.
- CNA. Comisión Nacional del Agua (2003). *Monitoreo y análisis de la calidad del agua en las localidades emplazadas en los acuíferos Jimenez-Camargo y Meoqui-Delicias*. Chihuahua: Comisión Nacional del Agua.
- CNA. Comisión Nacional del Agua (2020). *Actualización del Estudio Geohidrológico del Acuífero Meoqui- Delicias, Chihuahua*. Gerencia de Aguas Subterráneas. Chihuahua: Comisión Nacional del Agua.
- Espino, M.S., Herrera, E., & Barrera, Y. (Enero-Abril de 2009). Presencia de arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua, México. *Tecnociencia*, III(1), 8-18.
- Espino, M.S., Rubio, H., & Navarro, C. (2007). Nitrate pollution in the Delicias-Meoqui acuífero of Chihuahua, Mexico. *Transactions on Biomedicine and Health*, 11, 189- 196.
- Espino-Valdés, M.S., Navarro-Gómez, C., & Royo-Ochoa, M. (2011). Evaluación del Origen de Nitratos en el Agua Subterránea de Delicias, Chihuahua, Usando Técnicas Isotópicas. *Avances de las mujeres en la ciencia. Las Humanidades y Todas las Ciencias. Libro Científico*.
- Freeze, R., & Cherry, J. (1979). *Groundwater*. New Jersey: Prentice- Hall, Inc.
- GOB. Gobierno del Estado de Chihuahua (2004). *Programa Sectorial, Desarrollo Rural 2004- 2010*.
- Gutiérrez, M., Biagioni, R., Alarcón-Herrera, M., & Rivas-Lucero, B. (2018). An overview of nitrate sources and operating processes in arid and semiarid aquifer systems. *Science of the Total Environment*, 1513-1522.



- Gutiérrez, M., Calleros-Rincón, E., Espino-Valdés, M., & Alarcón-Herrera, M. (2021). Role of Nitrogen in Assessing the Sustainability of Irrigated Areas: Case Study of Northern Mexico. *Water, Air and Soil pollution*, 232-248.
- Heaton, T. (1985). Isotopic and chemical aspects of nitrate in the ground waer of the Springbok Flats. *Water, SA.*, 11(4), 199-208.
- Hernández-Espriú, A., Domínguez-Mariani, E., Reyna-Gutiérrez, J., Martínez-Santos, P., Sánchez-León, E., & Marín, L. (2013). Nitrate mass balance in agricultural areas of intensive fertilizer application: the North Maresme aquifer system case study (Spain). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(1).
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (1999). *Estudio Hidrológico del Estado de Chihuahua*.
- Kendall, C., & McDonnell, J. (1998). *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Amsterdam: Elsevier Science B. V.
- Larios, L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Archivo Médico de Camagüey*, 13(2).
- Mahlknecht, J., Horst, A., Hernández-Limón, G., & Aravena, R. (2008). Groundwater geochemistry of the Chihuahua City region in the Rio Conchos Basin (northern Mexico) and implications for water resources management. *Hydrol*, 22, 4736-4751.
- Martínez, P. (2001). *Relación del Arsenico con el Sistema Hidrogeológico Regional en el Área de Delicias, Chihuahua*. Chihuahua: Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Miguel-Fernández, C., & Vázquez-Taset, Y. (2006). Origen de los Nitratos (NO<sub>3</sub>) y Nitritos (NO<sub>2</sub>) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 22(3), 1-9.
- Montiel, S., Armienta, M., Rodríguez, R., & Domínguez, E. (2014). Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la Cuenca de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(2), 149-165.
- Mutewekil, O., Muheeb, A., & Hussein, A.-M. (2013). Impact of a domestic wastewater treatment plant on groundwater pollution, North Jordan. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(2).
- OMS. Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (Tercera ed., Vol. 1).
- Pacheco, J., & Calabera, A. (2003). Fuentes pricipales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, 7(2), 47-54.



- Palomares, A. E. (2013). *Esfera del agua*. Obtenido de Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento: <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>
- Rascón, B. (2011). *Estudio hidrogeoquímico y de vulnerabilidad a la contaminación de la porción Sur del acuífero Meoqui-Delicias, del Estado de Chihuahua*. Tesis de maestría de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Rivas-Lucero, B., Chacón-Sotelo, J., Segovia-Lerma, A., & Morales-Morales, H. (2008). Valoración de la distribución espacial de establos lecheros para la gestión de los residuos generados en la cuenca de Delicias, Chihuahua. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 185-193.
- Saucedo, R. (1996). *La Calidad del Agua y el Uso de Fertilizantes y Plaguicidas en los Municipios de Delicias, Rosales y Meoqui del Estado de Chihuahua*. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Secretaría de Salud. (1993). *NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-014-SSA1-1993 "PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PUBLICOS Y PRIVADOS"*. México D.F.
- Secretaría de Salud. (2000). *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. México D.F.
- SGM, Servicio Geológico Mexicano (2000). *Carta Geológico Minera de la Ciudad de Delicias Chihuahua, H13-11*.



## **ANEXOS**



## Anexo 1

Datos de campo año 2020, contenido de nitratos para 2003, 2006 Y 2020.

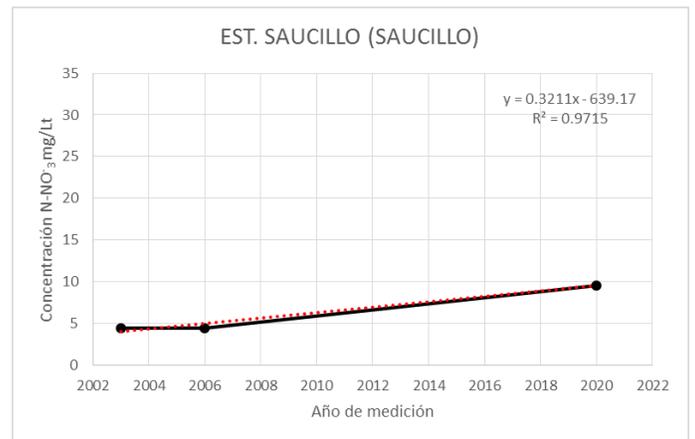
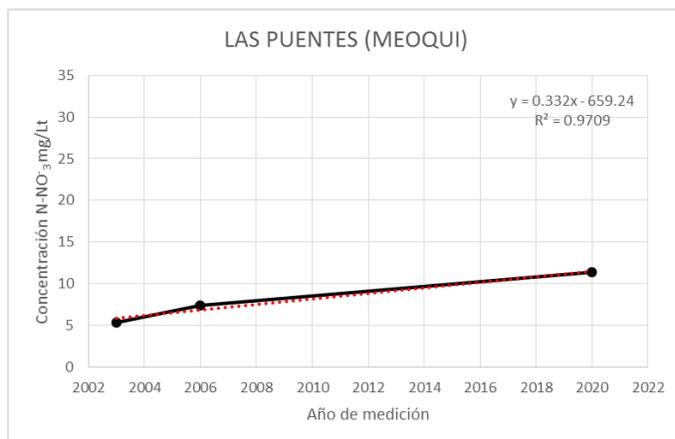
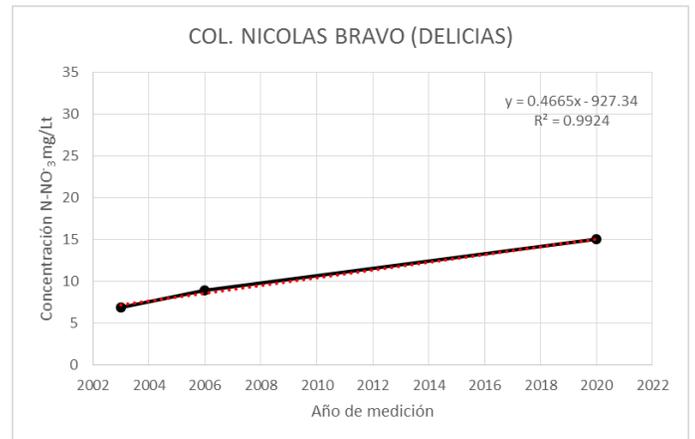
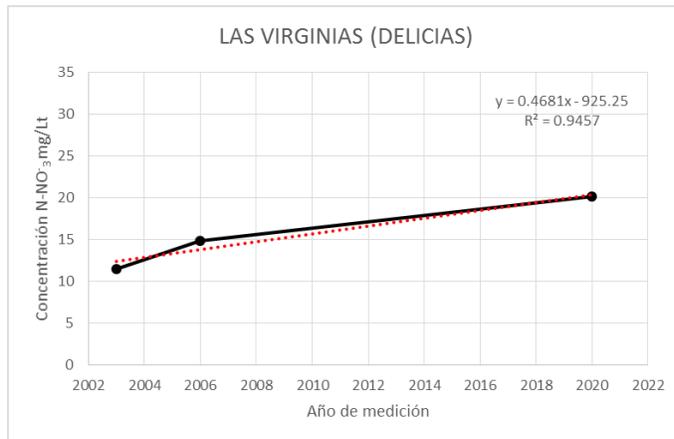
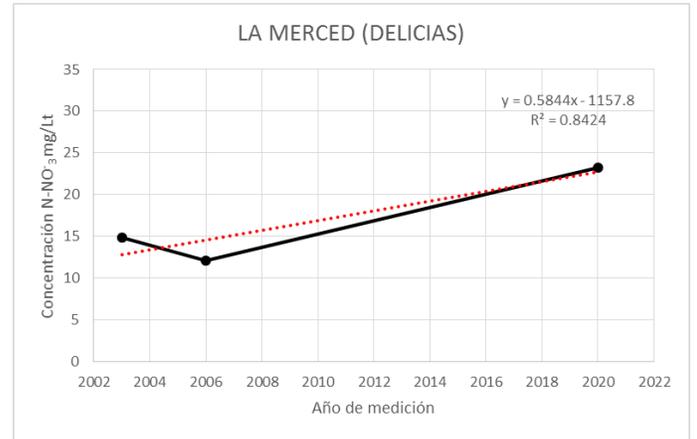
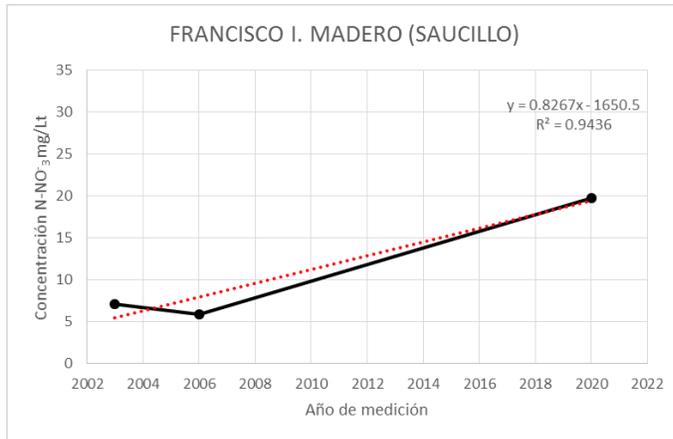
MUESTRA	COORDENADAS		MUNICIPIO	LOCALIDAD	TEMP °C	pH	SDT	CE $\mu$ mohs/cm	2003	2006	2020
	Y	X							N-NO <sub>3</sub> mg/Lt	N-NO <sub>3</sub> mg/Lt	N-NO <sub>3</sub> mg/Lt
D119	28.197	-105.428	DELICIAS	VICENTE GUERRERO	18.18	7.13	1128	1611/1403	17.16	12.47	11.5
D126	28.2449	-105.4316	DELICIAS	FRANCISCO I. MADERO	21.34	7.26	775	1107/1030	10.73	9.49	11.8
D127	28.234	-105.393	DELICIAS	COL. MORELOS	23.45	7.35	1333	1905/1845	10.63	5.93	8
D129	28.248	-105.356	DELICIAS	LA MERCED	26.12	6.39	794	1134/1158	14.87	12.10	23.2
D130	28.188	-105.398	DELICIAS	SANTA FE	18.23	7.3	2059	2942/2565	12.08	12.47	10.8
D133	28.206	-105.379	DELICIAS	LAS VIRGINIAS	24.04	6.72	1307	1867/1833	11.43	14.84	20.1
D134	28.1506	-105.3977	DELICIAS	COL. MIGUEL HIDALGO	24.73	7.48	862	1231/1225	5.28	8.27	9.8
D-136	28.0833	-105.376	DELICIAS	COL. ARMENDARIZ	25.74	7.19	863	1233/1251	10.21	9.55	7
D137	28.128	-105.484	DELICIAS	EJ. EL DIEZ	20	7.34	519	744/674	7.05	10.04	5.9
D138	28.0905	-105.525	DELICIAS	COL. NICOLAS BRAVO	21.42	5.98	1057	1510/1409	6.81	8.94	15
D139	28.1421	-105.526	DELICIAS	COL. CAMPESINA	25.03	7.7	520	743/744	17.71	19.99	4.4
J9	28.3878	-105.4404	JULIMES	SAN JOSE	18.27	8.27	1056	1510/1313	4.17	3.86	0.7
J10	28.4122	-105.4514	JULIMES	LA REGINA	22.86	7.09	1587	2267/2175	8.51	2.54	1
J11	28.4494	-105.4517	JULIMES	LA ESPERANZA	23.11	7.46	1031	1474/1419	1.93	1.93	1.4
J12	28.4723	-105.4583	JULIMES	LABOR NUEVA	22.26	7.11	1429	2043/1948	4.17	5.08	2.6
J13	28.4723	-105.4583	JULIMES	BOQUILLA	22.2	7.11	1429	2043/1948	5.76	4.16	2.7
J14	28.4801	-105.4277	JULIMES	CARRIZO	18.98	7.32	1221	1741/1543	6.19	4.88	4.4
J15	28.4241	-105.4144	JULIMES	JULIMES	23.54	7.04	1193	1704/1659	9.52	3.96	2.4
J16	28.3636	-105.4121	JULIMES	EX. H. HUMBOLDT	19.8	7.43	890	1271/1146	1.28	2.23	2.2
J17	28.3451	-105.3936	JULIMES	EL GRAMAL	13.73	7.51	720	1029/808	3.28	3.96	1.8
J18	28.3235	-105.4144	JULIMES	ARENILLAS	25.48	7.19	840	1200/1210	3.11	1.93	5.2
LC63	27.925	-105.228	LA CRUZ	LAS PINTAS	18.63	7.3	762	1068/961	8.22	9.86	6.6
LC65	27.86	-105.196	LA CRUZ	LA CRUZ	21.9	7.76	914	1304/1223			3.5
LC67	27.824	-105.189	LA CRUZ	EST. LA CRUZ	21.63	7.2	739	1056/993	9.16	4.15	5.2
LC69	27.816	-105.174	LA CRUZ	CORRALEÑO DE JUAREZ	25.1	7.35	884	1264/1268	9	6.41	6.2
M1	28.3878	-105.6219	MEOQUI	L. CARDENAS	20.92	7.27	401	572/528	5.14	6.60	4.6
M5	28.4243	105.558	MEOQUI	10 DE MAYO	24.49	8.25	469	670/664	18.96	13.41	3.6
M6	28.4544	-105.5432	MEOQUI	POTRERO DEL LLANO	18.73	7.91	953	1361/1199	12.3	14.83	11.9
M19	28.3198	-105.4165	MEOQUI	EL TORREON	14.12	7.98	701	1051/794	8.3	5.38	8.9
M21	28.3244	-105.4333	MEOQUI	GPE. VICTORIA	22.13	7.21	739	1055/998	7.79	6.40	4.2
M22	28.3542	-105.4375	MEOQUI	LOS GARCIA	25.17	7.48	842	1203/1207	12.51	3.56	3.4
M22.2	28.3572	-105.4299	MEOQUI	LOS GARCIA	13.5	7.23	1000	1428/1117			2.5
M23	28.3073	-105.4411	MEOQUI	LORETO	18.67	8.04	690	986/877	13.91	9.14	17
M24	28.2947	-105.4492	MEOQUI	LAS PUENTES	21.87	7.43	539	769/722	5.39	7.42	11.4
M25	28.2896	-105.4622	MEOQUI	GRAN MORELOS	22.02	7.29	604	863/814	8.76	10.06	10.4
M26	28.2632	-105.4514	MEOQUI	LOS JÁQUES	27.18	7.54	355	507/528	10.07	9.45	11.2
M27	28.2722	-105.4019	MEOQUI	NVO. LORETO	27.71	7.12	675	964/1011	11.76	15.54	15.8
M39	28.2854	-105.5604	MEOQUI	BUENAVISTA	10.78	7.93	383	547/399	6.69	5.38	4.6
M40	28.3317	-105.6005	MEOQUI	EST. CONSUELO	21.77	7.03	398	567/533	4.03	4.77	4.9
M41	28.3575	-105.5713	MEOQUI	SAN LUCAS	17.49	7.37	434	620/531	5.81	6.40	7
M42	28.3492	-105.4851	MEOQUI	PROGRESO	22.27	7.51	618	883/837	4.84	3.35	9
M43	28.3112	-105.4684	MEOQUI	LOMAS DE CONSUELO	24.29	7.36	727	1039/1025	5.26	6.30	5.1
R2	28.4402	-105.6121	ROSALES	BARRANCO BLANCO	22.38	7.38	587	838/796	11.88	10.67	5.4
R3	28.4544	-105.6019	ROSALES	SANTA RITA	17.51	7.49	429	613/526	11.88	6.30	4.2
R7	28.4707	-105.5473	ROSALES	SALON DE ACTOS	24.29	8.11	490	699/690	2.49	4.58	2
R30	28.215	-105.5066	ROSALES	R. SAN VALENTIN	15.85	8.15	418	597/493	9.56	1.52	1.4
R35	28.1452	-105.582	ROSALES	LA GARITA	23.14	6.9	951	1357/1308	3.2	3.15	7.9
R38	28.265	-105.5666	ROSALES	ORINDA	12.77	7.58	330	471/362	2.45	1.42	2.5
S44	28.244	-105.351	SAUCILLO	AMPLIACION LA MERCED	19.87	7.55	583	833/752	10.84	4.47	5.2
S45	28.214	-105.359	SAUCILLO	BELLA VISTA	21.1	7.76	575	820/759	6.99	12.28	7.8
S46	28.1787	-105.3541	SAUCILLO	STA. ROSA	21.17	6.97	817	1167/1080	34.3	25.28	17.8
S47	28.1799	-105.3443	SAUCILLO	ORRANTEÑO	22.44	7.03	735	1049/998	11.81	12.60	7.3
S50	28.129	-105.3507	SAUCILLO	ALTAMIRANO	23	7.48	581	833/792	8.85	8.53	13.4
S52	28.0806	-105.3437	SAUCILLO	FRANCISCO I. MADERO	22.98	7.56	755	1029/1039	7.03	5.89	19.8
S54	28.0798	-105.3149	SAUCILLO	GOMEÑO	21.03	7.31	786	1122/1038	6.48	11.29	7.2
S56	28.0363	-105.2984	SAUCILLO	SAUCILLO P3	24.61	6.74	834	1191/1182		8.13	9
S56.2	28.0216	-105.2984	SAUCILLO	SAUCILLO P8	27.01	7.23	843	1206/1249			10.9
S57	28.0358	-105.3145	SAUCILLO	VICENTE GUERRERO	24.94	7.58	456	651/650	13.04	5.58	4.5
S58	27.996	-105.277	SAUCILLO	FCO. MEZQUITAL	15.43	7.15	1020	1457/1192	13.59	13.61	7.2
S59	27.96	-105.228	SAUCILLO	PUERTO DEL TORO	22.42	7.62	444	634/602	13.03	11.99	5.9
S60	27.986	-105.234	SAUCILLO	PARRITAS	22.43	7.28	454	649/615	7.41	6.91	7.3
S62	27.967	-105.285	SAUCILLO	EST. CONCHOS	23.44	7.37	793	132/1101	6.48	7.00	6.6
S98	28.0268	-105.3176	SAUCILLO	EST. SAUCILLO	22.17	7.22	668	954/904	4.49	4.47	9.6



## Anexo 2

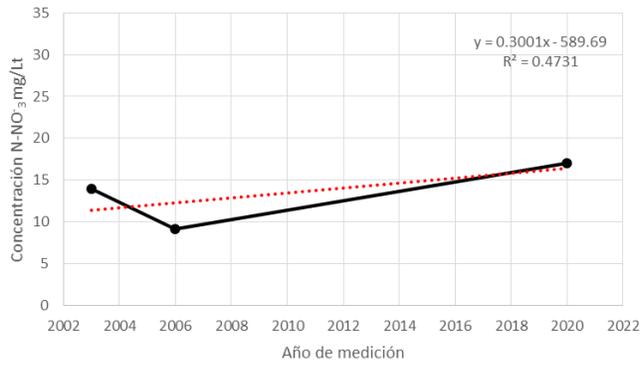
Gráficas de tendencia de la concentración de nitratos en el tiempo de cada pozo

a) Alta:

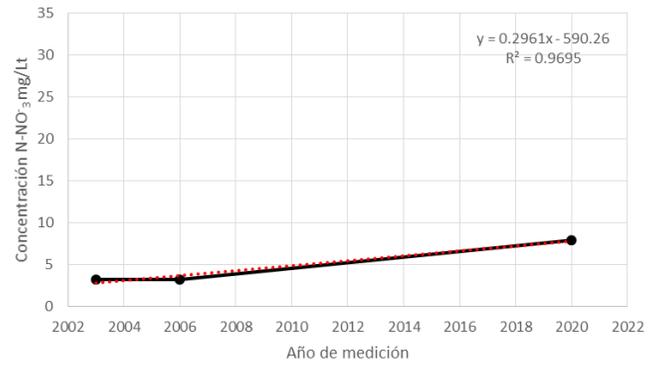




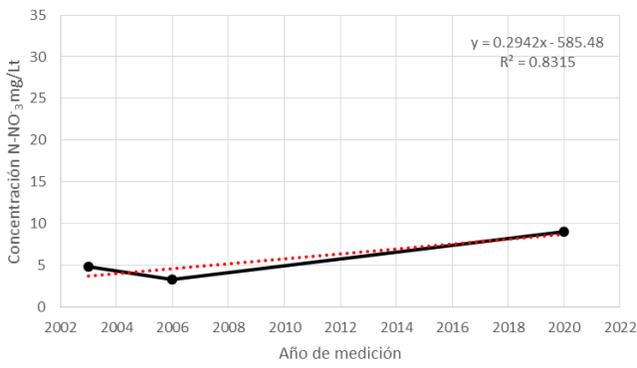
### LORETO (MEOQUI)



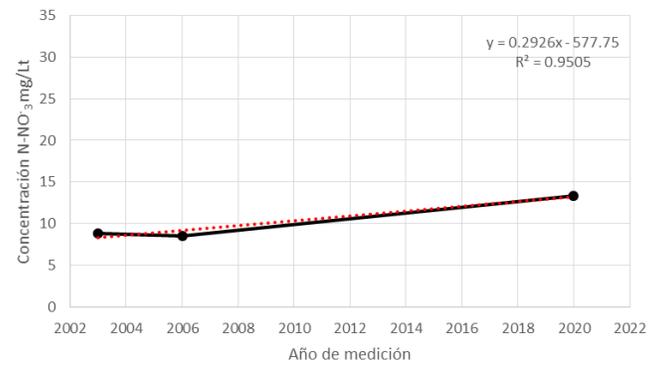
### LA GARITA (ROSALES)



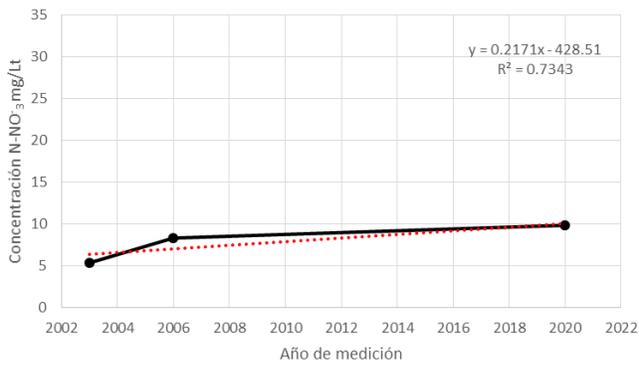
### PROGRESO (MEOQUI)



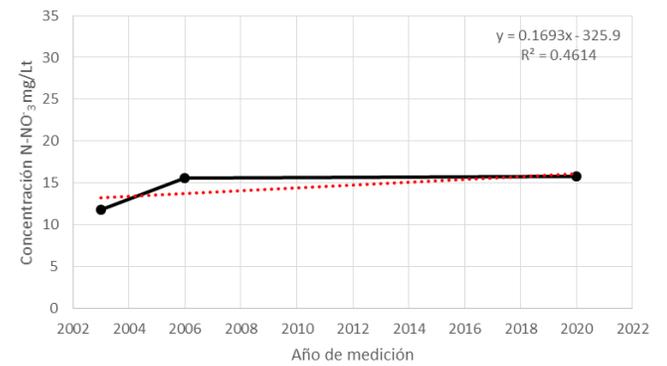
### ALTAMIRANO (SAUCILLO)



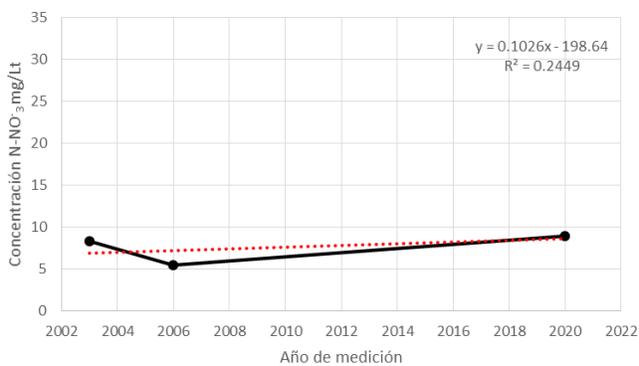
### COL. MIGUEL HIDALGO (DELICIAS)



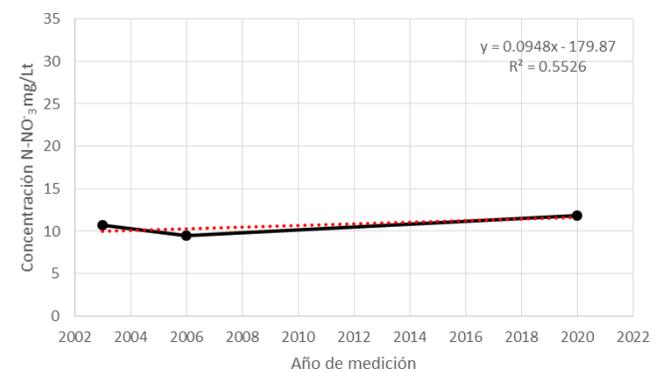
### NVO. LORETO (MEOQUI)



### EL TORREON (MEOQUI)

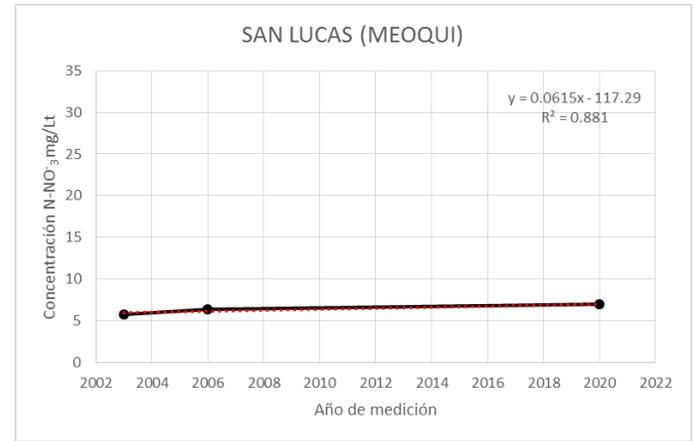
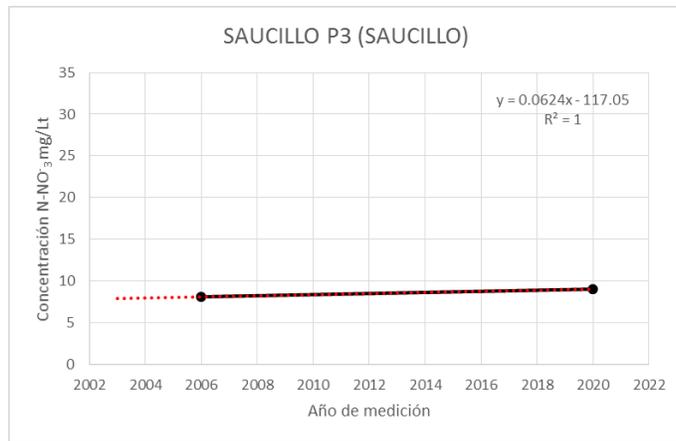
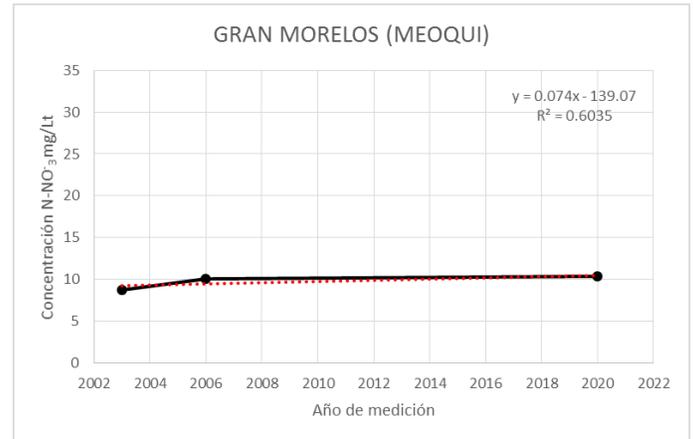
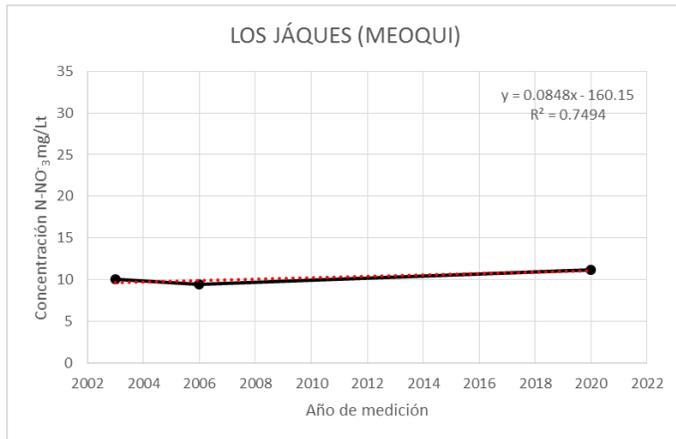


### FRANCISCO I. MADERO (DELICIAS)

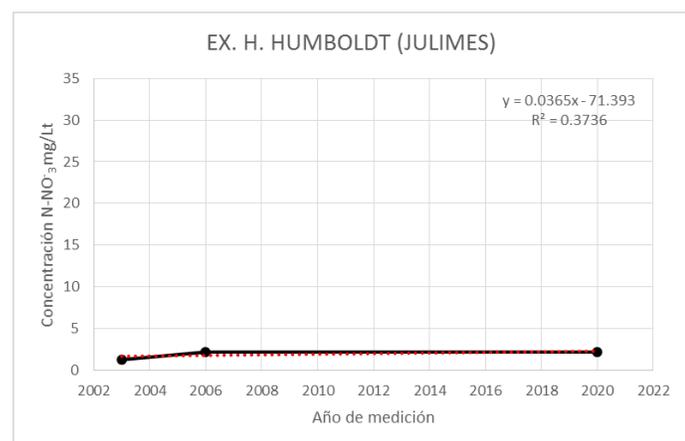
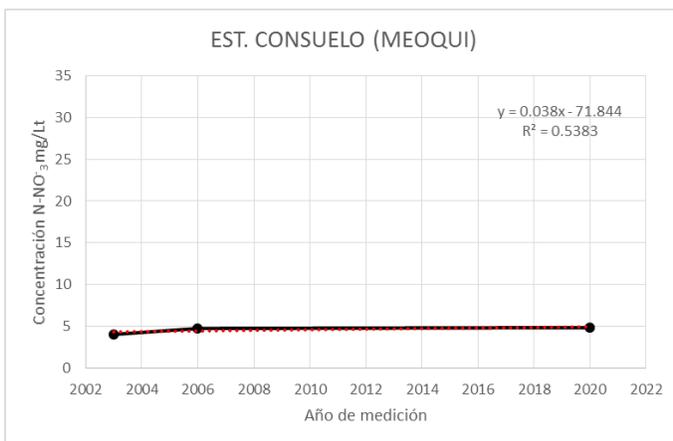




**b) Media alta:**

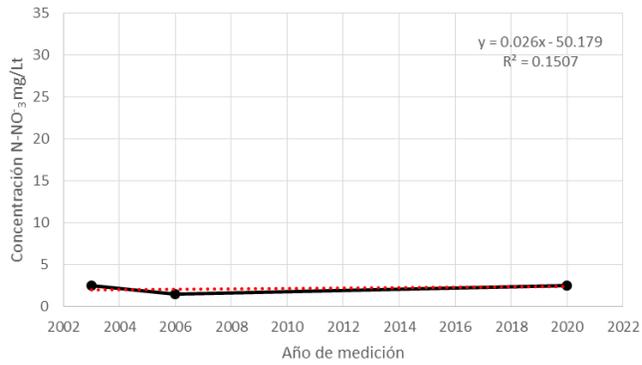


**c) Igual:**

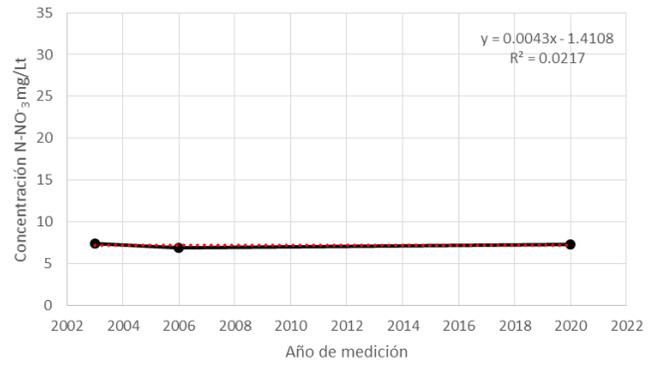




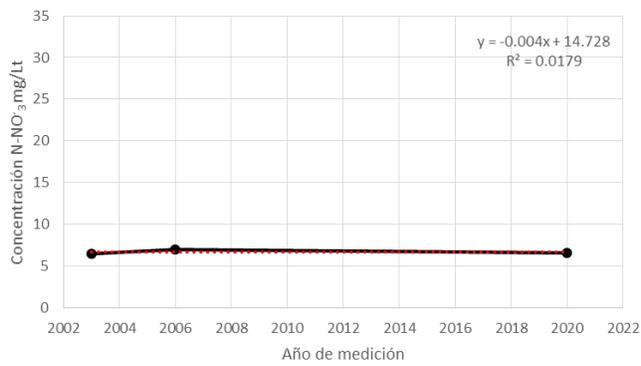
### ORINDA (ROSALES)



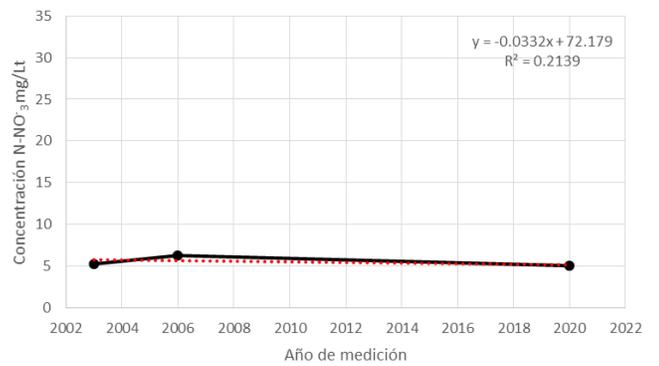
### PARRITAS (SAUCILLO)



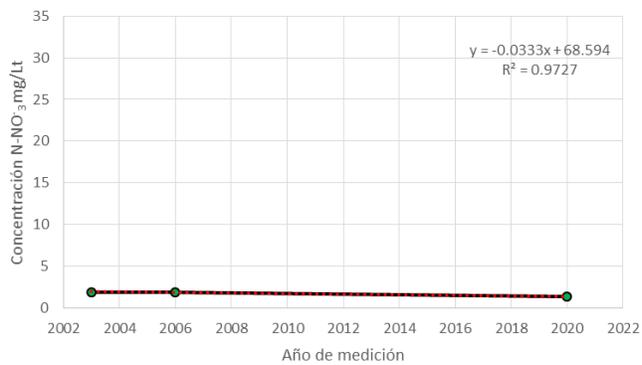
### EST. CONCHOS (SAUCILLO)



### LOMAS DE CONSUELO (MEOQUI)

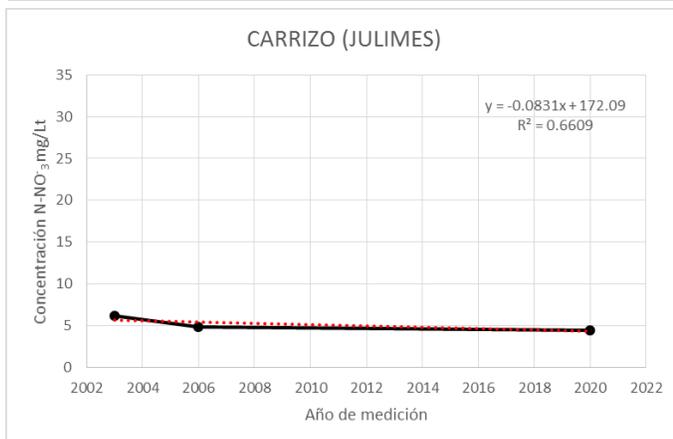
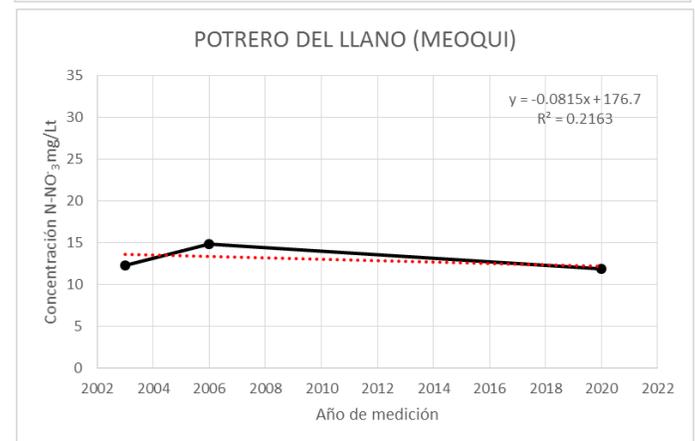
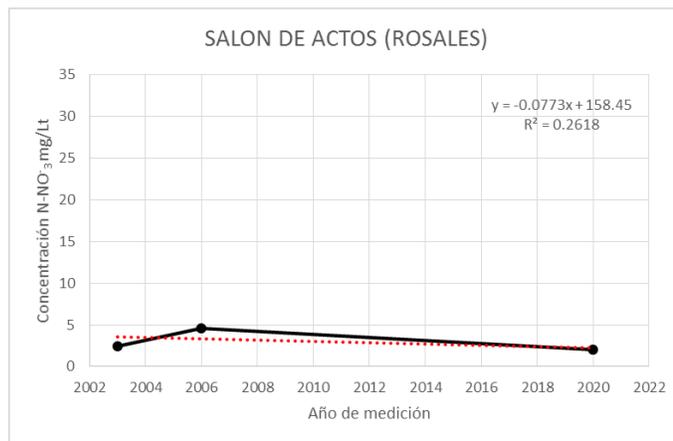
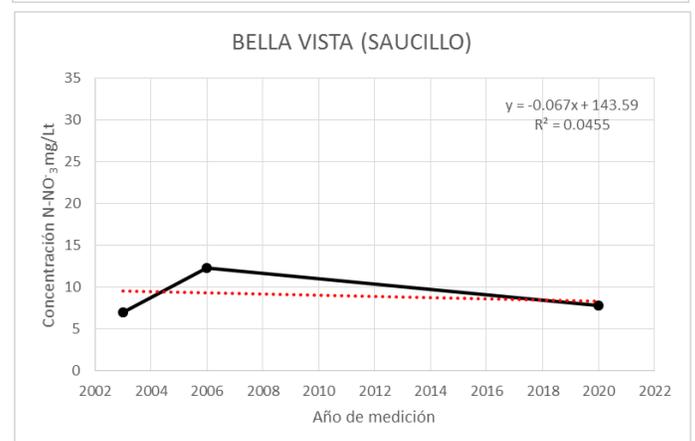
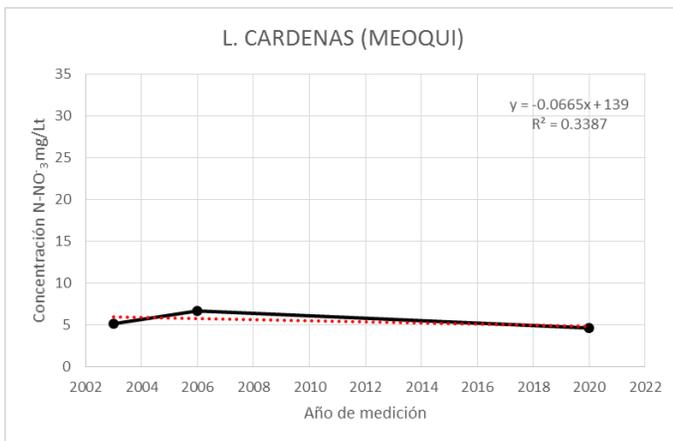
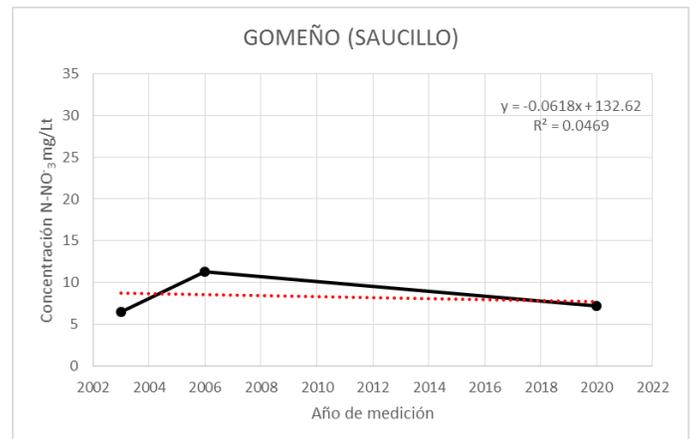
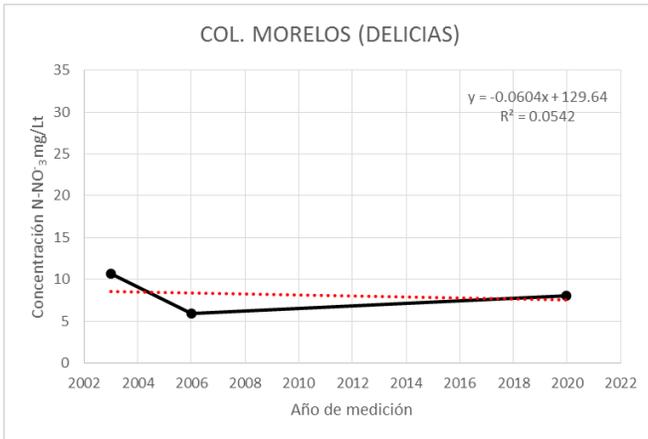


### LA ESPERANZA (JULIMES)



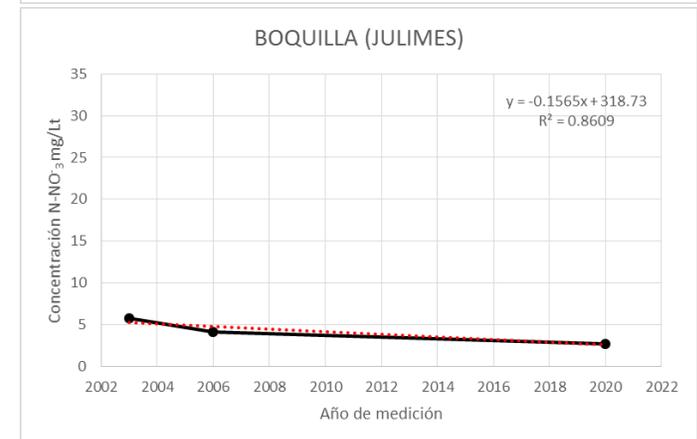
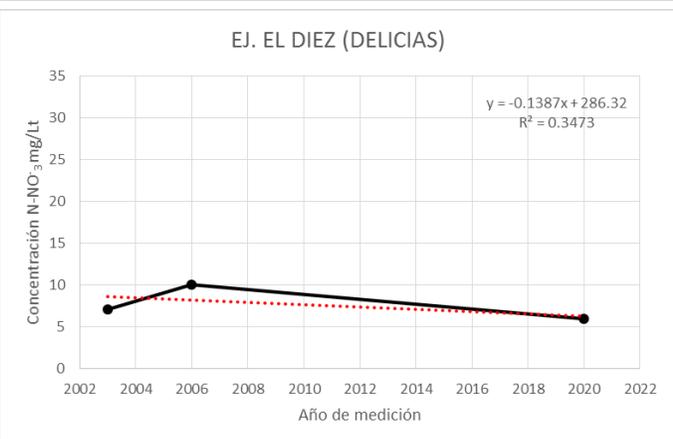
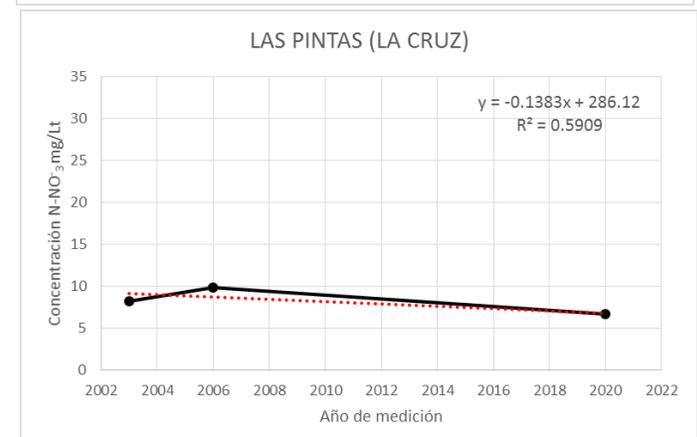
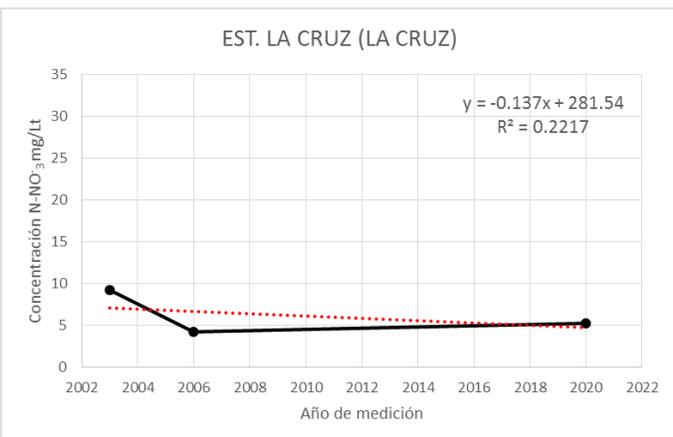
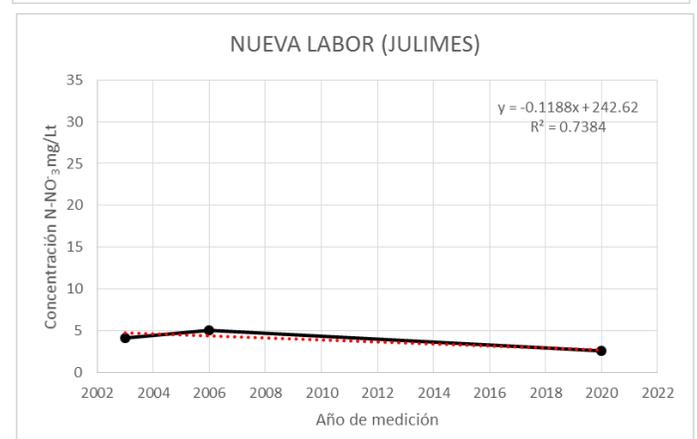
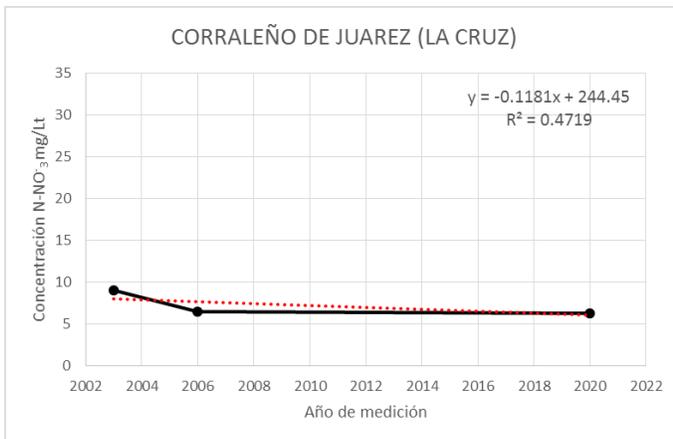
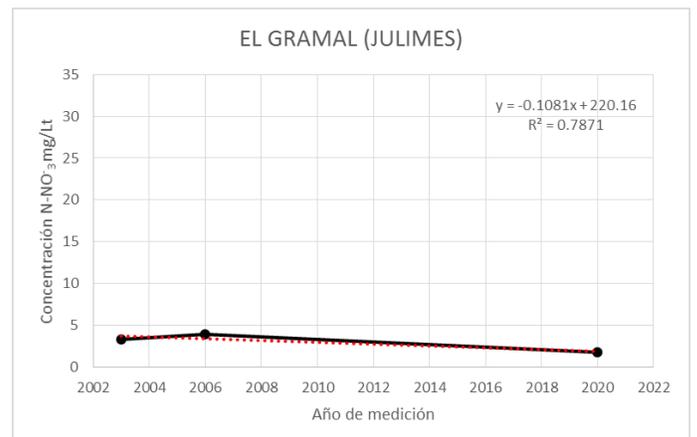
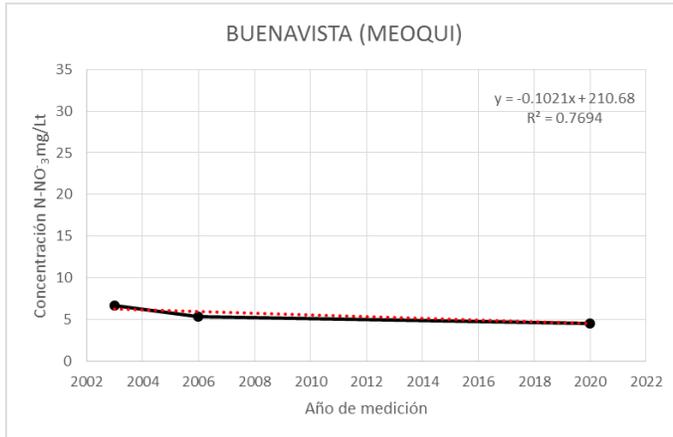


### d) Media baja:



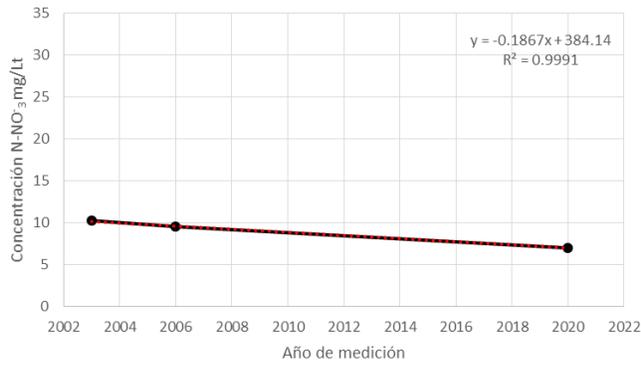


e) Baja:

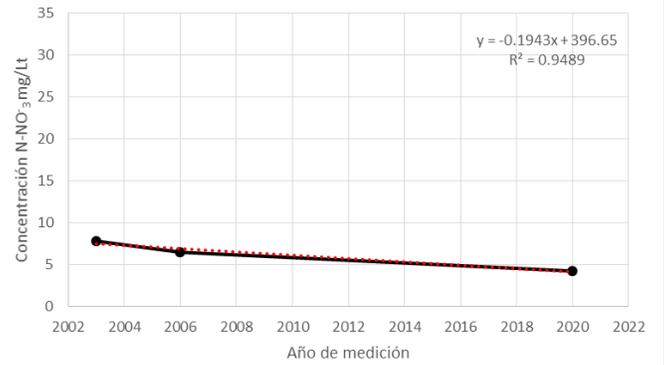




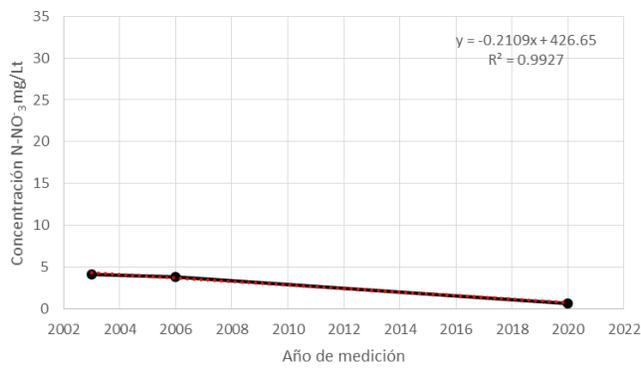
COL. ARMENDARIZ (DELICIAS)



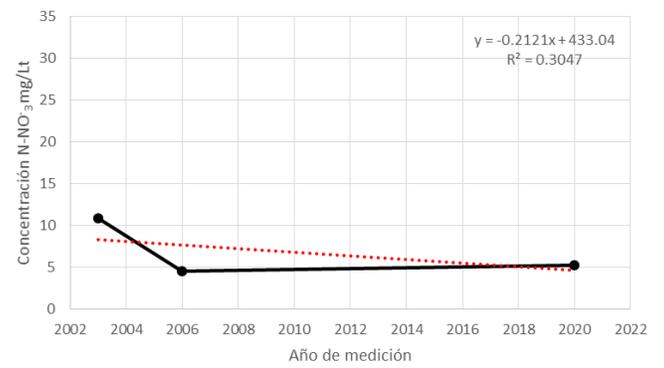
GPE. VICTORIA (MEOQUI)



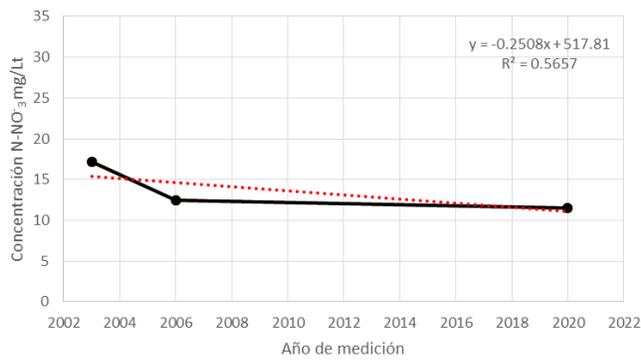
SAN JOSE (JULIMES)



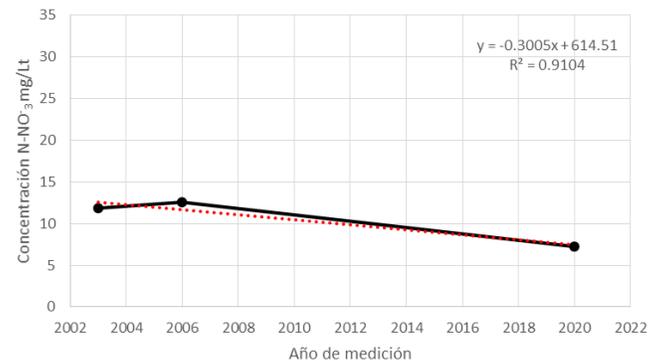
AMPLIACION LA MERCED (SAUCILLO)



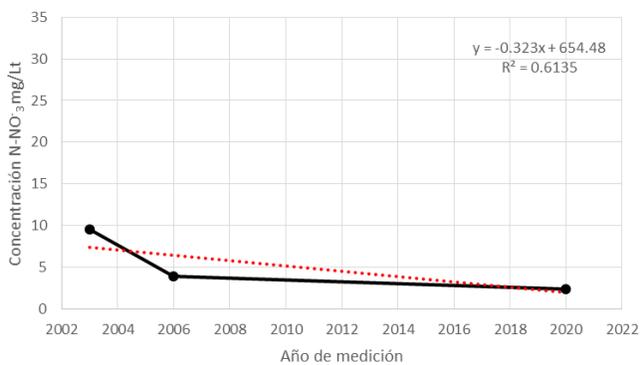
VICENTE GUERRERO (DELICIAS)



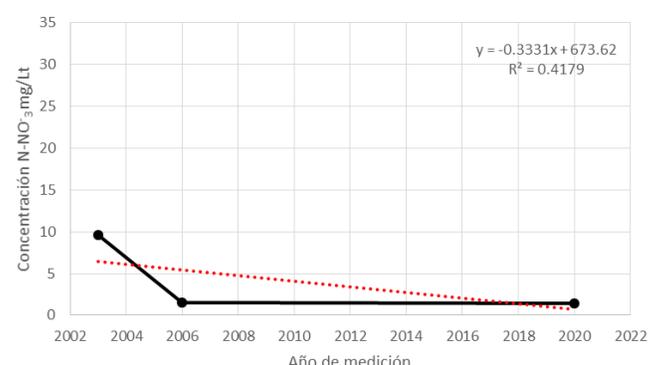
ORRANTEÑO (SAUCILLO)



JULIMES (JULIMES)

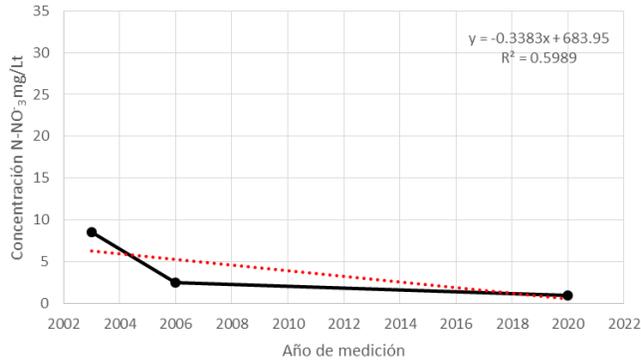


R. SAN VALENTIN (ROSALES)

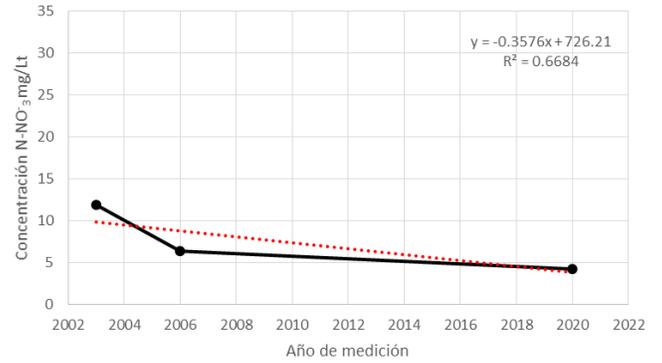




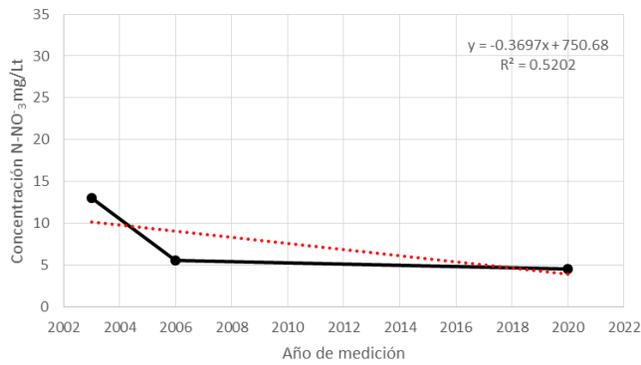
LA REGINA (JULIMES)



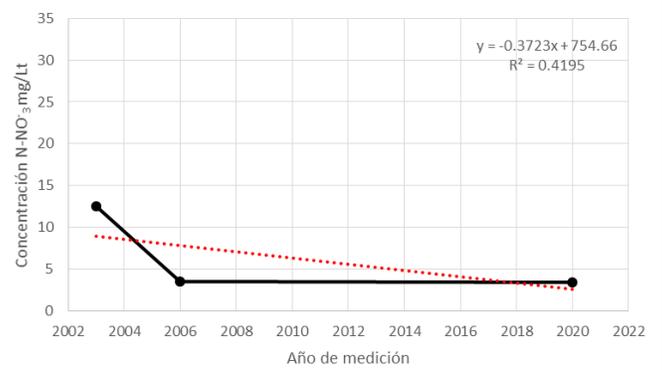
SANTA RITA (ROSALES)



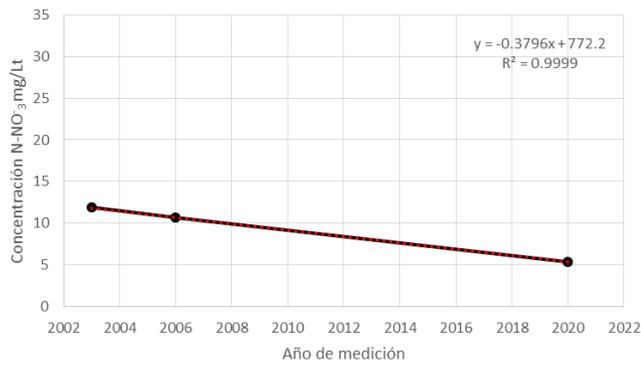
VICENTE GUERRERO (SAUCILLO)



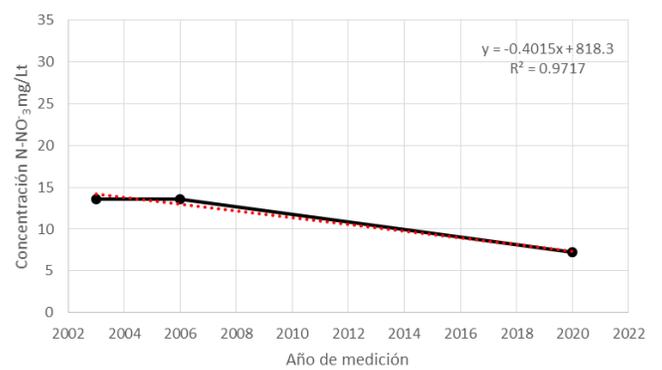
LOS GARCIA (MEOQUI)



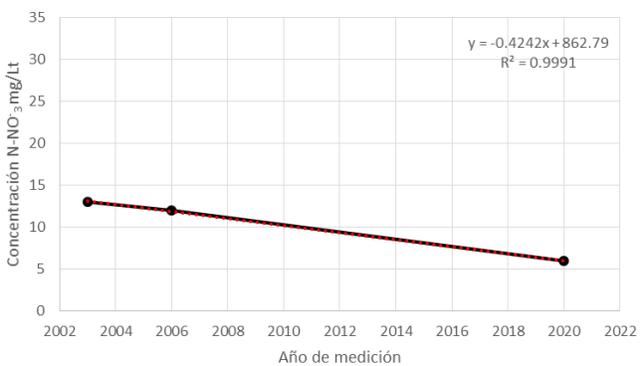
BARRANCO BLANCO (ROSALES)



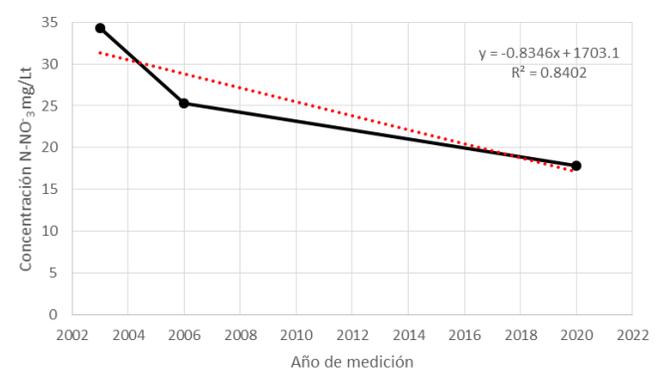
FCO. MEZQUITAL (SAUCILLO)



PUERTO DEL TORO (SAUCILLO)

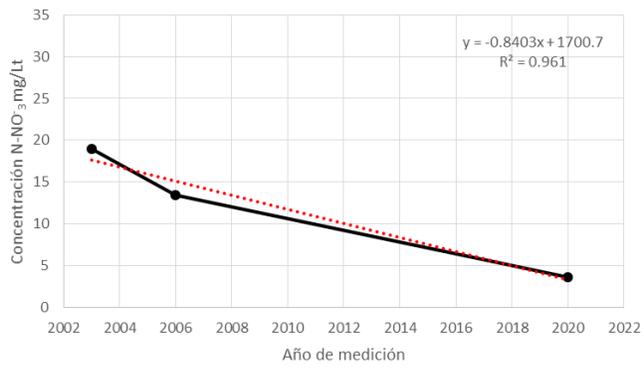


STA. ROSA (SAUCILLO)

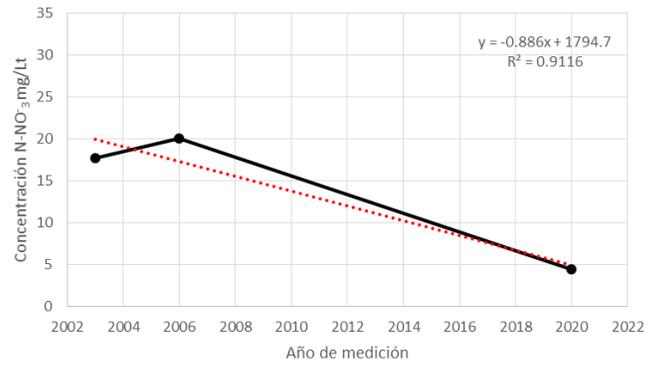




10 DE MAYO (MEOQUI)



COL. CAMPESINA (DELICIAS)





### Anexo 3

Datos estadísticos para cada pozo, acuífero Mecoqui-Delicias.

MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	2003 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2006 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2020 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Tendencia	Mediana	Media aritmética	Rango N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Min N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Max N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Pendiente
D119	DELICIAS	VICENTE GUERRERO	17.16	12.47	11.5	baja	12.47	13.71	11.5-17.16	11.50	17.16	-0.2508
D126	DELICIAS	FRANCISCO I. MADERO	10.73	9.49	11.8	alta	10.73	10.67	9.49-11.8	9.49	11.80	0.0948
D127	DELICIAS	COL. MORELOS	10.63	5.93	8	media-baja	8.00	8.19	5.93-10.63	5.93	10.63	-0.0604
D129	DELICIAS	LA MERCED	14.87	12.10	23.2	alta	14.87	16.72	12.1-23.2	12.10	23.20	0.5844
D130	DELICIAS	SANTA FE	12.08	12.47	10.8	media-baja	12.08	11.78	10.8-12.47	10.80	12.47	-0.0891
D133	DELICIAS	LAS VIRGINIAS	11.43	14.84	20.1	alta	14.84	15.46	11.43-20.1	11.43	20.10	0.4681
D134	DELICIAS	COL. MIGUEL HIDALGO	5.28	8.27	9.8	alta	8.27	7.78	5.28-9.8	5.28	9.80	0.2171
D-136	DELICIAS	COL. ARMENDARIZ	10.21	9.55	7	baja	9.55	8.92	7-10.21	7.00	10.21	-0.1867
D137	DELICIAS	EJ. EL DIEZ	7.05	10.04	5.9	baja	7.05	7.66	5.9-10.04	5.90	10.04	-0.1387
D138	DELICIAS	COL. NICOLAS BRAVO	6.81	8.94	15	alta	8.94	10.25	6.81-15	6.81	15.00	0.4665
D139	DELICIAS	COL. CAMPESINA	17.71	19.99	4.4	baja	17.71	14.03	4.4-19.99	4.40	19.99	-0.886
J9	JULIMES	SAN JOSE	4.17	3.86	0.7	baja	3.86	2.91	0.7-4.17	0.70	4.17	-0.2109
J10	JULIMES	LA REGINA	8.51	2.54	1	baja	2.54	4.02	1-8.51	1.00	8.51	-0.3383
J11	JULIMES	LA ESPERANZA	1.93	1.93	1.4	nula	1.93	1.75	1.4-1.93	1.40	1.93	-0.0333
J12	JULIMES	LABOR NUEVA	4.17	5.08	2.6	baja	4.17	3.95	2.6-5.08	2.60	5.08	-0.1188
J13	JULIMES	BOQUILLA	5.76	4.16	2.7	baja	4.16	4.21	2.7-5.76	2.70	5.76	-0.1565
J14	JULIMES	CARRIZO	6.19	4.88	4.4	media-baja	4.88	5.16	4.4-6.19	4.40	6.19	-0.0831
J15	JULIMES	JULIMES	9.52	3.96	2.4	baja	3.96	5.29	2.4-9.52	2.40	9.52	-0.323
J16	JULIMES	EX. H. HUMBOLDT	1.28	2.23	2.2	nula	2.20	1.90	1.28-2.23	1.28	2.23	0.0365
J17	JULIMES	EL GRAMAL	3.28	3.96	1.8	baja	3.28	3.01	1.8-3.96	1.80	3.96	-0.1081
J18	JULIMES	ARENILLAS	3.11	1.93	5.2	alta	3.11	3.41	1.93-5.2	1.93	5.20	0.1574
LC63	LA CRUZ	LAS PINTAS	8.22	9.86	6.6	baja	8.22	8.23	6.6-9.86	6.60	9.86	-0.1383
LC67	LA CRUZ	EST. LA CRUZ	9.16	4.15	5.2	baja	5.20	6.17	4.15-9.16	4.15	9.16	-0.137
LC69	LA CRUZ	CORRALEÑO DE JUAREZ	9	6.41	6.2	baja	6.41	7.20	6.2-9	6.20	9.00	-0.1181
M1	MEOQUI	L. CARDENAS	5.14	6.6	4.6	media baja	5.14	5.45	4.6-6.6	4.60	6.60	-0.0665
M5	MEOQUI	10 DE MAYO	18.96	13.41	3.6	baja	13.41	11.99	3.6-18.96	3.60	18.96	-0.8403
M6	MEOQUI	POTRERO DEL LLANO	12.3	14.83	11.9	media baja	12.30	13.01	11.9-14.83	11.90	14.83	-0.0815
M19	MEOQUI	EL TORREON	8.3	5.38	8.9	alta	8.30	7.53	5.38-8.9	5.38	8.90	0.1026
M21	MEOQUI	GPE. VICTORIA	7.79	6.4	4.2	baja	6.40	6.13	4.2-7.79	4.20	7.79	-0.1943



MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	2003	2006	2020	Tendencia	Mediana	Media aritmetica	Rango N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Min N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Max N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Pendiente
M22	MEOQUI	LOS GARCIA	12.51	3.56	3.4	baja	3.56	6.49	3.4-12.51	3.40	12.51	-0.3723
M23	MEOQUI	LORETO	13.91	9.14	17	alta	13.91	13.35	9.14-17	9.14	17.00	0.3001
M24	MEOQUI	LAS PUENTES	5.39	7.42	11.4	alta	7.42	8.07	5.39-11.4	5.39	11.40	0.332
M25	MEOQUI	GRAN MORELOS	8.76	10.06	10.4	media-alta	10.06	9.74	8.76-10.4	8.76	10.40	0.074
M26	MEOQUI	LOS JÁQUES	10.07	9.45	11.2	media-alta	10.07	10.24	9.45-11.2	9.45	11.20	0.0848
M27	MEOQUI	NVO. LORETO	11.76	15.54	15.8	alta	15.54	14.37	11.76-15.8	11.76	15.80	0.1693
M39	MEOQUI	BUENAVISTA	6.69	5.38	4.6	baja	5.38	5.56	4.6-6.69	4.60	6.69	-0.1021
M40	MEOQUI	EST. CONSUELO	4.03	4.77	4.9	nula	4.77	4.57	4.03-4.9	4.03	4.90	0.038
M41	MEOQUI	SAN LUCAS	5.81	6.4	7	media-alta	6.40	6.40	5.81-7	5.81	7.00	0.0615
M42	MEOQUI	PROGRESO	4.84	3.35	9	alta	4.84	5.73	3.35-9	3.35	9.00	0.2942
M43	MEOQUI	LOMAS DE CONSUELO	5.26	6.3	5.1	nula	5.26	5.55	5.1-6.3	5.10	6.30	-0.0332
R2	ROSALES	BARRANCO BLANCO	11.88	10.67	5.4	baja	10.67	9.32	5.4-11.88	5.40	11.88	-0.3796
R3	ROSALES	SANTA RITA	11.88	6.3	4.2	baja	6.30	7.46	4.2-11.88	4.20	11.88	-0.3576
R7	ROSALES	SALÓN DE ACTOS	2.49	4.58	2	media-baja	2.49	3.02	2-4.58	2.00	4.58	-0.0773
R30	ROSALES	R. SAN VALENTIN	9.56	1.52	1.4	baja	1.52	4.16	1.4-9.56	1.40	9.56	-0.3331
R35	ROSALES	LA GARITA	3.2	3.15	7.9	alta	3.20	4.75	3.15-7.9	3.15	7.90	0.2961
R38	ROSALES	ORINDA	2.45	1.42	2.5	nula	2.45	2.12	1.42-2.5	1.42	2.50	0.026
S44	SAUCILLO	AMPLIACION LA MERCED	10.84	4.47	5.2	baja	5.20	6.84	4.47-10.84	4.47	10.84	-0.2109
S45	SAUCILLO	BELLA VISTA	6.99	12.28	7.8	media baja	7.80	9.02	6.99-12.28	6.99	12.28	-0.067
S46	SAUCILLO	STA. ROSA	34.3	25.28	17.8	baja	25.28	25.79	17.8-34.3	17.80	34.30	-0.8346
S47	SAUCILLO	ORRANTEÑO	11.81	12.6	7.3	baja	11.81	10.57	7.3-12.6	7.30	12.60	-0.3005
S50	SAUCILLO	ALTAMIRANO	8.85	8.53	13.4	alta	8.85	10.26	8.53-13.4	8.53	13.40	0.2926
S52	SAUCILLO	FRANCISCO I. MADERO	7.03	5.89	19.8	alta	7.03	10.91	5.89-19.8	5.89	19.80	0.8267
S54	SAUCILLO	GOMEÑO	6.48	11.29	7.2	media baja	7.20	8.32	6.48-11.29	6.48	11.29	-0.0618
S56	SAUCILLO	SAUCILLO P3		8.13	9	media alta	8.56	8.56	8.13-9	8.13	9.00	0.0624
S57	SAUCILLO	VICENTE GUERRERO	13.04	5.58	4.5	baja	5.58	7.71	4.5-13.04	4.50	13.04	-0.3697
S58	SAUCILLO	FCO. MEZQUITAL	13.59	13.61	7.2	baja	13.59	11.47	7.2-13.61	7.20	13.61	-0.4015
S59	SAUCILLO	PUERTO DEL TORO	13.03	11.99	5.9	baja	11.99	10.31	5.9-13.03	5.90	13.03	-0.4242
S60	SAUCILLO	PARRITAS	7.41	6.91	7.3	nula	7.30	7.21	6.91-7.41	6.91	7.41	0.0043
S62	SAUCILLO	EST. CONCHOS	6.48	7	6.6	nula	6.60	6.69	6.48-7	6.48	7.00	-0.004
S98	SAUCILLO	EST. SAUCILLO	4.49	4.47	9.6	alta	4.49	6.19	4.47-9.6	4.47	9.60	0.3211



Prueba de t de Student (significancia) para cada pozo, acuífero Meoqui-Delicias.

MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	R <sup>2</sup>	R (σ)	n	tc	t student (5%)		t student (10%)		t student (15%)		t student (20%)		t student (30%)	
D119	DELICIAS	VICENTE GUERRERO	0.5657	0.7521	3	1.1413	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
D126	DELICIAS	FRANCISCO I. MADERO	0.5526	0.7434	3	1.1114	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
D127	DELICIAS	COL. MORELOS	0.0542	0.2328	3	0.2394	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
D129	DELICIAS	LA MERCED	0.8424	0.9178	3	2.3120	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
D130	DELICIAS	SANTA FE	0.8532	0.9237	3	2.4108	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
D133	DELICIAS	LAS VIRGINIAS	0.9457	0.9725	3	4.1733	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
D134	DELICIAS	COL. MIGUEL HIDALGO	0.7343	0.8569	3	1.6624	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
D-136	DELICIAS	COL. ARMENDARIZ	0.9991	0.9995	3	33.3183	25.4516996	Si hay correlación	12.7062047	Si hay correlación	8.44895734	Si hay correlación	6.31375151	Si hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
D137	DELICIAS	EJ. EL DIEZ	0.3473	0.5893	3	0.7295	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
D138	DELICIAS	COL. NICOLAS BRAVO	0.9924	0.9962	3	11.4271	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	Si hay correlación	6.31375151	Si hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
D139	DELICIAS	COL. CAMPESINA	0.9116	0.9548	3	3.2113	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J9	JULIMES	SAN JOSE	0.9927	0.9963	3	11.6613	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	Si hay correlación	6.31375151	Si hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
J10	JULIMES	LA REGINA	0.5989	0.7739	3	1.2219	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J11	JULIMES	LA ESPERANZA	0.9727	0.9863	3	5.9691	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
J12	JULIMES	LABOR NUEVA	0.7384	0.8593	3	1.6801	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J13	JULIMES	BOQUILLA	0.8609	0.9278	3	2.4878	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J14	JULIMES	CARRIZO	0.6609	0.8130	3	1.3961	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J15	JULIMES	JULIMES	0.6135	0.7833	3	1.2599	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J16	JULIMES	EX. H. HUMBOLDT	0.3736	0.6112	3	0.7723	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J17	JULIMES	EL GRAMAL	0.7871	0.8872	3	1.9228	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
J18	JULIMES	ARENILLAS	0.7441	0.8626	3	1.7052	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
LC63	LA CRUZ	LAS PINTAS	0.5909	0.7687	3	1.2018	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
LC67	LA CRUZ	EST. LA CRUZ	0.2217	0.4709	3	0.5337	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
LC69	LA CRUZ	CORRALEÑO DE JUAREZ	0.4719	0.6869	3	0.9453	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M1	MEOQUI	L. CARDENAS	0.3387	0.5820	3	0.7157	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M5	MEOQUI	10 DE MAYO	0.961	0.9803	3	4.9640	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
M6	MEOQUI	POTRERO DEL LLANO	0.2163	0.4651	3	0.5254	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M19	MEOQUI	EL TORREON	0.2449	0.4949	3	0.5695	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M21	MEOQUI	GPE. VICTORIA	0.9489	0.9741	3	4.3092	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación



MUESTRA	MUNICIPIO	LOCALIDAD	R <sup>2</sup>	R (σ)	n	tc	t student (5%)		t student (10%)		t student (15%)		t student (20%)		t student (30%)	
M22	MEOQUI	LOS GARCIA	0.4195	0.6477	3	0.8501	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M23	MEOQUI	LORETO	0.4731	0.6878	3	0.9476	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M24	MEOQUI	LAS PUENTES	0.9709	0.9853	3	5.7762	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
M25	MEOQUI	GRAN MORELOS	0.6035	0.7769	3	1.2337	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M26	MEOQUI	LOS JÁQUES	0.7494	0.8657	3	1.7293	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M27	MEOQUI	NVO. LORETO	0.4614	0.6793	3	0.9256	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M39	MEOQUI	BUENAVISTA	0.7694	0.8772	3	1.8266	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M40	MEOQUI	EST. CONSUELO	0.5383	0.7337	3	1.0798	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M41	MEOQUI	SAN LUCAS	0.881	0.9386	3	2.7209	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M42	MEOQUI	PROGRESO	0.8315	0.9119	3	2.2214	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
M43	MEOQUI	LOMAS DE CONSUELO	0.2139	0.4625	3	0.5216	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
R2	ROSALES	BARRANCO BLANCO	0.9999	0.9999	3	99.9950	25.4516996	Si hay correlación	12.7062047	Si hay correlación	8.44895734	Si hay correlación	6.31375151	Si hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
R3	ROSALES	SANTA RITA	0.6684	0.8176	3	1.4197	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
R7	ROSALES	SALÓN DE ACTOS	0.2618	0.5117	3	0.5955	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
R30	ROSALES	R. SAN VALENTIN	0.4179	0.6465	3	0.8473	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
R35	ROSALES	LA GARITA	0.9695	0.9846	3	5.6380	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
R38	ROSALES	ORINDA	0.1507	0.3882	3	0.4212	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S44	SAUCILLO	AMPLIACION LA MERCED	0.3047	0.5520	3	0.6620	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S45	SAUCILLO	BELLA VISTA	0.0455	0.2133	3	0.2183	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S46	SAUCILLO	STA. ROSA	0.8402	0.9166	3	2.2930	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S47	SAUCILLO	ORRANTEÑO	0.9104	0.9541	3	3.1876	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S50	SAUCILLO	ALTAMIRANO	0.9505	0.9749	3	4.3820	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
S52	SAUCILLO	FRANCISCO I. MADERO	0.9436	0.9714	3	4.0903	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S54	SAUCILLO	GOMEÑO	0.0469	0.2166	3	0.2218	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S56	SAUCILLO	SAUCILLO P3	1	1.0000	2	#¡DIV/0!	#¡NUM!	#¡DIV/0!	#¡NUM!	#¡DIV/0!	#¡NUM!	#¡DIV/0!	#¡NUM!	#¡DIV/0!	#¡NUM!	#¡DIV/0!
S57	SAUCILLO	VICENTE GUERRERO	0.5202	0.7212	3	1.0413	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S58	SAUCILLO	FCO. MEZQUITAL	0.9717	0.9857	3	5.8597	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
S59	SAUCILLO	PUERTO DEL TORO	0.9991	0.9995	3	33.3183	25.4516996	Si hay correlación	12.7062047	Si hay correlación	8.44895734	Si hay correlación	6.31375151	Si hay correlación	4.16529977	Si hay correlación
S60	SAUCILLO	PARRITAS	0.0217	0.1473	3	0.1489	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S62	SAUCILLO	EST. CONCHOS	0.0179	0.1338	3	0.1350	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	No hay correlación
S98	SAUCILLO	EST. SAUCILLO	0.9715	0.9856	3	5.8385	25.4516996	No hay correlación	12.7062047	No hay correlación	8.44895734	No hay correlación	6.31375151	No hay correlación	4.16529977	Si hay correlación