

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO DEL
CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UANL; COMO APORTE
PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

PRESENTA

BIÓL. TEODORA SARAÍ GARCÍA GONZÁLEZ

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

DICIEMBRE, 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO DEL
CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UANL; COMO APORTE
PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

PRESENTA

BIÓL. TEODORA SARAÍ GARCÍA GONZÁLEZ

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

Vo. Bo.

Dr. Héctor de León Gómez

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

DICIEMBRE, 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO DEL
CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UANL; COMO APORTE
PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

PRESENTA

BIÓL. TEODORA SARAÍ GARCÍA GONZÁLEZ

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA
AMBIENTAL**

Vo. Bo.

COMITÉ DE REVISIÓN DE TESIS

Dr. Héctor de León Gómez
Director de Tesis

Dr. Arquímedes Cruz López
Co-Director de Tesis

M.C. Lilia E. Arriaga Díaz de León
Co-Director de Tesis

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

DICIEMBRE, 2017

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía darme la sabiduría y fuerza para no declinar ante las decisiones en mi vida.

A mis padres Francisco Reyes García y Lorena González, por ser los pilares en mi vida, darme su cuidado y amor siempre. A mis hermanos hermanos y sobrinos.

A Erick por estar siempre apoyándome y motivándome a conseguir lo que me proponga.

A mis compañeros de cursos, por hacer más divertido este trayecto, así como haber estado siempre dispuestos a brindarme su ayuda, especialmente agradezco a Esaú, Juanjo, Silva, Francisco y Glenda.

Agradezco a mi Director de tesis, el Dr. Héctor de León por estar dispuesto a aconsejarme y ayudarme para la obtención del presente trabajo. Así como al M.I. Javier Eugenio Bermúdez Cerda por estar siempre dispuesto a brindarme su ayuda. Al Dr. Arquímedes Cruz López y a la M.C. Lilia E. Arriaga Diaz de León, por haber aceptado ser mis co-asesores, pues sin duda sus comentarios y observaciones fueron super importantes para enriquecer el contenido del presente trabajo



"No tienes idea de lo que eres capaz hasta que lo intentas"

"Cuando el ultimo árbol sea cortado, el ultimo río sea contaminado y el ultimo animal sea cazado, te darás cuenta que el dinero no se come"

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	ANTECEDENTES.....	4
	1.2.1 Situación del agua en Monterrey, Nuevo León.....	4
	1.2.2 Situación del agua en la UANL.....	4
	1.2.3 Estudios previos sobre hidrogeología e hidrogeoquímica en el CU-UANL.....	5
	1.2.4 Estudios hidrogeológicos e hidrogeoquímicos fuera del área de estudio.....	6
	1.2.5 Sostenibilidad del agua subterránea.....	9
1.3	HIPÓTESIS.....	10
1.4	OBJETIVOS.....	10
	1.4.1 General.....	10
	1.4.2 Específicos.....	10
1.5	METODOLOGÍA GENERAL.....	11

CAPÍTULO 2 ASPECTOS FÍSICOS

2.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	12
2.2	FISIOGRAFÍA.....	13
2.3	CLIMATOLOGÍA.....	14
2.4	HIDROLOGÍA.....	19
2.5	GEOLOGÍA.....	20
	2.5.1 Regional.....	20

2.5.2 Local.....	22
------------------	----

CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO

3.1 AGUA SUBTERRÁNEA EN EL CICLO HIDROLÓGICO.....	26
3.2 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	28
3.3 TIPOS DE ACUÍFEROS.....	29
3.4 SISTEMAS DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	30
3.5 QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	31
3.6 CALIDAD Y GESTION SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRANEA.....	32

CAPITULO 4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 METODOLOGÍA HIDROGEOLOGICA.....	33
4.1.1 Nivel estático.....	37
4.1.2 Nivel piezométrico.....	38
4.1.3 Construcción de la carta piezométrica.....	39
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.2.1 Profundidad del nivel estático.....	41
4.2.2 Evolución del nivel estático.....	42
4.2.3 Monitoreo del nivel piezométrico.....	43
4.2.4 Configuración de la carta piezométrica.....	45

CAPÍTULO 5 HIDROGEOQUÍMICA

5.1 METODOLOGÍA DE CAMPO Y EXPERIMENTAL.....	51
5.1.1 Selección de aprovechamientos.....	51
5.1.2 Procedimiento y toma de muestras.....	51

5.1.2.1 Materiales, reactivos y equipo de muestreo.....	52
5.1.2.2 Preparación de envases para toma de muestras.....	52
5.1.2.3 Procedimiento para toma de muestra.....	53
5.1.2.4 Manejo de muestras.....	53
5.1.2.5 Identificación y control de la muestra.....	54
5.1.3 Análisis realizados a las muestras.....	55
5.1.3.1 Método volumétrico.....	59
5.1.3.2 Método turbimétrico.....	60
5.1.3.3 Método nefelométrico.....	60
5.1.3.4 Método gravimétrico.....	60
5.1.3.5 Método microbiológico del número más probable (NMP).....	60
5.1.3.6 Método de espectrofotometría de absorción atómica.....	61
5.1.3.7 Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado.....	61
5.1.4 Diagramas de Piper.....	62
5.1.5 Normas Nacionales e internacionales.....	64
5.1.6 Mapas temáticos de distribución	65
5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
5.2.1 Parámetros físicos.....	66
5.2.2 Caracterización hidrogeoquímica del tipo de aguas.....	67
5.2.3 Calidad del agua.....	71
CAPITULO 6 VULNERABILIDAD	
6.1 METODOLOGIA DRÁSTICA.....	80
6.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	87
CAPITULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1 CONCLUSIONES.....	89
7.2 RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del agua en el planeta (CONAGUA, 2014).....	1
Figura 2. Matricula estudiantil del CU-UANL. (Unidad de Enlace y Transparencia y Acceso a la información de la UANL, 2017).....	2
Figura 3: Consumo per cápita de agua del año 2011 al 2015 de la UANL. (Desarrollo sustentable UANL, 2016).....	3
Figura 4. Metodo general.....	11
Figura 5. Localización del área de estudio (Google Earth,2017).....	12
Figura 6. Provincias fisiográficas de Nuevo León (INEGI, 2015).	13
Figura 7. Tipos de climas en México, (INEGI, 2009).....	14
Figura 8. Gráfica de la Temperatura Media Mensual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).....	15
Figura 9. Gráfica de la Temperatura Media Anual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).....	16
Figura 10. Gráfica de la Precipitación Media Mensual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).....	16
Figura 11. Gráfica de la Precipitación Anual Acumulada para los años 2000 al 2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).....	17
Figura 12. Grafica de la Evaporación Media Mensual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA,2016).....	18
Figura 13. Grafica de la Evaporación Anual Acumulada para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).....	18
Figura 14. Cuenca del río San Juan (CONAGUA, 2015).....	19
Figura 15. Arroyo Topo chico circundante al área de estudio.....	20
Figura 16. Aspectos geomorfológicos más relevantes del Área Metropolitana de Monterrey (AMM).....	21
Figura 17. Ubicación del perfil estratigráfico.....	23
Figura 18. Perfil estratigráfico dentro del área de estudio, (Silva et al, 2015).....	24
Figura 19. Afloramiento dentro del área de estudio, se observa la presencia de materiales de escoria.....	25
Figura 20: El ciclo del agua. (USGS, 2017).....	26
Figura 21. Características de las formaciones hidrogeológicas (modificado de González, 2002).....	28
Figura 22. Tipos litológicos de acuíferos, modificado de Werner, 1996.....	29

Figura 23. Efectos y manifestaciones de los diferentes sistemas de flujo del agua subterránea producidos por la fuerza gravitacional (Tóth, 1963).....	30
Figura 24. Mapa de ubicación de aprovechamientos hidráulicos seleccionados.....	35
Figura 25. Aprovechamientos hidráulicos (pozos) presentes en el área de estudio.....	36
Figura 26. Aprovechamientos hidráulicos (pozos) presentes en el área de estudio.....	37
Figura 27. Equipo necesario para la medición del nivel estático.....	38
Figura 28: Triángulo hidrológico. Todas las alturas en msnm. Los vértices consisten en 3 pozos nivelados, con nivel piezométrico medido. Utilizando la regla de tres, los lados del triángulo se dividen según las diferencias de altura entre h1, h2, h3 (Werner, 1996).....	39
Figura 29. Gráfica del nivel estático del acuífero del campus CU-UANL durante los años 2008 al 2015 (SADM, 2016).....	42
Figura 30. Comportamiento de la precipitación y la evaporación durante el periodo de monitoreo del nivel piezométrico en los años 2016 y 2017, datos obtenidos de la CONAGUA, 2016.....	43
Figura 31. Nivel piezométrico durante el periodo de monitoreo en los años 2016 y 2017.....	44
Figura 32. Nivel estático durante los años 2016-2017.....	45
Figura 33. Carta piezométrica para el mes de mayo 2016.....	46
Figura 34. Carta piezométrica para el mes de julio 2016.....	47
Figura 35. Carta piezométrica para el mes de febrero 2017.....	48
Figura 36. Carta piezométrica para el mes de mayo 2017.....	49
Figura 37. Muestreos realizados donde se observa el equipo muestreador, así como los diferentes tipos de envases requeridos según el tipo de análisis a realizarle.....	51
Figura 38. Muestras obtenidas en el primer muestreo, para análisis físicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados.....	54
Figura 39. Muestras obtenidas en el segundo muestreo, para análisis de metales pesados.....	58
Figura 40. Muestras obtenidas en el tercer muestreo, para análisis físicoquímicos.....	58
Figura 41. Obtención de pH y temperatura en campo.....	59
Figura 42. Ejemplo de Diagrama de Piper (Sánchez, 2014).....	62
Figura 43. Diagrama de piper para el primer muestreo, junio 2016.....	67
Figura 44. Diagrama de piper para el tercer muestreo, mayo 2017.....	68
Figura 45. Ubicación del área de estudio, según los diferentes sistemas de flujo del agua subterránea (Tóth, 1963).....	70
Figura 46. Mapas temáticos de la distribución de los parámetros, dureza total, cloruros, sulfatos y SDT.....	73
Figura 47. Mapas temáticos de la distribución de los parámetros de SDT y Bacterias Coliforme.....	74

Figura 48. Mapas temáticos de la distribución del parámetro Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn).....	77
Figura 49. Profundidad del agua (D).....	81
Figura 50. Recarga neta (R).....	82
Figura 51. Conductividad (C).....	83
Figura 52. Medio acuifero (A).....	84
Figura 53. Suelo (S).....	85
Figura 54. Impacto de la zona vadosa (I).....	85
Figura 55 Topografía (T).....	84
Figura 56. Mapas del índice de vulnerabilidad y distribución de la concentración de bacterias coliformes (superior izquierdo), Fe (inferior izquierdo) y, Mn (inferior derecho).....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aprovechamientos hidráulicos que se localizaron (10 pozos).....	34
Tabla 2. Nivel estático promedio (NE) obtenido para los años 2008-2015, datos de (SADM, 2016).....	37
Tabla 3. Nivel estático (NE) obtenido en campo, Nivel Piezométrico (NP).....	39
Tabla 4. Evolución del nivel estático general en los 2008-2015, (SADM, 2016).....	43
Tabla 5. Preservación de muestras, (NOM-230-SSA1-2002).....	54
Tabla 6. Metodologías utilizadas en la determinación de los diferentes parámetros analizados.....	56
Tabla 7. Metales pesados analizados bajo el método ICP-MS.....	57
Tabla 8. Metodologías utilizadas en la determinación de los diferentes parámetros analizados.....	59
Tabla 9. Composición química en cationes y aniones mayoritarios para las muestras colectadas en mg/L.....	63
Tabla 10. Composición química en cationes y aniones mayoritarios para las muestras colectadas en meq/L.....	64
Tabla 11. Clasificación de Piper por iones predominantes, de acuerdo a Custodio y Llamas, 1996.....	69
Tabla 12. Resultados de parámetros analizados en primer muestreo.....	72
Tabla 13. Resultados obtenidos de los parámetros analizados en el segundo muestreo.....	75
Tabla 14. Resultados de parámetros analizados en el tercer muestreo.....	78
Tabla 15. Rango de la Profundidad del agua (m) y su clasificación, (Aller, 1987).....	81
Tabla 16. Rango de Profundidad del agua (m) obtenida en mayo 2016.....	81
Tabla 17. Rango de la Recarga neta (mm) y su clasificación (Aller, 1987).....	82
Tabla 18. Valor de la Recarga neta (mm) en el área de estudio, de acuerdo a Hernández, 1999.....	82
Tabla 19. Rango de la conductividad hidráulica (m/día) y su clasificación (Aller, 1987).....	83
Tabla 20. Valor de la conductividad hidráulica (m/día) en el área de estudio y su clasificación, según Hernández, 1999.....	83
Tabla 21. Rango del medio acuífero y su clasificación (Aller, 1987).....	84
Tabla 22. Material del medio acuífero del área en estudio y su clasificación.....	84
Tabla 23. Rango del suelo y su clasificación (Aller, 1987).....	84
Tabla 24. Material del suelo en el área de estudio y su clasificación.....	84
Tabla 25. Rango del impacto de la zona vadosa y su clasificación (Aller, 1987).....	85

Tabla 26. Material de la zona vadosa y su clasificación.....	85
Tabla 27. Rango de la topografía (% de pendiente) y su clasificación (Aller, 1987).....	86
Tabla 28. Rango de la topografía (%de pendiente) del área en estudio.....	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.....	99
Anexo 2.....	111
Anexo 3.....	113

RESUMEN

El campus Ciudad Universitaria de la UANL (CU-UANL) sede importante de la Universidad Autónoma de Nuevo León se encuentra en constante crecimiento, tanto en infraestructura como en población, por lo que conocer y cuidar sus recursos naturales, como el agua, es de vital importancia para la institución.

El objetivo general del presente estudio fue el analizar y evaluar la calidad química del agua y las condiciones hidrodinámicas del acuífero presente en el campus CU-UANL, aplicando métodos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos. Para esto, se realizaron tres campañas de muestreo y cuatro mediciones del nivel estático, durante los años 2016 y 2017, cuando se presentaron épocas de sequía y ordinaria. Cada uno de los muestreos se realizó bajo las recomendaciones de la NOM-230-SSA1-2002, que trata sobre los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano; así mismo, se obtuvieron cuatro cartas hidrogeológicas, y se creó un mapa de vulnerabilidad acuífera.

Los resultados obtenidos mostraron que la dirección principal del flujo subterráneo es de suroeste hacia el noreste. En el primer muestreo (junio 2016), se presentaron los tipos de agua: Clorurada cálcica, Clorurada-bicarbonatada cálcica, Clorurada-sulfatada cálcica y Clorurada magnésica, mientras que para el tercer muestreo (mayo 2017) se presentaron los tipos de agua: Sulfatada cálcica, Sulfatada-Bicarbonatada cálcica, Bicarbonatada cálcica y Bicarbonatada-sulfatada cálcica. Así mismo, debido a la presencia de ciertos indicadores de contaminación como, las bacterias coliformes y metales como hierro y manganeso y, la relación con las zonas vulnerables obtenidas del mapa del índice de vulnerabilidad, se mostró la influencia antropogénica que está contaminando el agua subterránea del campus CU-UANL.

Los resultados obtenidos en el presente estudio pretenden ser un aporte para conocer la hidrogeología y la hidrogeoquímica, así como la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, lo cual servirá como base para futuros estudios relacionados y a su vez, para concientizar sobre la importancia de los recursos subterráneos para su conservación y manejo sostenible.

ABSTRACT

The University City campus of the UANL (CU-UANL) headquarters of the Autonomous University of Nuevo Leon is constantly growing, both in terms of infrastructure and population, so knowing and taking care of its natural resources, such as water, is vital. importance for the institution.

The general objective of the present study was to analyze and evaluate the chemical quality of the water and the hydrodynamic conditions of the aquifer present in the CU-UANL campus, applying hydrogeological and hydrogeochemical methods. For this, three sampling campaigns and four measurements of the static level were carried out, during the years 2016 and 2017, when drought and ordinary seasons were presented. Each of the samples was made under the recommendations of NOM-230-SSA1-2002, which deals with sanitary procedures for sampling water for human use and consumption; Likewise, four hydrogeological charts were obtained, and an aquifer vulnerability map was created.

The results were taught that the main direction of the underground flow is from southwest to northeast. In the first sampling (June 2016), the types of water will be presented: Calcium Chloride, Calcium Chlorinated-bicarbonate, Calcium Chlorinated-Sulphated and Magnesium Chloride, while for the third sampling (May 2017) the types of water will be presented: Sulfated Calcica, Sulfated-Calcium bicarbonated, Calcic bicarbonated and Calcic bicarbonate-sulphated. Thus, coliform bacteria and metals such as iron and manganese, and the relationship with vulnerable areas of the vulnerability index map, showed the anthropogenic influence that is contaminating the groundwater of the CU-UANL campus.

The results obtained in this study are intended to be a contribution to know the hydrogeology and hydrogeochemistry, as well as vulnerability to pollution of the aquatic environment, which will serve as a basis for future studies related, now, to raise awareness about the importance of resources underground for its conservation and sustainable management.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Sin duda el agua es uno de los recursos naturales más importantes e indispensable para los seres vivos, ya que no sólo es necesaria en el uso diario de una persona, sino que, además, es vital para la existencia de la vida misma en el planeta.

Aunque se conoce que la cantidad de agua en el mundo es considerable, no toda está disponible para su aprovechamiento, ya que, según una de las estimaciones más aceptadas, poco más del 97% del volumen total del agua existente en nuestro planeta es agua salada; mientras que apenas algo menos del 3% es agua dulce o de baja salinidad. Pero este porcentaje de agua dulce o de baja salinidad también se encuentra distribuido de una manera muy heterogénea, limitando aún más la cantidad de agua disponible para su uso. Como se puede observar en la figura 1, la mayor cantidad de agua dulce en estado líquido es la que se encuentra almacenada en el subsuelo como agua subterránea (CONAGUA, 2014).



Figura 1. Distribución del agua en el planeta (CONAGUA, 2014).

En general, se podría considerar que el agua subterránea es de buena calidad, ya que en cierta forma se encuentra protegida; sin embargo, existen varias maneras en que pudiera ser contaminada, ya sea en forma natural o antropogénica, por lo que en los últimos años se ha visto mayor progreso en el conocimiento científico sobre temas de hidrogeología, contaminación de agua subterránea y gestión de acuíferos, entre otros temas relacionados (Arizabalo R.D. & G. Díaz, 1991; Sahuquillo, 2009).

Por otra parte, se ha observado que el aumento de la población a nivel mundial, trae diversas consecuencias, una de ellas es el crecimiento de las ciudades. Actualmente poco más de la mitad de la humanidad vive en una ciudad (UNESCO, 2015); esto, a su vez, trae consecuencias negativas en los recursos; entre ellos, una mayor demanda de agua, ya que una ciudad requerirá agua para sostener las necesidades básicas de su población y su industria, principalmente. Ejemplo de ello, se encuentra la ciudad de Monterrey y su área metropolitana, donde siendo una de las ciudades industriales sobrepobladas en México, se enfrenta a un proceso de crecimiento muy acelerado, lo que ha reflejado que el abastecimiento de agua sea uno de los más grandes y significativos problemas a los que se enfrenta la ciudad, lo que ha obligado a las autoridades a tomar medidas alternativas para complementar el abasto del recurso (Sánchez de Llanos *et al*, 2015). Así mismo, una de las áreas urbanas dentro de la ciudad de Monterrey, que ha reflejado estos efectos es el campus Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León (CU-UANL), sede importante de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), donde año con año la matrícula de estudiantes es mayor (figura 2) muestra de ello, en enero 2005 la matrícula estudiantil era de 42,220 estudiantes pasando a 63,000 estudiantes en agosto 2015.

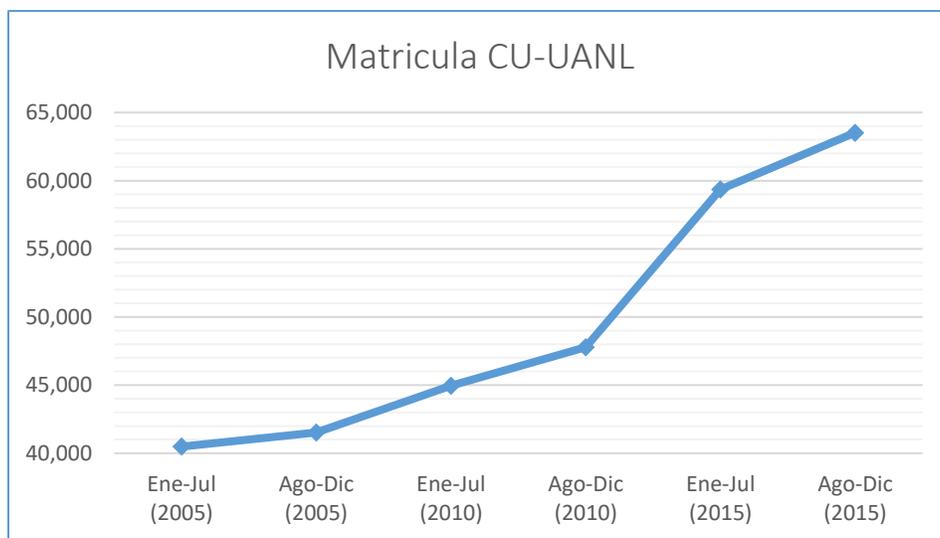


Figura 2. Matrícula estudiantil del CU-UANL. (Unidad de Enlace y Transparencia y Acceso a la información de la UANL, 2017).

La UANL está consciente de esta situación, por lo cual ha llevado a cabo acciones para optimizar el uso de este recurso, como fue construir cisternas de agua, modernizar la infraestructura utilizada para la conducción y uso del agua y pláticas de concientización para los alumnos de las diferentes facultades, entre otras, lo que dio como resultado que el consumo per cápita de agua bajara de 13.5 m³ en 2011 a 9.5 m³ de agua en 2015 (figura 3).

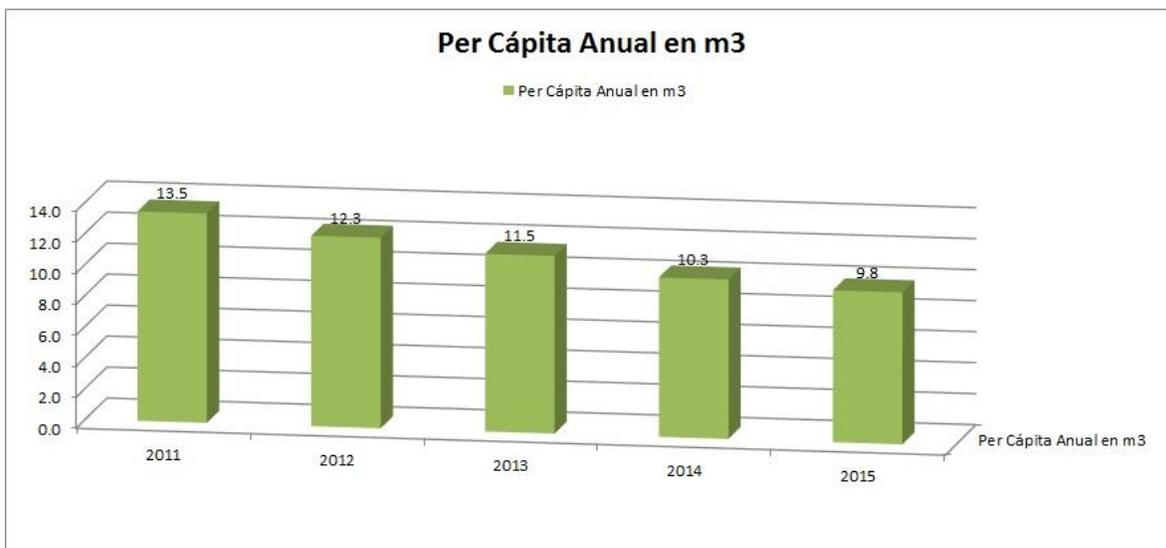


Figura 3: Consumo per cápita de agua del año 2011 al 2015 de la UANL. (Desarrollo sustentable UANL, 2016).

Sin embargo, de seguir así el aumento en el número de población estudiantil, se hace imperioso empezar a buscar otras maneras de sufragar la demanda de agua que se preverá en el futuro. Por lo cual, en el presente trabajo se analizó su calidad, la dirección del flujo subterráneo, y la vulnerabilidad del área a ser contaminada, ya que esta información es una herramienta indispensable para que las autoridades responsables consideren la importancia tanto de la conservación y el cuidado del recurso, ya que posiblemente en un futuro se tenga que recurrir a él.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Situación del agua en Monterrey, Nuevo León.

El estado de Nuevo León se encuentra ubicado en la parte norte del país, por lo que se caracteriza por ser una región semiárida y poseer diversos climas; pero predominando los climas secos o semisecos extremos, convirtiéndolo en una región altamente vulnerable a la escasez y falta de agua (Ortega, 2013).

Las fuentes actuales de abastecimiento de agua del área conurbada de la zona metropolitana de monterrey se dividen en dos tipos de fuentes: las superficiales y las subterráneas. Las fuentes superficiales aportan un 55% del suministro, las cuales están constituidas por 3 presas de almacenamiento, y las fuentes subterráneas aportan un 45% del suministro, y están constituidas por 47 pozos profundos, 65 pozos someros, 1 manantial, 3 túneles y una galería filtrante (Sánchez de Llanos *et al*, 2015).

Desde mediados del siglo pasado, el Área Metropolitana de Monterrey, ha presentado un elevado ritmo de crecimiento poblacional, lo que ocasionó una fuerte presión para el abasto de los servicios urbanos de agua. Las proyecciones del Consejo Nacional de Población sugieren que para el año 2030 el Área Metropolitana de Monterrey superará los 5.3 millones de habitantes. Esto significa que en 20 años se agregará más de un millón de personas. Por ende, el abasto de los servicios urbanos de agua en la zona seguirá estando marcado por una constante carrera contra la expansión poblacional y territorial (Aguilar *et al*, 2015).

1.2.2 Situación del agua en la UANL.

Debido a que cada vez son mayores los requerimientos de agua para el consumo humano, el riego de jardines, la limpieza y el mantenimiento de los edificios del campus CU-UANL., aunado a los problemas de escasez producidos por los grandes periodos de sequía de la región, fueron motivos por los cuales se instalaron cisternas en las facultades y campos deportivos, para así poder sufragar las necesidades básicas de mantenimiento (Hernández, 1999).

En 2009 la matrícula de estudiantes de la UANL contaba con 129341 estudiantes, para 2013 aumentó a 164809, lo que representó un incremento del 27%. En la actualidad se estima en 174000 estudiantes, aproximadamente, en términos de recursos como el agua, estas cifras reflejan que cada vez es mayor la demanda que requiere la UANL (Áncer, 2013).

Desde 2010 la UANL realiza acciones para reducir el consumo de agua en todas sus instalaciones. En la actualidad, la UANL continúa desarrollando un programa de uso eficiente del agua, que tiene como propósito reducir el consumo de agua a través de la instalación de equipos de alta eficiencia y bajo consumo en los jardines, las regaderas y los sanitarios, además de promover la realización de acciones dirigidas a crear conciencia entre la comunidad universitaria sobre la importancia que tiene hacer un uso adecuado de este vital líquido (Desarrollo Sustentable UANL, 2016).

1.2.3 Estudios previos sobre Hidrogeología e Hidrogeoquímica en el CU-UANL.

Hernández, en 1999, determinó que la unidad litológica impermeable involucrada como base del acuífero es la formación Méndez y es sobre ésta que básicamente se localiza el acuífero del campus CU-UANL, el cual está formado por: gravas empacadas en arcilla limosa, gravas y boleos parcialmente cementados limitados interiormente por formaciones arcillosas y lutita café fracturada, con características hidráulicas promedio del coeficiente de transmisividad de $26.744 \text{ m}^2/\text{h}$ y un coeficiente de permeabilidad de $3.88\text{m}/\text{h}$; con lo cual consideró que el acuífero presenta buenas características para ser explotado racionalmente (Hernández, 1999).

Silva *et al*, en 2015 determinaron las características litológicas de los diferentes sedimentos aluviales geológicos del subsuelo, la variación de los niveles freáticos y las direcciones de flujo del AS dentro de la microcuenca hidrológica urbana que circunda al campus CU-UANL, por medio de la generación de un Sistemas de Información Geográfica (SIG) donde determinaron la preeminencia de depósitos aluviales en la superficie, así como escasos afloramientos de lutita. También

determinaron, en menor cantidad, conglomerados, caliza, caliza-lutita, lutita-arenisca y vetas de calcita. En la parte superior (cerca de la superficie) encontraron un dominio de arcilla combinada con caliche, gravas, arenas o limos. Los cuales mencionan que se pueden extender hasta aproximadamente 30 metros de profundidad, irregularmente distribuidos en la zona de estudio. Además, identificaron que en gran parte de la zona de estudio existe un estrato intermedio formado por paquetes de gravas y boleos medianamente cementados, que probablemente funcionen como acuíferos, mencionando que debajo de ellos se encuentran rocas lutíticas intemperizadas y poco intemperizadas de la Formación Méndez. En cuanto a la dirección principal del flujo de agua subterránea, determinaron un patrón de Sur-Oeste a Norte-Este, con mayor altura piezométrica al sur del campus de la Ciudad Universitaria y la zona con menor elevación piezométrica se ubicó al noreste del campus (Silva *et al.*, 2015).

Sólo se cuenta con estos dos estudios realizados en el área temática, por lo que la presente investigación representa su importancia y actualización de las condiciones hidrogeológicas e hidrogeoquímicas.

1.2.4 Estudios Hidrogeológicos e Hidrogeoquímicos fuera del área de estudio

El proceso de urbanización afecta el ciclo natural del agua. Como resultado de esto la hidrogeología urbana surge como una rama de la hidrogeología, por lo que Vázquez *et al.*, en el 2005, revisaron algunos de los factores que influyen en el agua subterránea urbana, tomando como referencia la ciudad de Barcelona, España, donde dos de las fuentes principales de contaminación que identificaron, fueron: pérdidas de la red de alcantarillado y la infiltración de la escorrentía urbana, que moviliza contaminantes del pavimento, particularmente en lluvias ligeras o en el período inicial de las fuertes lluvias (Vázquez *et al.*, 2005)

Las características químicas del agua subterránea están directamente relacionadas con la estratigrafía y estructura del subsuelo; por lo tanto, la caracterización del acuífero en diferentes sitios permite identificar los sistemas de flujo. Para corroborar dicha aseveración, Pérez en el 2008, realizó una caracterización hidrogeoquímica

del agua subterránea del Valle de Querétaro en donde caracterizó las muestras con los diagramas de Piper, con base en los análisis de iones mayores y determinó que los tipos de agua que prevalecen son bicarbonatadas-sódico-potásica y bicarbonatada-cálcica, lo que es indicativo de aportes de aguas profundas, así como los resultados de sólidos disueltos y conductividad eléctrica evidenciaron que existía un sistema de flujo somero y libre que fluía hacia el centro del Valle de Querétaro hace más de 50 años. Concluyó que un monitoreo de niveles piezométricos no es suficiente para el estudio de sistemas de flujo de agua subterránea en las condiciones actuales del Valle de Querétaro y el monitoreo de agua subterránea, tanto físico como químico, dentro del marco de la geología local, generan conocimiento sobre los mecanismos que rigen los sistemas de flujo (Pérez. 2008).

Garza, en 2009, realizó un estudio hidrogeoquímico en la parte sur del estado de Nuevo León, determinó diversos parámetros fisicoquímicos de campo y laboratorio, de muestras colectadas, donde observó una variación desde químicas dominadas por Ca-HCO₃-SO₄, en los bordes de las cuencas, hacia facies hidrogeoquímicas más complejas, como Na-Mg-SO₄-Cl en las partes centrales de las cuencas. Así mismo determinó la calidad química del agua subterránea, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, para consumo humano, donde se detectó exceso de concentraciones de Na, Li, SO₄, NO₃ y F, (Garza, 2009).

Dávila *et al*, 2012, evaluaron los impactos humanos sobre el agua subterránea y la evolución hidrogeoquímica en un acuífero en Linares, Nuevo León, donde analizaron el agua de 23 pozos, en 2009, entre las zonas aguas arriba y aguas abajo con referencia a la ciudad de Linares, y con información del INEGI de 1981 compararon la evolución hidrogeoquímica del acuífero. En ambos años (1981 y 2009) el mismo proceso de mineralización se presentó; las principales diferencias fueron valores elevados de algunos constituyentes, que pueden ser considerados como indicadores de contaminación (es decir, nitrato, cloruro, sulfato, borato y SDT), donde la fuente de contaminación pudo ser accidental o inducida, como filtración de agua residual, efluentes del tratamiento de agua residual. En la zona aguas abajo, la calidad del agua subterránea cambió debido a la mayor concentración de calcio

y bicarbonato por el proceso de mineralización natural. Las concentraciones de nitratos superaron los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Del Campo *et al.*, (2014) investigaron el impacto de la urbanización en la hidrodinámica e hidroquímica del agua subterránea en el acuífero del valle de Toluca, el cual, desde 1950, ha sido usado para proveer de agua a la ciudad de México, y en los 80's el establecimiento de industrias trajo como consecuencia la inmigración, incrementando la población y, por ende, la demanda de agua. Para determinar el volumen de extracción consultaron información de una base de datos que contenía información de 47 pozos que estaban equipados con piezómetros, así como de un inventario realizado por el Instituto de la Tecnología del Agua, en colaboración con la Comisión Nacional del Agua, en donde se observó que, a partir de los 80's, el descenso del nivel del agua fue muy evidente y, en el periodo de 1968 al 2010, los niveles disminuyeron en 30m. Así mismo, la dirección del flujo en 1979 del agua subterránea fluía de SW a NE, mientras que en 2010 convergió a la zona industrial. También realizaron un recorrido de campo para determinar fisuras y características de la infraestructura y, con respecto a los cambios en la hidroquímica del agua subterránea, consultaron bases de datos y realizaron una campaña de muestreo (35 muestras), encontrando que en los años de 1991 al 2010 la hidroquímica del agua no cambió en general; sin embargo, las concentraciones de Cl, NO₃ y SO₄ sí aumentaron en ciertos pozos donde se observaron fisuras, las cuales, mencionan, facilitaron la infiltración de contaminantes, ya que tales fisuras se presentaron en las zonas más industrializadas. Con los diagramas de Piper determinaron que el agua era de tipo bicarbonato de sodio-magnesio y tipo magnesio-calcio.

Ledesma *et al.*, (2015) investigaron la evolución geoquímica del agua subterránea bajo tierras agrícolas en el noreste de México. Determinaron la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la demanda de oxígeno, los cationes y los aniones. Realizaron un análisis de correlación para identificar asociaciones entre los diversos constituyentes geoquímicos, obteniendo como resultado valores moderadamente

altos de conductividad eléctrica, aguas dominadas por bicarbonato de calcio y sulfato de calcio, también determinaron cuatro grupos distintos de agua: Ca- HCO₃, Ca-HCO₃-SO₄, Ca-SO₄-HCO₃ y Ca-SO₄.

1.2.5 Sostenibilidad del agua subterránea

Desde mucho tiempo atrás diversos autores reconocían que era necesario tener un buen manejo del recurso agua subterránea, de tal manera que no se viera comprometido en el futuro. Lee, en 1915, escribió sobre la determinación del rendimiento seguro de depósitos subterráneos, ya que mencionaba que en un futuro se dependería de dichos depósitos. Todd en 1959, precisó diciendo que las zonas que se han visto escaseadas del recurso del agua subterránea, fue debido al uso excesivo de la misma, e hizo hincapié en la necesidad de una planificación adecuada que garantizara la disponibilidad continua del suministro de agua y Alley *et al*, en 1999, definieron la sostenibilidad del agua subterránea, como; el desarrollo y el uso del agua subterránea de una manera que se puede mantener durante un tiempo indefinido, sin causar consecuencias inaceptables en el ámbito económico, social y ambiental (Lee, 1915; Todd, 1959; Alley *et al* 1999).

El concepto de sostenibilidad surge como resultado del análisis de la situación de crisis del planeta, una situación insostenible que amenaza gravemente el futuro, donde definir un sistema o proceso como “sostenible” significa que puede continuar indefinidamente sin agotar nada de los recursos que necesita para funcionar (Bybee, 1991; Nebel & Wright, 1999; Macedo, 2005).

Las vías de desarrollo no sostenibles y los fracasos de la gobernanza han afectado la calidad y la disponibilidad de los recursos hídricos, y se ha comprometido su capacidad de generar beneficios sociales y económicos. La demanda mundial de agua está muy condicionada por el crecimiento demográfico y la urbanización, entre otros. Se prevé que la demanda mundial de agua aumente un 55% en 2050, debido principalmente a las crecientes necesidades de la industria, la producción térmica de electricidad y el uso doméstico. Los suministros de agua subterránea están disminuyendo, y se calcula que en la actualidad se está explotando en exceso el 20% de los acuíferos mundiales. La alteración de los ecosistemas, a través de la

incesante urbanización, las prácticas agrícolas inadecuadas, la deforestación y la contaminación son algunos de los factores que están socavando la capacidad del medio ambiente para proporcionar los servicios del ecosistema, como agua limpia (UNESCO, 2015).

1.3 HIPÓTESIS

El agua subterránea presente en el campus CU-UANL se encuentra posiblemente afectada por la contaminación de las actividades urbanas e industriales, por lo que conocer su grado de contaminación y la dirección del flujo del agua, determinará el manejo que se le pudiera dar a este recurso de manera sostenible.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la calidad química del agua y las condiciones hidrodinámicas del acuífero presente en el campus CU-UANL, aplicando métodos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Conocer la situación hidrológica y geológica del área.
- Elaborar cartas hidrogeológicas del área de estudio.
- Obtener muestras de agua y realizar análisis físicos, químicos, bacteriológicos y de metales pesados, de los aprovechamientos hidráulicos seleccionados.
- Caracterizar los tipos de agua a través de los diagramas de Piper.
- Evaluar la calidad del agua subterránea del campus CU-UANL.
- Elaborar mapa de vulnerabilidad acuífera del campus CU-UANL.

1.5 MÉTODO GENERAL

En la figura 4 se puede observar, de manera general, el método realizado, que en los siguientes capítulos se detalla con mayor precisión.

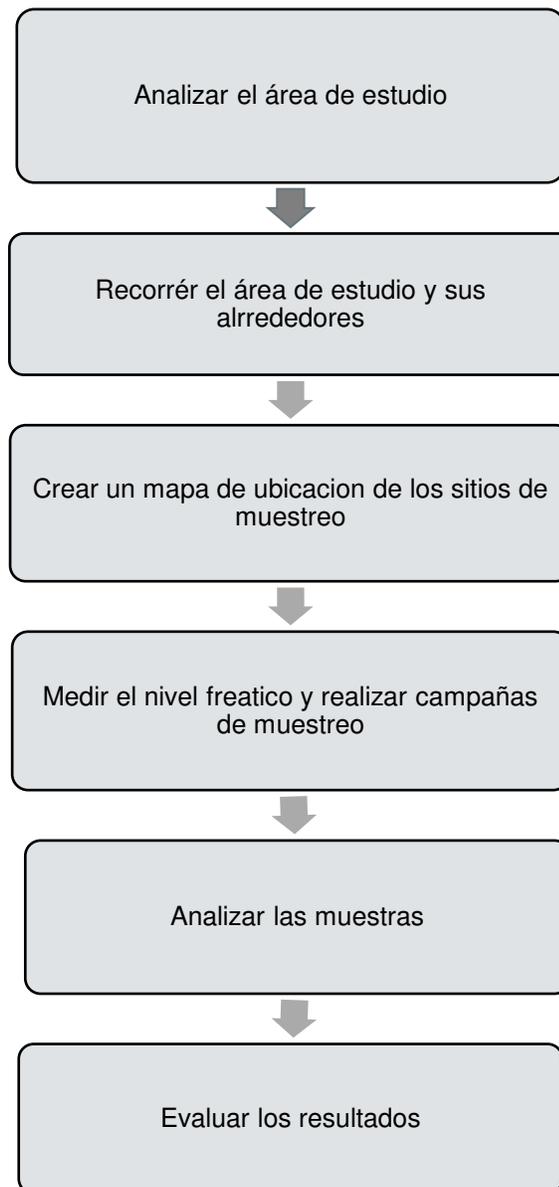


Figura 4. Método general

CAPÍTULO 2: ASPECTOS FÍSICOS

2.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada dentro del Área Metropolitana de Monterrey (AMM), entre los límites de San Nicolás de los Garza y Monterrey. Sus colindancias son: al norte, la Av. Palacio de Justicia; al sur, el Antiguo Campo Militar; al oriente, la Av. Universidad y al poniente la Av. Manuel L. Barragán (figura 5).

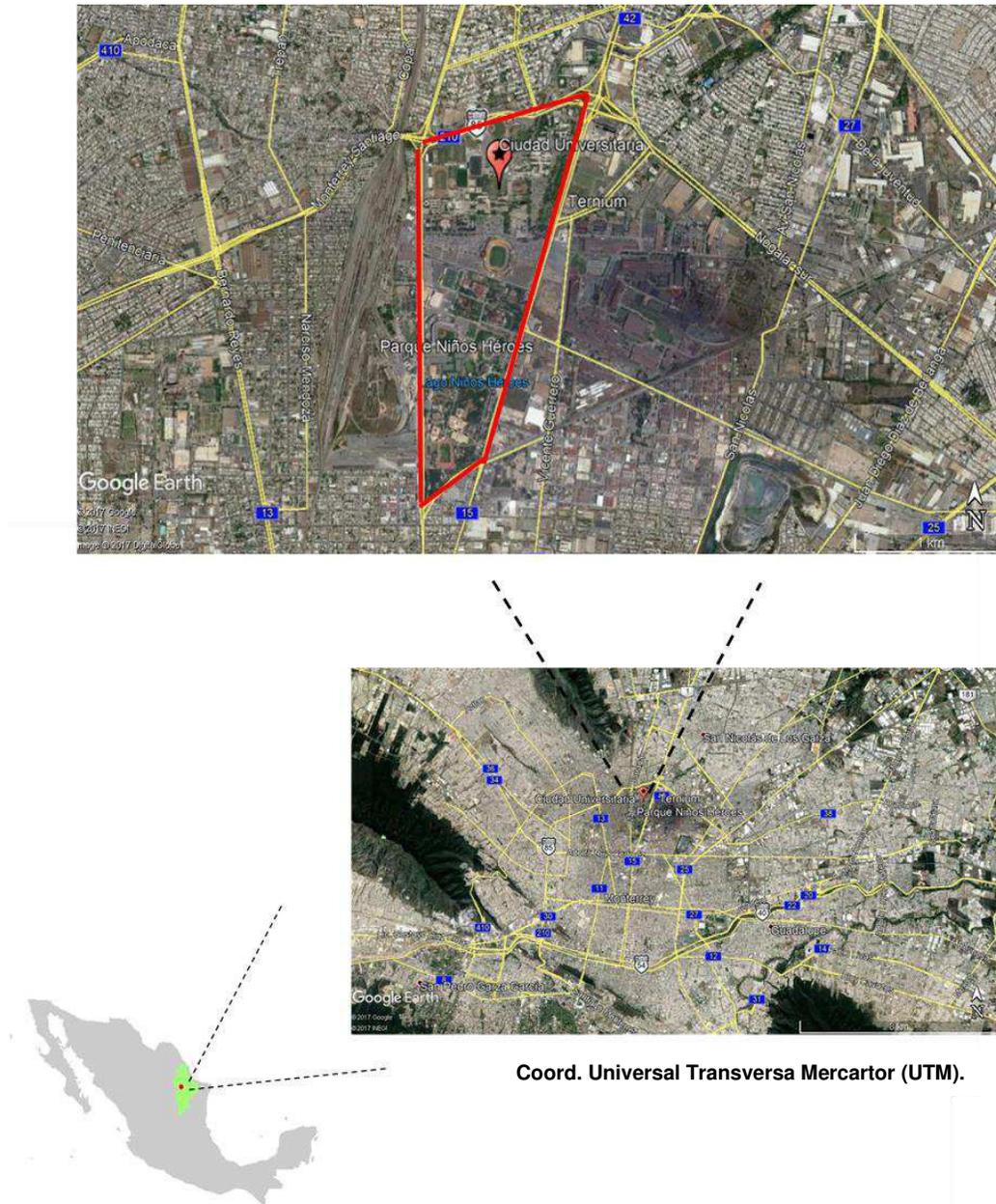


Figura 5. Localización del área de estudio (Google Earth, 2017).

2.2 FISIOGRAFÍA

El relieve es la forma en que se presenta la superficie de la Tierra. En México es extraordinariamente variado, se pueden encontrar desde cadenas montañosas hasta grandes planicies costeras pasando por valles, cañones, altiplanicies y depresiones entre otras formaciones. Además de la identificación de los principales rasgos del relieve, la fisiografía de una región implica el conocimiento y la explicación de los procesos que intervinieron en su modelado y que le han dado su aspecto actual. Las provincias fisiográficas son regiones en las que el relieve es el resultado de la acción de un mismo origen geológico, lo mismo que un mismo o muy semejante tipo de suelo y de la vegetación que sustenta, (INEGI, 2008)

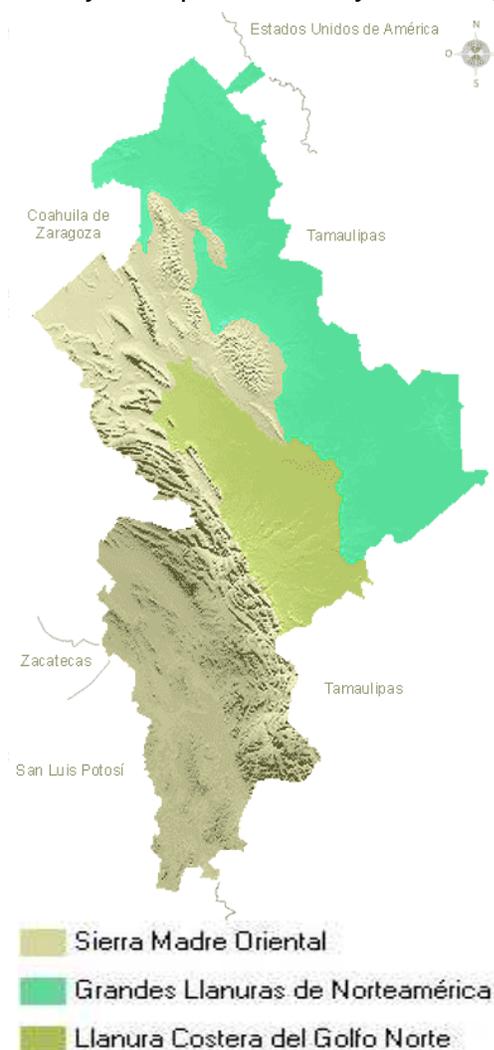


Figura 6. Provincias fisiográficas de Nuevo León (INEGI, 2015).

La Dirección General de Geografía del INEGI determinó una división en 15 regiones fisiográficas. El estado de Nuevo León comprende parte de 3 de estas 15 provincias fisiográficas: Sierra Madre Oriental, Llanura Costera del Golfo Norte y las Grandes Llanuras de Norteamérica, figura 6. (INEGI, 2008).

Según el prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, para los municipios de Monterrey y San Nicolás de los Garza, municipios donde se ubica el área de estudio, las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte son las que comprenden los municipios y como subprovincias las Llanuras y lomeríos, la Gran Sierra Plegada-Flexionada, los valles de Laderas Tendidas, la Sierra Baja y la Sierra Plegada (INEGI, 2009).

2.3 CLIMATOLOGÍA

En el país México los climas son diversos; desde los muy cálidos en las costas; los secos en la parte central y norte y los templados en las sierras, en cuyas cumbres más altas se encuentran los fríos polares.

Para clasificar los climas, se ha adoptado la clasificación de Köppen, famoso climatólogo alemán, cuya clasificación de climas es una de las más aceptadas en el nivel mundial, y, además, fue adaptada por la mexicana Enriqueta García. Inicialmente esta clasificación se basaba solo en dos elementos fundamentales la temperatura y la humedad, posteriormente se le agregó otros como el viento y la presión, hasta llegar a la clasificación actual (figura 7).

Grupo		Tipos		Vegetación
A	Tropical Lluvioso	Af	Tropical con lluvioso todo el año	Selva
		Aw	Tropical con lluvias en verano	Bosque Tropical y Sabana
		Am	tropical con lluvias monzónicas en verano	Bosque Tropical y Sabana
B	Secos	Bs	Seco estepario. Lluvias escasas en verano	Estepa
		Bw	Seco desértico. Lluvia muy escasa y esporádica	Plantas xerofitas o ninguna
C	Templado Lluvioso	Cf	Templado con lluvia todo el año	Bosque de conífera de hoja caduca, Cultivos diversos, Matorral, Olivo, Vid, Cítricos
		Cw	Templado con lluvia en el verano	
		Cs	Templado con lluvia en el invierno	
E	Polares	Et	Polar de tundra	Musgos y líquenes
		Ef	Polar de hielos perpetuos	Hielos perpetuos

Figura 7. Tipos de climas en México, (INEGI, 2009).

En el Estado de Nuevo León predominan los climas del tipo “B”, Secos de la clasificación de Köppen. También se presentan otros tipos de climas, los cuales tienen una menor ocurrencia o dominancia; entre éstos se puede mencionar el “C” Templado. En los municipios de San Nicolás de los Garza y Monterrey se presentan principalmente los climas semiseco muy cálido y seco muy cálido (INEGI, 2009).

Temperatura

Datos recabados en la estación Meteorológica Monterrey, que se encuentra cerca del área de estudio, muestran que para los años de 2000 a 2016 la temperatura media mensual osciló entre 15.16 y 29.42 °C. Los meses con las temperaturas medias más altas fueron junio, julio y agosto, mientras que los meses con las temperaturas medias mínimas fueron diciembre, enero y febrero (figura 8).

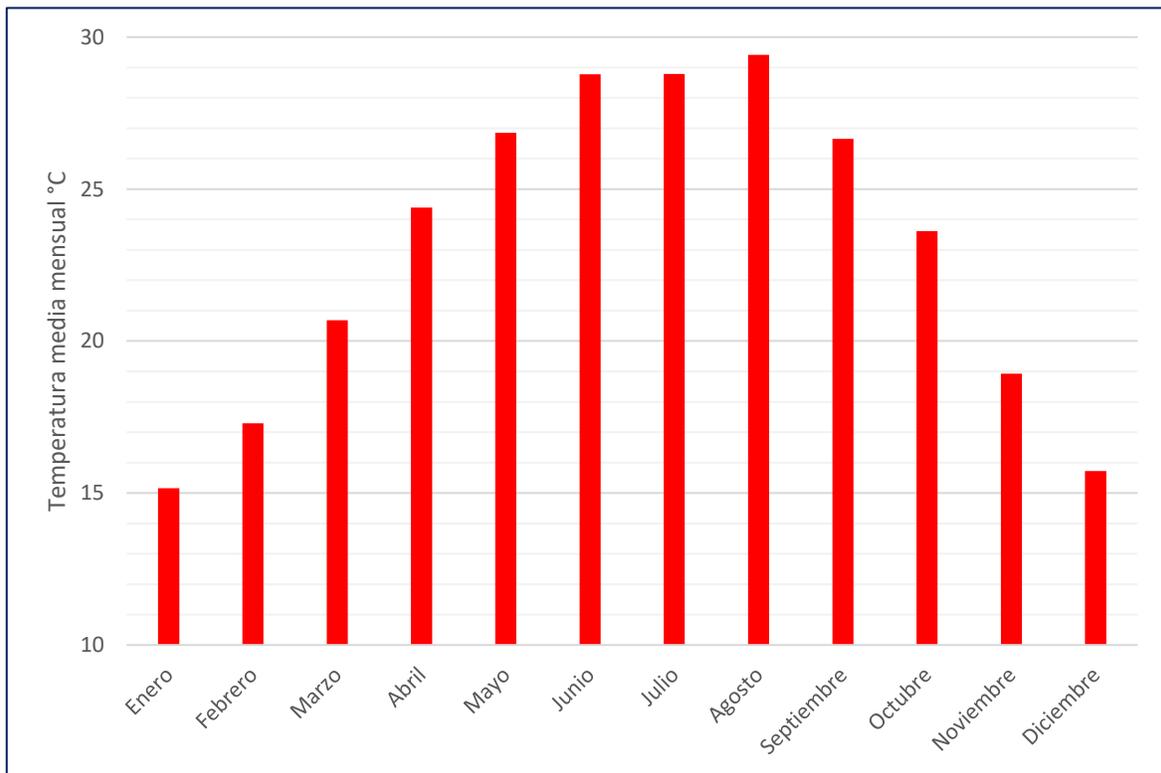


Figura 8. Gráfica de la Temperatura Media Mensual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).

Para los años revisados, 2000 a 2016, se observa una gran variación con respecto a la temperatura media anual, siendo los años 2004 con 22.45°C y 2007 con 22.50°C los que presentaron la temperatura más baja, mientras que las temperaturas más altas se presentaron en los años 2011, 2012 y 2009 con 24.65, 24.42, 24.03°C respectivamente (figura 9).

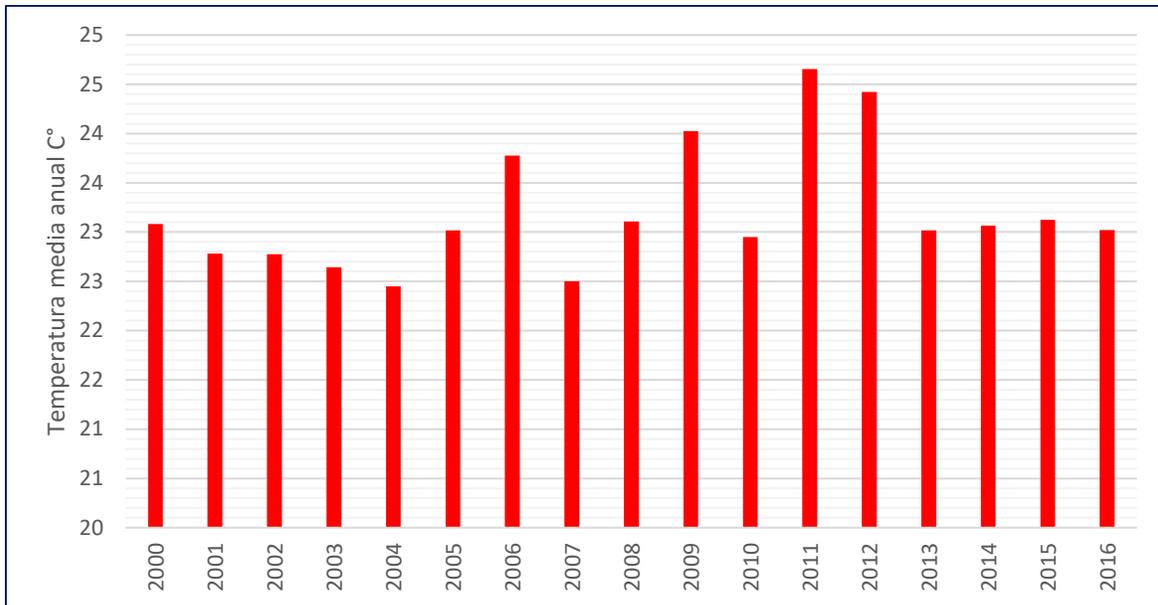


Figura 9. Gráfica de la Temperatura Media Anual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).

Precipitación

De acuerdo con la recopilación de datos de la estación Meteorológica Monterrey, ubicada cerca del área de estudio, para los años 2000 a 2016 la precipitación media mensual vario entre 21.3 mm como mínima en el mes de febrero y 249.97 mm, como máxima, para el mes de septiembre (figura 10).

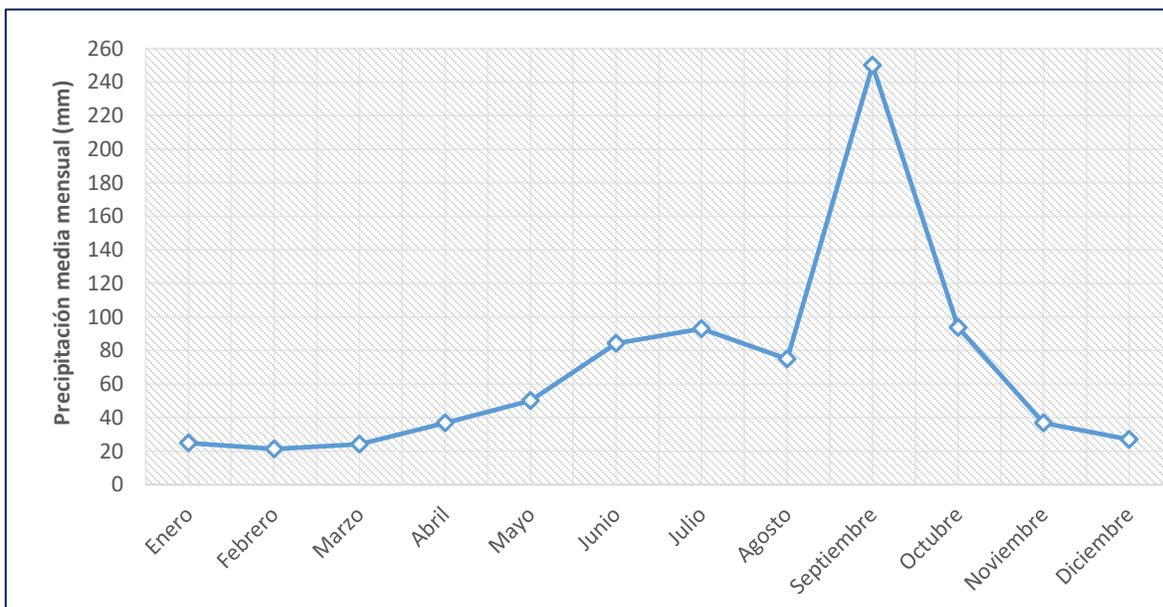


Figura 10. Gráfica de la Precipitación Media Mensual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016)

Con respecto a la precipitación anual acumulada de la estación meteorológica Monterrey, para los años 2000-2016, se presentó un promedio de 813.78 mm, donde los años con menor precipitación fueron en 2009, 2011 y 2012 con 464.47, 407.1 y 466.80 mm respectivamente, mientras que los años con mayor precipitación fueron 2010, 2003, 2004 y 2005 con 1498.25, 1196.30, 1033 y 1012.91 mm respetivamente (figura 11).

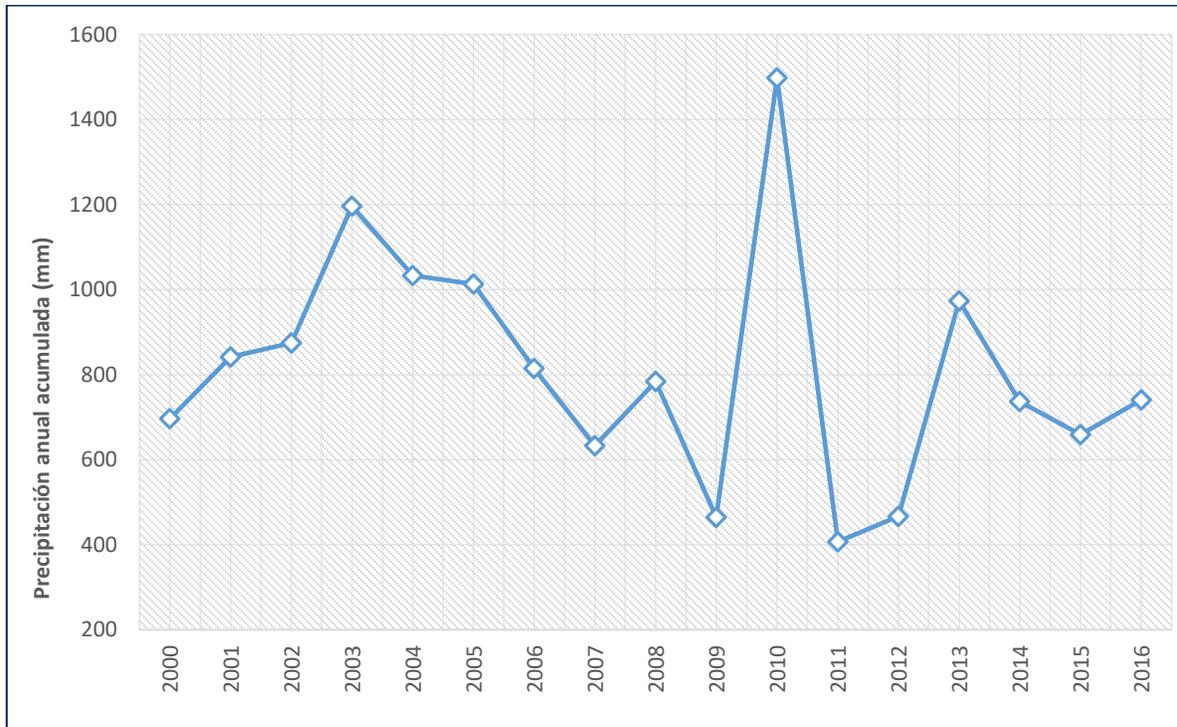


Figura 11. Gráfica de la Precipitación Anual Acumulada para los años 2000 al 2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).

Evaporación

En cuanto a la evaporación media mensual, para los años 2000 a 2016, de la estación meteorológica Monterrey, se presentó que la evaporación es mucho mayor que la precipitación, oscilando entre 78.24 y 240.79 mm (figura 12). En los años revisados, 2000 al 2016. La mayor evaporación se presentó en 2011, con 2346.86 mm, siguiéndole el año 2005, con 2251.81 mm; mientras que los años con menor evaporación fueron 2007 y 2015 con 1559.28 y 1575.73 mm, respectivamente (figura 13).

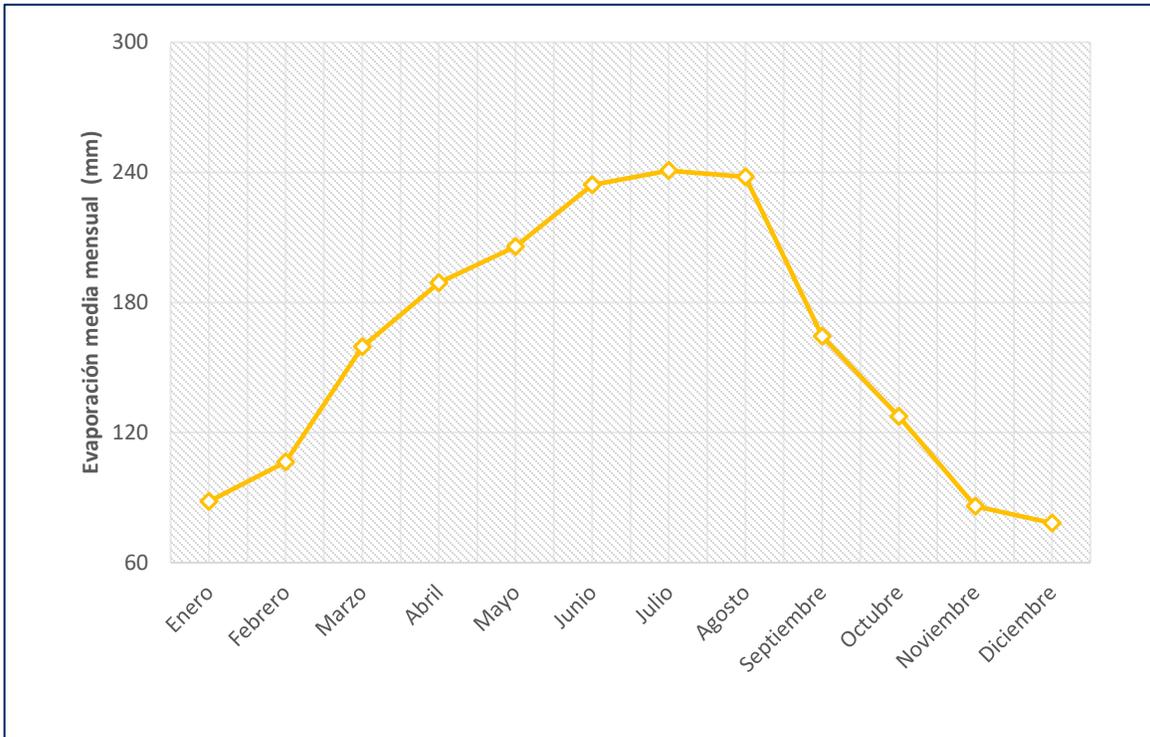


Figura 12. Grafica de la Evaporación Media Mensual para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA,2016).

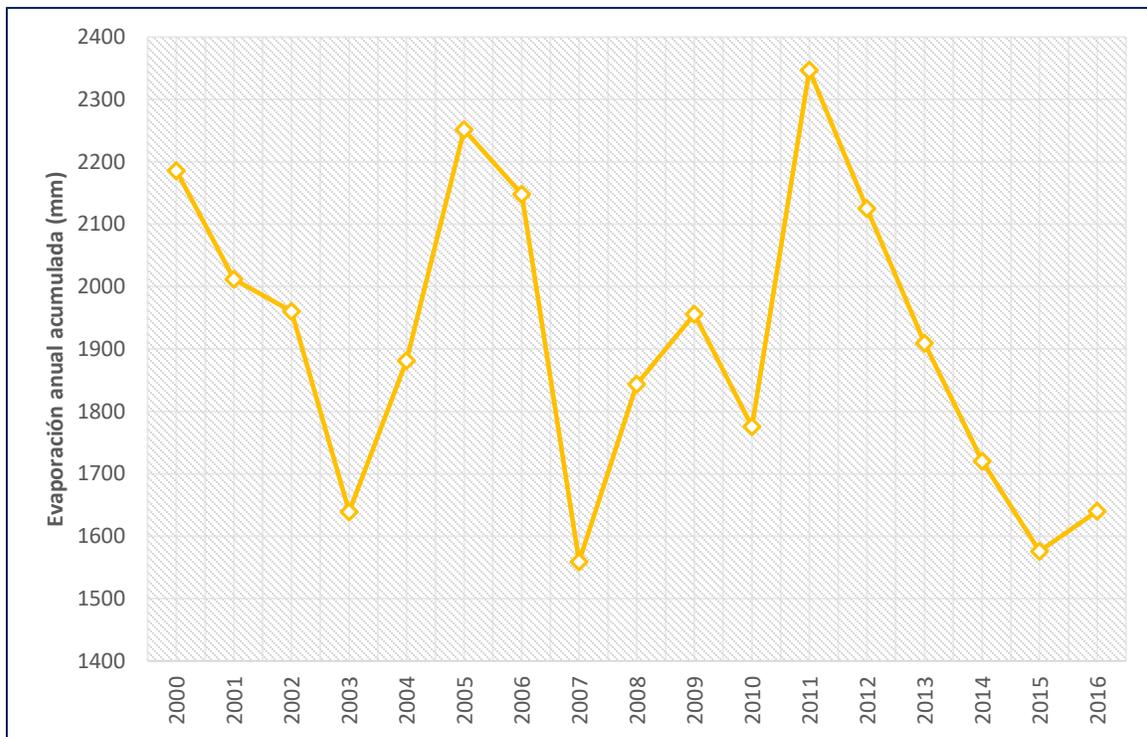


Figura 13. Grafica de la Evaporación Anual Acumulada para los años 2000-2016, datos obtenidos de la estación meteorológica Monterrey (CONAGUA, 2016).

2.4 HIDROLOGÍA

El área de estudio se encuentra dentro de la Región Hidrológica 24, (RH 24), Río Bravo, en la subregión del Río Bravo, en la cuenca del Río San Juan (figura 14), donde la zona es drenada al norte por el Río Pesquería, en su parte media por los arroyos del Topo Chico y la Talaverna y al sur por el Río Santa Catarina (CONAGUA, 2015).

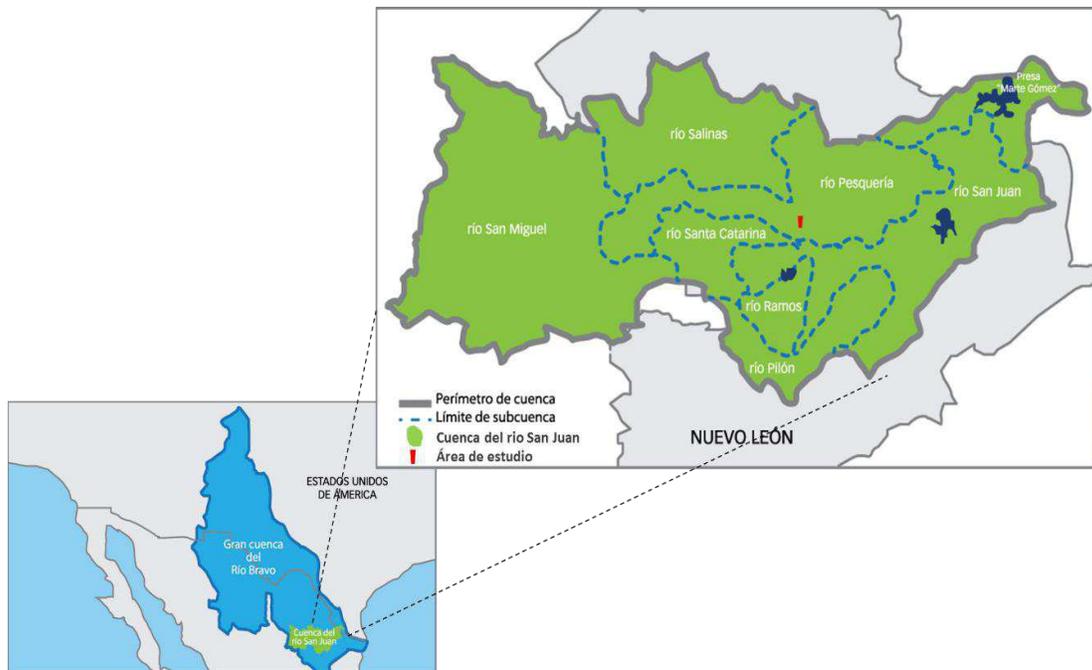


Figura 14. Cuenca del río San Juan (CONAGUA, 2015).

La red de drenaje natural del campus CU-UANL presenta una tendencia a fluir de SW a NE y forma parte de la cuenca o valle de inundación del arroyo del Topo Chico, en su rívera sur. El arroyo del Topo Chico está localizado en la región circundante al Cerro del Topo. Actualmente este arroyo está canalizado desde la avenida Bernardo Reyes, hasta su desembocadura en el río Pesquería. El arroyo del Topo Chico ha fluido generalmente de poniente a oriente y se considera, normalmente, de corriente episódica típica de zonas áridas llamadas rambas, las cuales se caracterizan por tener un lecho seco (figura 15), con flujo subsuperficial y transportar agua sólo en ocasiones de precipitaciones abundantes (Hernández, 1999 & SEDUE, 2009).



Figura 15. Arroyo Topo Chico circundante al área de estudio.

2.5 GEOLOGÍA

2.5.1 Regional

El estado de Nuevo León se caracteriza por la presencia predominante de rocas sedimentarias mesozóicas plegadas, que descansan sobre un basamento paleozóico y precámbrico. El rasgo fisiográfico más significativo lo constituye la flexión que sufre la Sierra Madre Oriental a la altura de Monterrey, a partir de la cual adquiere una orientación general E-O. Al norte de esta flexión los elementos orográficos se vuelven más espaciados, y las estructuras geológicas menos estrechas; además, el relieve disminuye gradualmente al oriente, hasta constituirse en la Llanura Costera del Golfo Norte. El basamento paleozóico sobre el que evolucionó la secuencia mesozoica de esta región ha sido interpretado como una continuación del cinturón Ouachita del sureste de Estados Unidos. Los periodos de emersión y fallamiento normal ocurridos durante el Triásico y parte del Jurásico, preparan la Paleografía de la parte superior del Mesozoico y dan lugar al depósito de capas rojas continentales que han sido reportadas; sobre todo en y al sur del sector de las sierras transversas Monterrey-Torreón. Desde el Hauteriviano hasta el Aptiano se formaron en todo el noreste de México depósitos calcáreos que constituyen diferentes facies. En gran parte del Golfo de Sabinas se depositaron las

calizas de la formación Cupido, en un ambiente de plataforma. Se desarrolló, además, un alineamiento arrecifal que corre de Laredo a Monterrey y de ahí al oeste; hacia Torreón, el cual es considerado como parte integral de la formación Cupido (Zenteno,1984).

Como estructuras aisladas del tren principal de la Sierra Madre Oriental, se localizan el Cerro de la Silla, el Cerro de las Mitras y el Cerro del Topo Chico (Figura 16).



Figura 16. Aspectos geomorfológicos más relevantes del Área Metropolitana de Monterrey (AMM).

El Área Metropolitana de Monterrey se localiza en tres diferentes regiones geomorfológicas: el valle, montañas de mediana altura y montañas de gran altura. El valle de Monterrey comprende los municipios de Monterrey, San Nicolás de los Garza, Guadalupe, San Pedro Garza Garcia y Santa Catarina, donde el material predominante en esta región son los sedimentos fluviales con escasos afloramientos de lutitas de la formación Méndez del Cretácico Superior. Sobre esta formación afloran capas delgadas de depósitos sedimentarios fluviales del cuaternario, constituidos por gravas, limos, arcillas y arenas (Alva, 1997).

El Valle de Monterrey está formado por aluvión, que es un depósito de origen reciente y es producto del acarreo y sedimentación del material detrítico de rocas madre alejadas de la zona de deposición. El agente de transporte es el agua de ríos y de arroyos. Las partículas que lo conforman presentan cierto grado de redondez y granulometría diversa. La parte central del valle está constituida por rocas lutíticas y margas de la formación Méndez. Los sedimentos del Cuaternario provienen de la desintegración de las rocas mesozoicas constituidas principalmente por calizas que forman las montañas, así como por las unidades lutíticas y margosas. Las formaciones geológicas, tanto del Jurásico con sus depósitos evaporíticos como las unidades del Cretácico, determinan la composición química del agua subterránea en el valle de Monterrey (Silva et al, 2015; Hernández, 1999).

2.5.2 Local

El área de CU-UANL forma parte del grupo de las planicies superiores que constituyen las unidades de relieve más importantes, con superficie de aplanamiento. La plataforma de rellenamiento superior del área en estudio fue cubierta por acarreos fluviales provenientes del Cerro de las Mitras y la falda suroeste del Cerro del Topo Chico, en los que predominan formaciones limo-arcillosas (Hernández, 1999).

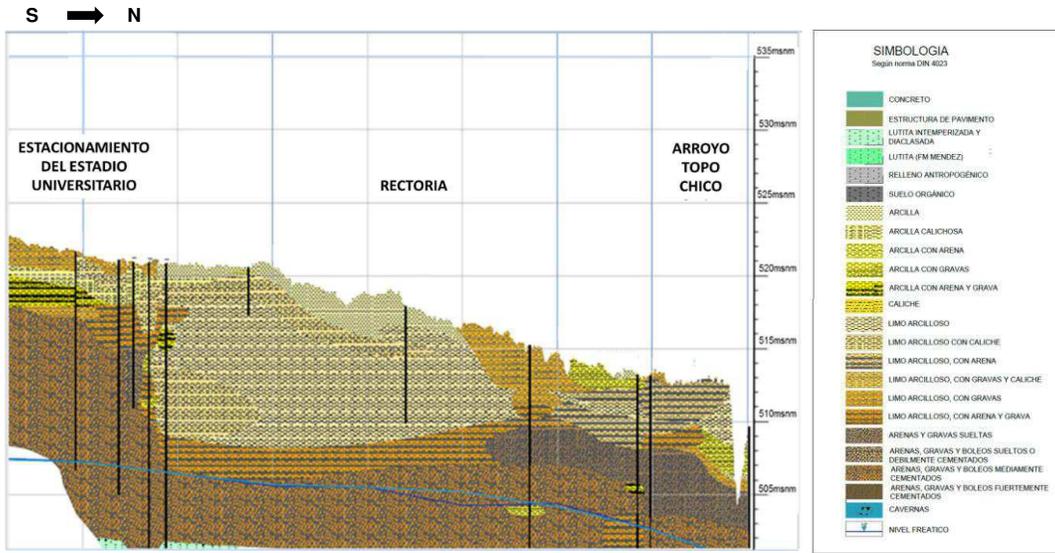
El área está localizada sobre un depósito compuesto básicamente por gravas parcialmente cementadas, boleos y gravas arenosas empacadas en arcilla. La litología está representada por un espesor de suelo de entre 21 y 25 m. de espesor, donde los materiales representados en una columna estratigráfica, en forma generalizada, se presentan de la base del techo de manto, como sigue: sobre la roca base, fracturada de tipo lutítico de la formación Méndez, descansan lentes de un material predominantemente arcilloso, con espesores que van de 0-8 m. Encima se encuentran lentejones de gravas y cascajos de materiales calizos muy lixiviados, relativamente fáciles de disgregar; su empaquetamiento siempre es apretado o ligeramente abierto; por lo que la matriz, de naturaleza limo-arenosa con algo de arcilla, es rala o pobre, y junto con la sustancia carbonatada que actúa como cementante (caliche), se distribuye rellenando espacios y poro entre las gravas;

confiriéndoles, según la cantidad de cementante, diferentes grados de cementación o litificación. El espesor de estos lentejones oscila entre 2.5 y 22 mts. Coronando la columna estratigráfica se observan lentejones de material predominantemente arcilloso, de color café, en toda la serie de tonalidades de claro al oscuro, con grumos y concreciones calichosas; sin faltar, ocasionalmente, la presencia de gravas; desde aisladas, hasta con empaquetamiento abierto en la pasta arcillosa (Hernández, 1999).

En la figura 18, se observa un perfil estratigráfico tomado de Silva *et al*, 2015, el cual nos muestra presencia de arcilla, arcilla con gravas y limos arcillosos con grava. A mayor profundidad (~15m) la presencia preponderante de arenas, gravas y boleas medianamente cementados, y mucho más al fondo se presenta una pequeña capa de lutita intemperizada. Dicho perfil se encuentra ubicado dentro de la parte noreste del área de estudio como se observa en la figura 17.



Figura 17. Ubicación del perfil estratigráfico.



En la parte noreste del área de estudio, en el Instituto de Ingeniería Civil, se encontró un afloramiento de aproximadamente 2 m de profundidad. Ahí se pudo observar la presencia de materiales de escoria (figura 19).



Figura 19. Afloramiento dentro del área de estudio, se observa la presencia de materiales de escoria.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 AGUA SUBTERRÁNEA EN EL CICLO HIDROLÓGICO

Existen diferentes definiciones para el ciclo hidrológico, pero generalmente se entiende como un modelo conceptual que describe el almacenamiento y la circulación del agua entre la biósfera, la atmósfera, la litósfera y la hidrósfera. El agua puede ser almacenada en océanos, lagos, atmósfera, ríos, suelos, glaciares, nevados y acuíferos. La circulación entre estos depósitos es causada por procesos como: evapotranspiración, evaporación, precipitación, infiltración, condensación y escurrimiento, los que son denominados componentes del ciclo hidrológico. (Campos, 2010).



Figura 20: El ciclo del agua. (USGS, 2017).

Este movimiento o circulación del agua que se da ocurre de un sitio a otro y de un estado de materia a otro, como se observa en la figura 19. Dicho movimiento se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el Sol, que proporciona la energía para elevar el agua del suelo, al evaporarla; la segunda, la gravedad, que hace que el agua condensada precipite. Por lo tanto, el ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación y esorrentía superficial o subterránea (Custodio & Llamas, 1976)

El agua subterránea representa sólo una parte del ciclo hidrológico, siendo el centro de interés de todo hidrogeólogo. El agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de éstos devuelve el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora. De esta manera, el agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes. Esta almacenada en acuíferos, ubicados en diferentes niveles de profundidad, hasta sistemas confinados que están a varios kilómetros por debajo de la superficie. Se puede encontrar agua subterránea en casi cualquier parte, trátase de zonas húmedas, áridas o semiáridas (Ordoñez, 2011).

El agua subterránea tiene varias características que la hacen aconsejable como fuente de abasto de agua, en comparación con el agua superficial. En primer término, los sistemas subterráneos constituyen un almacenamiento natural, que elimina el costo del tanque de almacenamiento, y la construcción de estructuras, entre otros. En segundo lugar, el abasto frecuentemente está disponible en el sitio de demanda, de modo que se reducen en forma significativa los costos de transporte del líquido. En tercer lugar, los materiales geológicos naturales filtran el agua subterránea, más clara y menos turbia que el agua superficial. Por añadidura, el agua subterránea esta menos sujeta a fluctuaciones estacionales y más protegida de la contaminación; pero, a menos que se impongan mayores restricciones a fuentes de contaminación del tipo de las instalaciones agrícolas grandes, rellenos

sanitarios, gasolineras, industrias, drenajes, operaciones de desechos riesgosos, las fuentes de agua subterránea estarán sometidas a una contaminación similar a la que afecta a las fuentes de agua superficial (Davis & Masten, 2005).

3.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Existen 4 diferentes formaciones geológicas, según su comportamiento hidrogeológico: el acuífero, que contiene una cantidad apreciable de agua, y permite la circulación del agua a través de ella con gran facilidad; el acuitardo, que contiene agua en cantidades apreciables, pero que el agua circula a través de ella con dificultad; el acuicludo, que también contiene agua en cantidad apreciable; sin embargo, no permite que el agua circule a través de ella; y el acuifugo, que ni contiene agua, ni permite la transmisión de agua (figura 21).

	Acuífero	Acuitardo	Acuicludo	Acuifugo
Capacidad de almacenar	Alta	Alta	Alta	Nula
Capacidad de drenar	Alta	Media/Baja	Muy baja	Nula
Capacidad de transmitir	Alta	Baja	Nula	Nula
Ejemplo	Arenas, Gravas, Calizas	Arenas, Arcillosas, Limos	Arcillas	Granito, Esquisto

Figura 21. Características de las formaciones hidrogeológicas (modificado de González, 2002).

Por unidad hidrogeológica se entiende el conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente, donde dentro de una unidad podrá haber uno varios acuíferos y quizá acuitardos o acuicludos entre ellos. Se considera una unidad porque están conectadas de modo que su funcionamiento (entradas, salidas, balance) se estudia de un modo conjunto (Sánchez, 2014; Villarroja, 2009).

El área de estudio se localiza dentro del acuífero “Área Metropolitana de Monterrey” que es un sistema relativamente sencillo, donde intervienen varias unidades hidrogeológicas de diferentes ambientes de depósitos que interactúan para conformar, bajo el esquema actual de explotación, una sola unidad hidrogeológica que funciona como un acuífero libre. Toda la zona el sistema está constituida por un acuífero contenido de lutitas alteradas, conglomerados y sedimentos aluviales, que funcionan como libre; y que tiene como base lutitas sana (CONAGUA, 2015).

3.3 TIPOS DE ACUÍFEROS

Cuando el agua almacenada en un acuífero está en contacto directo con la atmósfera a través de los poros y fisuras de la roca, el acuífero se denomina acuífero libre. Cuando un acuífero está aislado de la atmósfera por unidades geológicas impermeables se le denomina acuífero confinado. Pero si las unidades confinantes permiten un cierto flujo de agua desde el acuífero hacia el exterior o viceversa, al acuífero se le llama semiconfinado. Dependiendo el tipo de material litológico o porosidad que presentan, éstos se pueden dividir en tres tipos diferentes: acuífero de poros, acuífero de grietas y acuífero cárstico (Werner, 1996; Martínez *et al*, 2006).

Existen tres principales tipos litológicos de acuíferos (figura 22): a). Acuífero de poros: en su mayor parte se trata de sedimentos sueltos, como las gravas y las arenas. b). Acuífero de grietas: rocas consolidadas como areniscas, calizas no carstificadas, basaltos, granitos u otras rocas extrusivas e intrusivas. c). Acuíferos cársticos: rocas carstificadas, como lo son las calizas, las dolomías, y el yeso, entre otros (Werner, 1996).

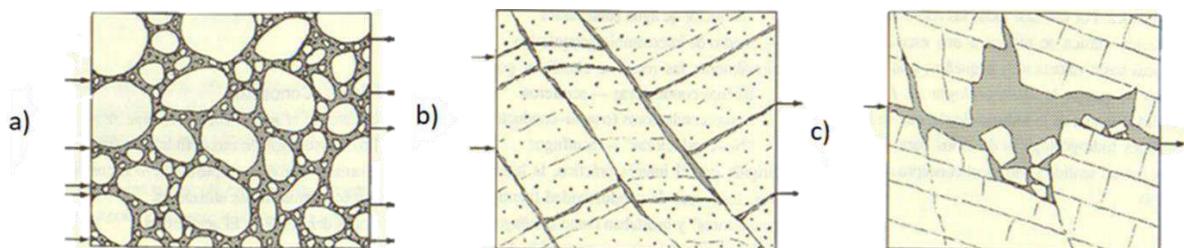


Figura 22. Tipos litológicos de acuíferos, modificado de Werner, 1996.

3.4 SISTEMAS DE FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los diferentes sistemas de flujo son resultado del movimiento del agua subterránea en una visión de "3D" y tiene relación directa con: el espesor de las unidades litológicas permeables por donde el agua circula; la topografía; el tipo de cobertura vegetal; y el tipo particular de suelo. Por ello, cada flujo le conferirá al agua características muy particulares. Tóth (2000) refiere que el agua subterránea es un agente geológico de carácter general, que puede ser representado por un modelo conceptual donde se integran parámetros geológicos, hidrogeológicos, edáficos, de vegetación y geomorfológicos, que determinaran el régimen del flujo del agua subterránea en una región determinada, como se observa en la figura 23 (Tóth, 2000).

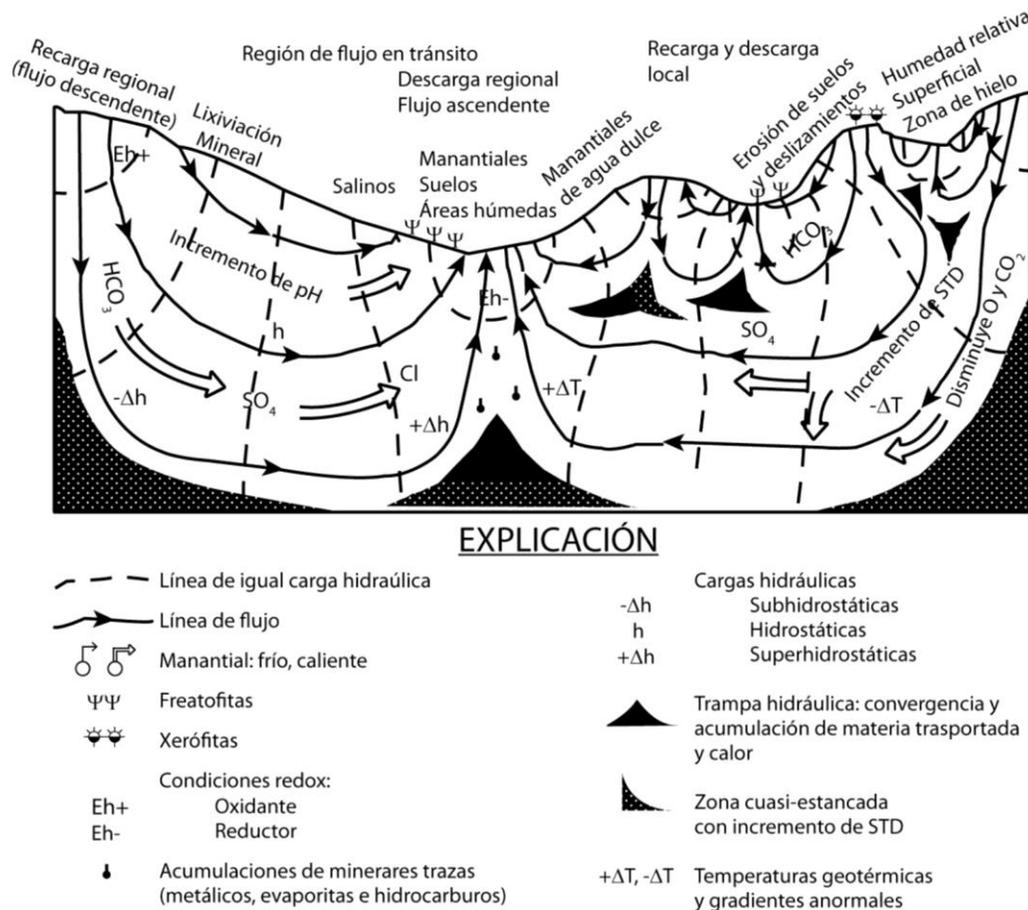


Figura 23. Efectos y manifestaciones de los diferentes sistemas de flujo del agua subterránea producidos por la fuerza gravitacional (Tóth, 1963).

Un aspecto importante a considerar en el movimiento del agua subterráneas dentro de la formación es el tipo de sistema de flujo que se presente. En este sentido se tienen tres sistemas de flujo definidos por Toth: local, intermedio y regional. En el sistema local, la mineralización es la alcanzada en el nivel del suelo, con ligeras modificaciones, en función de la solubilidad de los materiales que integran el acuífero. En el regional se puede alcanzar la saturación según este orden: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- ; éste último raramente saturado en lo referente a aniones, en los cationes es: Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^+ . En el flujo intermedio se tendrán características intermedias entre ambos extremos. Una de las características del flujo regional es el aumento de presión y temperatura, que incrementa las posibilidades de solubilización de sustancias y de este mismo hecho se deriva que el límite de saturación incremente como consecuencia del aumento de la fuerza iónica (González, 2011).

3.5 QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua es una sustancia químicamente muy activa, que tiene gran facilidad de disolver y reaccionar con otras sustancias, tanto inorgánicas como orgánicas. Su gran capacidad de disolución y su elevada reactividad hacen que contenga gran cantidad de sustancias disueltas, que entren a formar parte de la composición de muchas sustancias (hidratos, agua de formación, etc) y que ataque a muchas otras directamente o a través de las sustancias que lleva disueltas (hidrolisis, oxidaciones, etc). Las características químicas naturales del agua subterránea vienen determinadas por dos factores básicos: la naturaleza geológica del acuífero y del suelo y el funcionamiento hidrogeológico del mismo. Las interacciones de ambos proporcionan al agua su composición natural. Ésta puede verse influenciada por condicionantes externos, como la pluviometría, que modifican de forma temporal o permanente la naturaleza del agua. Como lo mencionan Appelo & Postma, (2005), el agua de lluvia es fuente de la mayoría del agua subterránea y un punto de partida lógico para el estudio de la geoquímica del agua subterránea. El agua de lluvia continental está dominada por el vapor oceánico y, de hecho, se asemeja al agua de mar fuertemente diluida. Sin embargo, el polvo y los gases naturales y antropogénicos modifican la composición. Antes de que la lluvia se convierta en agua subterránea, varios procesos en el suelo pueden afectar las concentraciones.

Las partículas de polvo depositadas en seco y los gases se disolverán. La evapotranspiración concentra los solutos y la vegetación selecciona elementos esenciales para almacenarlos temporalmente en la biomasa. Particularmente, la meteorización de los minerales en el suelo es de importancia en el cambio de las concentraciones, y todos los procesos del suelo juntos a menudo generan gran parte de la química del agua subterránea. En pocas palabras, las características geológicas y la composición química del agua no guardan una relación biunívoca, ya que no sólo el ambiente geológico (composición química de las rocas y sus productos de meteorización), sino también el ambiente hidrológico (precipitación, evapotranspiración y permeabilidad de los terrenos) y muchas veces las actividades humanas también juegan un papel importante (Custodio & Llamas, 1983; López, 1998; Appelo & Postma, 2005).

3.6 CALIDAD Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Por lo regular se suele pensar únicamente como factor importante la cantidad de agua disponible en el planeta; sin embargo, su calidad es también un factor de gran transcendencia, ya que éste puede decidir si es apta o no para cierto uso o actividad, o si el tratamiento correctivo necesario va a ser económicamente viable.

La calidad de un agua subterránea depende mucho de las condiciones del acuífero, de su litología, de su velocidad de circulación, de la calidad del agua infiltración, de las relaciones con otras aguas o acuíferos y de las leyes del movimiento de sustancias transportadas por el agua. Los factores hidrodinámicos juegan también un papel muy importante. Las actividades humanas, ya sea a través de la producción de desechos y residuos, o a través de modificaciones en el régimen hidráulico del flujo en los acuíferos y en sus relaciones entre ellos y con otras aguas y formaciones, pueden producir contaminaciones cuyos alcances son a veces insospechados, las cuales se ven favorecidas en muchas ocasiones por el descuido, la desidia, la ignorancia y, principalmente, por la falta de un adecuado control en la gestión del agua subterránea, donde las consecuencias podrían llegar a ser graves, de remedio costoso o inviable, si no se actúa con tiempo y decididamente (Custodio & Llamas, 1983).

CAPÍTULO 4: HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología podría definirse como la ciencia del agua subterránea, cuyo principal interés recae sobre su origen, movimiento e interacción con su medio geológico. Parte de la responsabilidad de los científicos e ingenieros del agua subterránea debe ser desarrollar y mantener información sobre la disponibilidad de los recursos hídricos; evaluar, monitorear y predecir la calidad resultante de los recursos hidrológicos; desarrollar una mejor comprensión científica de los efectos de las actividades del hombre que influyen en los regímenes hidrogeológicos y proporcionar a los encargados de la toma de decisiones la información necesaria en formatos adecuadamente contruidos, de tal manera que comprendan los problemas y la importancia de las ciencias hidrogeológicas como base para la gestión del medio ambiente; para así reaccionar adecuadamente (Davis & Wiest, 1971; Lizárraga, 2003).

En el presente capítulo se obtuvieron los niveles estáticos de años anteriores (2008-2015); además, se determinó el nivel piezométrico en diferentes periodos durante el transcurso del estudio y, con base en esta información, se analizó el comportamiento del acuífero evaluando su evolución en el nivel estático y, a través de las cartas piezométricas realizadas, se determinó la dirección del flujo del agua subterránea.

4.1 METODOLOGÍA HIDROGEOLÓGICA

La primera fase en cualquier estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico consiste en una revisión detallada del área de estudio, por lo que se analizaron las condiciones climatológicas, geológicas e hidrogeológicas del área de estudio.

Con la revisión de trabajos previos se ubicaron aprovechamientos hidráulicos. Con apoyo del programa informático Google Earth se visualizó el área de estudio para ubicar otros posibles sitios donde se pudiesen localizar más aprovechamientos hidráulicos.

Posteriormente se realizó un recorrido por el área y sus alrededores. Los aprovechamientos que se encontraron, se fueron registrando asignándoles una clave de referencia; así mismo, se describieron brevemente para facilitar su posterior localización. Se midió su nivel con respecto al nivel del mar con un altímetro de precisión (se verifico con un archivo LIDAR) y, se determinaron sus coordenadas geográficas con un Sistema de Geoposición Geográfica (GPS). Dicha información se observa en la tabla 1, que se usó para realizar un mapa de ubicación de los sitios de interés (figura 24).

Tabla 1. Aprovechamientos hidráulicos que se localizaron (10 pozos).

Clave	Información de referencia	Localización (Coord. UTM) Este	Localización (Coord. UTM) Norte	Elevación del terreno (msnm)
PCU-1	Localización: Instituto FIC, por el departamento topografía; uso: riego de jardines.	368883	2846757	514.00
PCU-2	Localización: Instituto FIC, por el departamento de hidráulica; uso: riego de jardines.	368820	2846726	514.50
PCU-3	Localización: Av, Nogalar, abajo del desnivel; uso: riego de área verde.	368986	2846607	513.50
PCU-4	Localización: Estación del metro Universidad; uso: sin uso,	368752	2845963	517.50
PCU-5	Localización: Parque Niños Héroe, canchas de béisbol; uso: riego de jardines.	368006	2844904	527.00
PCU-6	Localización: Estacionamiento cd. Universitaria, por av. Barragán; uso: sin uso, desequipado.	367918	2845652	523.80
PCU-7	Localización: Estacionamiento cd. Universitaria, por av. Universidad; uso: sin uso, desequipado.	368557	2845420	521.00
PCU-8	Localización: Estadio de béisbol; uso: riego de jardines.	367989	2845486	525.00
PCU-9	Localización: California II, Estación del metro Regina; uso: se encuentra conectado a la red de agua, para uso potable.	368152	2844143	530.50
PCU-10	Localización: Estación del metro universidad; uso: sin uso.	368724	2845876	518.00

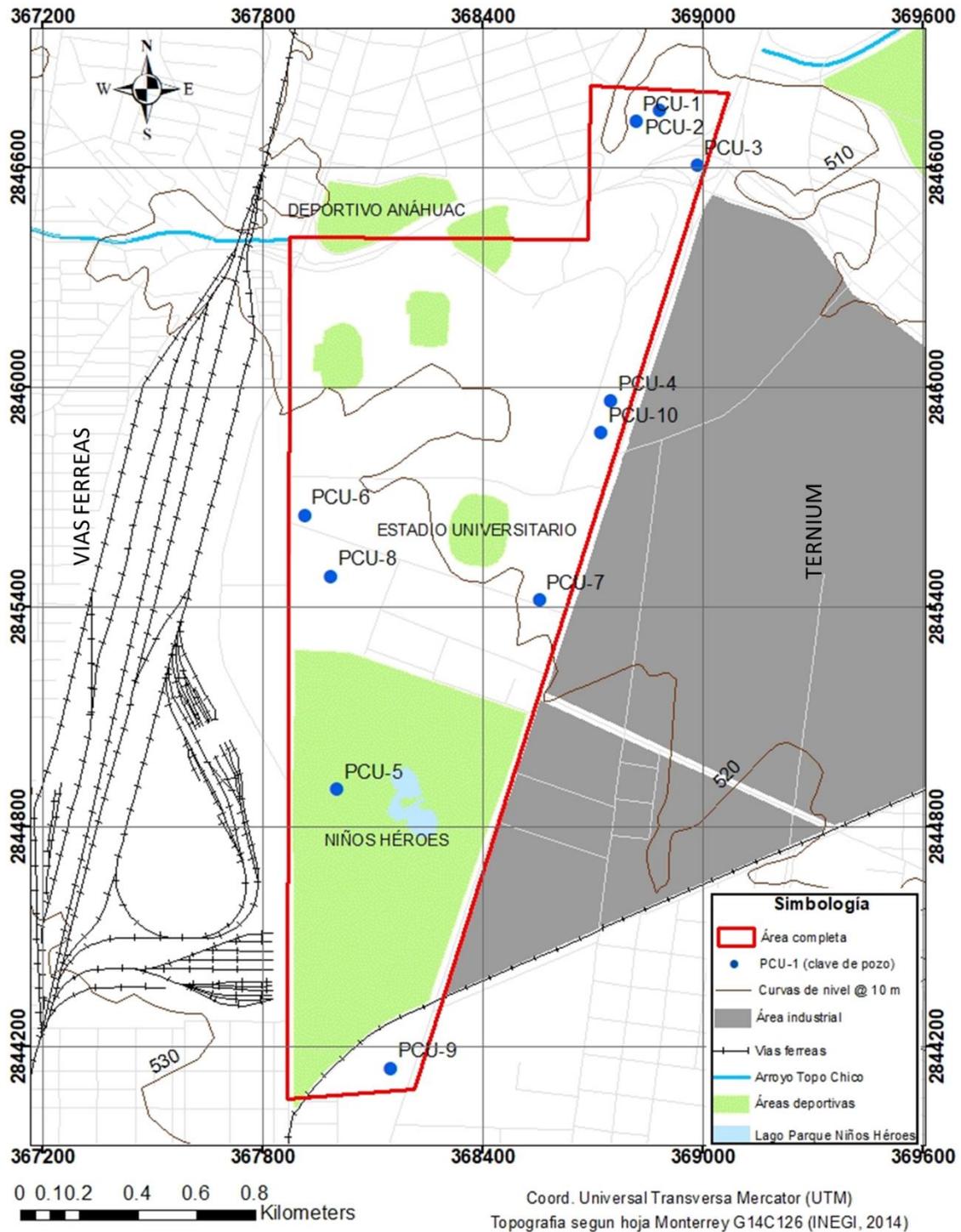


Figura 24. Mapa de ubicación de aprovechamientos hidráulicos seleccionados.



Figura 25. Aprovechamientos hidráulicos (pozos) presentes en el área de estudio.



Figura 26. Aprovechamiento hidráulico (pozo) presentes en el área de estudio.

4.1.1 Nivel estático

El nivel freático o nivel estático de los acuíferos libres aflora en los pozos y norias como espejo de pozo, que es la distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el nivel del agua subterránea y se mide desde la parte superior del brocal hasta el espejo del agua subterránea (Werner, 1996)

Los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), proporcionaron información del nivel estático de los años 2008 al 2015, de 5 pozos presentes en el área de estudio, así mismo en el transcurso de la investigación se realizó la medición del nivel estático en los meses de mayo y julio de 2016 y febrero y mayo de 2017 (tabla 2 y 3).

Tabla 2. Nivel estático promedio (NE) obtenido para los años 2008-2015, datos de (SADM, 2016).

Clave	NE (m) 2008	NE (m) 2009	NE (m) 2010	NE (m) 2011
PCU-4	10.65	11.50	12.23	12.48
PCU-6	N.D	N.D	N.D	12.12
PCU-8	14.42	14.67	14.61	14.03
PCU-9	12.59	14.75	13.11	10.97
PCU-10	11.29	12.28	12.34	13.36
Clave	NE (m) 2012	NE (m) 2013	NE (m) 2014	NE (m) 2015
PCU-4	12.76	12.46	12.78	12.42
PCU-6	13.09	12.40	12.38	12.20
PCU-8	14.03	13.75	13.66	14.09
PCU-9	10.93	11.40	11.40	11.28
PCU-10	13.03	12.42	12.50	12.21

N.D: NO SE DETERMINO

La medición del nivel freático o nivel estático en el campo, para la determinación posterior del nivel piezométrico, se realizó con una sonda sonora marca Solinst, un altímetro de precisión marca Burton (posteriormente verificado con un archivo LIDAR) y un GPS marca Garmin (figura 27).

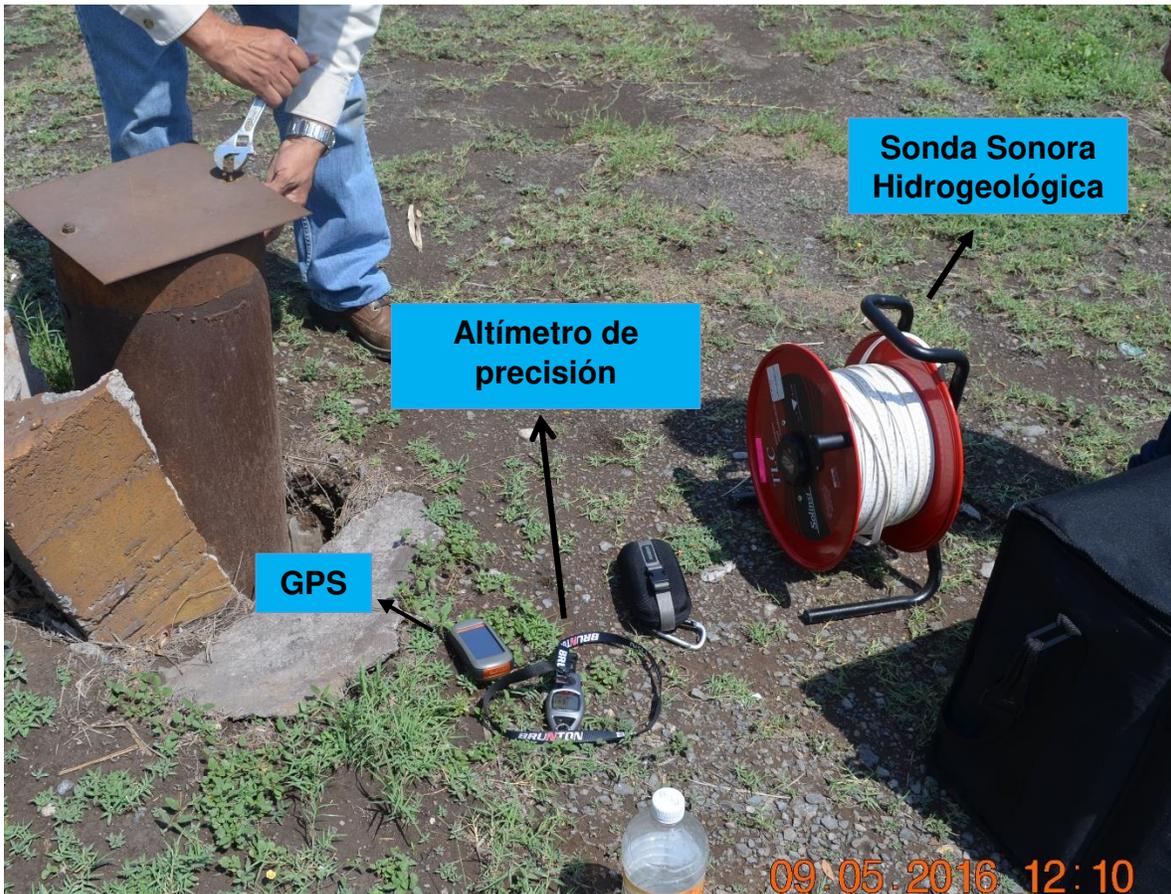


Figura 27. Equipo necesario para la medición del nivel estático.

4.1.2 Nivel piezométrico.

Se determinaron los niveles piezométricos de los meses en los que se midió el nivel estático (tabla 3). Se refiere al nivel piezométrico como el nivel en el que se encuentra el agua subterránea con respecto al nivel del mar, el cual se calcula obteniendo la diferencia de la elevación del terreno y el nivel estático.

Tabla 3. Nivel estático (NE) obtenido en campo, Nivel Piezométrico (NP).

Clave	Elevación del terreno (msnm)	NE (m) mayo 2016	NP (msnm) mayo 2016	NE (m) julio 2016	NP (msnm) julio 16
PCU-1	514.00	15.00	499.00	14.93	499.07
PCU-2	514.50	16.42	498.08	16.07	498.43
PCU-3	513.50	15.64	497.86	15.53	497.97
PCU-4	517.50	12.97	504.53	12.92	504.58
PCU-5	527.00	12.05	514.95	11.89	515.11
PCU-6	523.80	12.55	511.25	12.36	511.44
PCU-7	521.00	14.90	506.10	14.71	506.29
PCU-8	525.00	14.45	510.55	14.29	510.71
PCU-9	530.50	11.68	518.82	11.52	518.98
PCU-10	518.00	12.93	505.07	12.77	505.23
Clave	Elevación del terreno (msnm)	NE (m) febrero 2017	NP (msnm) febrero 2017	NE (m) mayo 2017	NP (msnm) mayo 2017
PCU-1	514.00	14.82	499.18	14.98	499.02
PCU-2	514.50	15.85	498.65	16.06	498.44
PCU-3	513.50	15.37	498.13	15.52	497.98
PCU-4	517.50	12.73	504.77	12.88	504.62
PCU-5	527.00	11.58	515.42	11.74	515.25
PCU-6	523.80	12.34	511.46	12.42	511.38
PCU-7	521.00	14.52	506.48	14.76	506.24
PCU-8	525.00	13.98	511.02	14.14	510.85
PCU-9	530.50	11.21	519.29	11.38	519.12
PCU-10	518.00	12.46	505.54	12.62	505.37

4.1.3 Construcción de la Carta Piezométrica

La configuración espacial del nivel piezométrico de un acuífero se representa mediante cartas piezométricas, que proporcionan información valiosa, como las direcciones de su flujo y los gradientes de su flujo (Werner, 1996).

La construcción de la carta piezométrica se basa en el método del triángulo hidrológico, que consiste en la interpolación lineal de los niveles piezométricos entre dos puntos de diferente elevación, que se van ligando con puntos adyacentes, lo que permite el trazo de las curvas piezométricas, como se observa en la figura 28 (Werner, 1996).

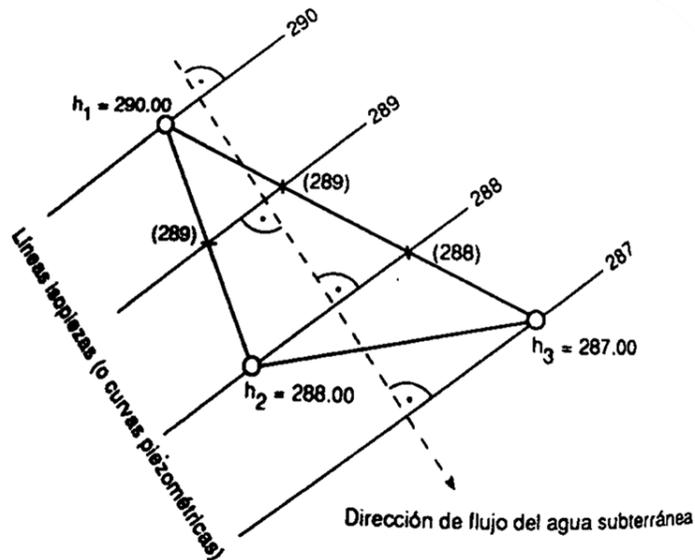


Figura 28: Triángulo hidrológico. Todas las alturas en msnm. Los vértices consisten en 3 pozos nivelados, con nivel piezométrico medido. Utilizando la regla de tres, los lados del triángulo se dividen según las diferencias de altura entre h_1 , h_2 , h_3 (Werner, 1996).

Para la presentación digital de las cartas piezométricas, se utilizó el método de interpolación “Kriging” de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para la cual se realizó la siguiente metodología:

- 1- Se creó un archivo en Excel con la información de las coordenadas y el nivel piezométrico de cada uno de los pozos registrados, el cual se guardó en formato de texto.
- 2- Se exportó el archivo al SIG y se creó en formato “shape”.
- 3- Se realizó la interpolación con la herramienta de interpoladores y se creó un “ráster”, a partir del método de interpolación Kriging.
- 4- Una vez generada la interpolación, se utilizaron las herramientas del SIG para crear las curvas de nivel del agua subterránea, a cada cuatro metros de distancia.
- 5- Se dibujaron las líneas para representar la red de flujo y, finalmente, se le dio formato al mapa.

En el presente estudio se realizaron cuatro cartas piezométricas, una para el mes de mayo de 2016 correspondiente a temporada ordinaria, otra correspondiente al mes de julio de 2016, y otra para el mes de febrero de 2017, ambas

correspondientes a temporada de sequía y, finalmente, una para el mes de mayo de 2017; de igual forma, correspondiente a temporada ordinaria (figura 30).

4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2.1 Profundidad del nivel estático

Los datos recopilados de los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), sobre el nivel estático medio para cada uno de los pozos medidos en los años 2008-2015 muestran que el mayor descenso que se ha presentado fue de 14.67 m, que se presentó en 2009 para el pozo PCU-8, mientras que el menor descenso fue en 2008, en el pozo PCU-4, con 10.65 m. Con base en los perfiles estratigráficos obtenidos por el Departamento de Mecánica de Suelos del Instituto de Ingeniería Civil, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, y digitalizados por Silva *et al*, en 2015, se observa que los materiales presentes a la profundidad en la que se mantuvo el nivel freático (entre 12 y 13m), son arcillas limosas con grava, limos arenosos, grava con boleos, grava arcillosa limosa con boleos, y grava arenosa con arcillas limosa, lo que muestra que el acuífero en estudio, es un acuífero libre poroso (Werner, 1996; Martínez *et al*, 2006).

Desde un punto de vista hidrogeológico, comparando la precipitación anual acumulada (figura 11) y el comportamiento del nivel estático en los años de 2008 a 2015 (figura 29), se puede ver cómo se presenta un patrón similar, ya que en el año 2008 el nivel estático fue el año en el que se presentó el menor descenso, con 12.25 m. Cabe destacar que en años anteriores se había estado presentando una tendencia de precipitación por arriba del promedio (813.78 mm), a excepción de los años 2000, 2007 y 2008. Siguiendo el análisis, el año 2009 fue en el que se presentó el mayor descenso del nivel estático con 13.30 m; así mismo, fue uno de los años con menor precipitación (464.47mm). Á pesar de que 2010 fue el año con mayor precipitación anual acumulada, el nivel estático no fue el de mayor ascenso; esto debido a que la razón por la cual fue el año con mayor precipitación fue por la presencia de un huracán en esta región, el llamado “huracán Alex”, ya que tan sólo en dos días, el 1^{ro} y 2^{do} de julio de 2010, llovió aproximadamente 500 mm, los cuales se presume no fueron de importancia para la recarga del acuífero. En su

contraparte, los años siguientes 2011 y 2012, se presentó una sequía en la región (Giner *et al*, 2011; Ortega, 2012; Ortega, 2013); sin embargo, el descenso del nivel estático no fue tan marcado como en 2009, cuando de igual manera se presentó una sequía (Ortega, 2013). Los años siguientes del 2012 al 2015, se observa recuperación de los niveles freáticos acorde a la precipitación.

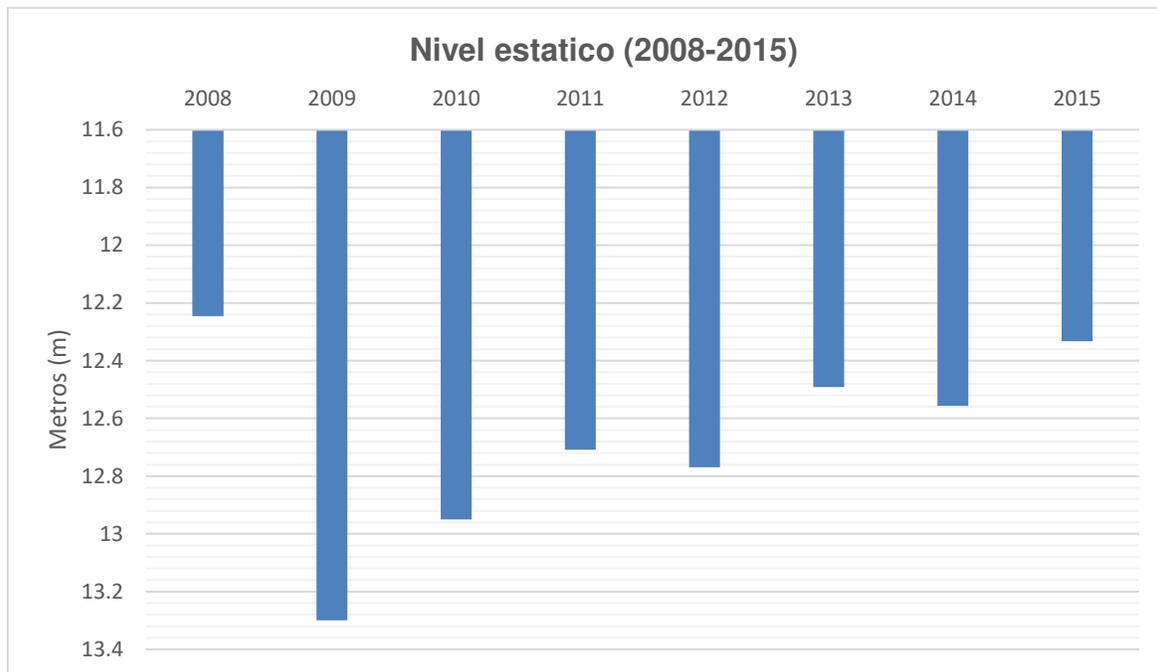


Figura 29. Gráfica del nivel estático del acuífero del campus CU-UANL, durante los años 2008 al 2015 (SADM, 2016).

4.2.2 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático en el periodo 2008-2015 para el campus CU-UANL, para los cuatro pozos de los cuales se tiene registro, presentó un abatimiento promedio de 1.34 m y una recuperación promedio de 0.82 m, siendo los pozos PCU-4 y PCU-10 los pozos que tuvieron abatimientos de 1.77 m y 0.92 m respectivamente, mientras que los otros dos pozos, el pozo PCU-8 se recuperó 0.33 m, así como el pozo PCU-9 con 1.31 m de recuperación (tabla 4).

Tabla 4. Evolución del nivel estático general en los 2008-2015, (SADM, 2016).

Clave	Coord. Este	Coord. Norte	Nivel Estático 2008	Nivel Estático 2009	Nivel Estático 2010	Nivel Estático 2011	Nivel Estático 2012	Nivel Estático 2013	Nivel Estático 2014	Nivel Estático 2015	Evolución 2008-2015
PCU-4	368752	2845963	10.65	11.50	12.23	12.48	12.76	12.46	12.78	12.42	-1.77
PCU-6	367918	2845652	N.D	N.D	ND	12.12	13.09	12.40	12.38	12.20	-N.D
PCU-8	367989	2845486	14.42	14.67	14.61	14.03	14.03	13.75	13.66	14.09	0.33
PCU-9	368152	2844143	12.59	14.75	13.11	10.97	10.93	11.40	11.40	11.28	1.31
PCU-10	368724	2845876	11.29	12.28	12.34	13.36	13.03	12.42	12.50	12.21	-0.92

N.D NO SE DETERMINO

4.2.3 Monitoreo del nivel piezométrico

Las mediciones del nivel estático para obtener los niveles piezométricos se realizaron en los meses de mayo y julio de 2016 y febrero y mayo de 2017. En la figura 30 se muestra que corresponden a temporadas de sequía y tiempo ordinario.

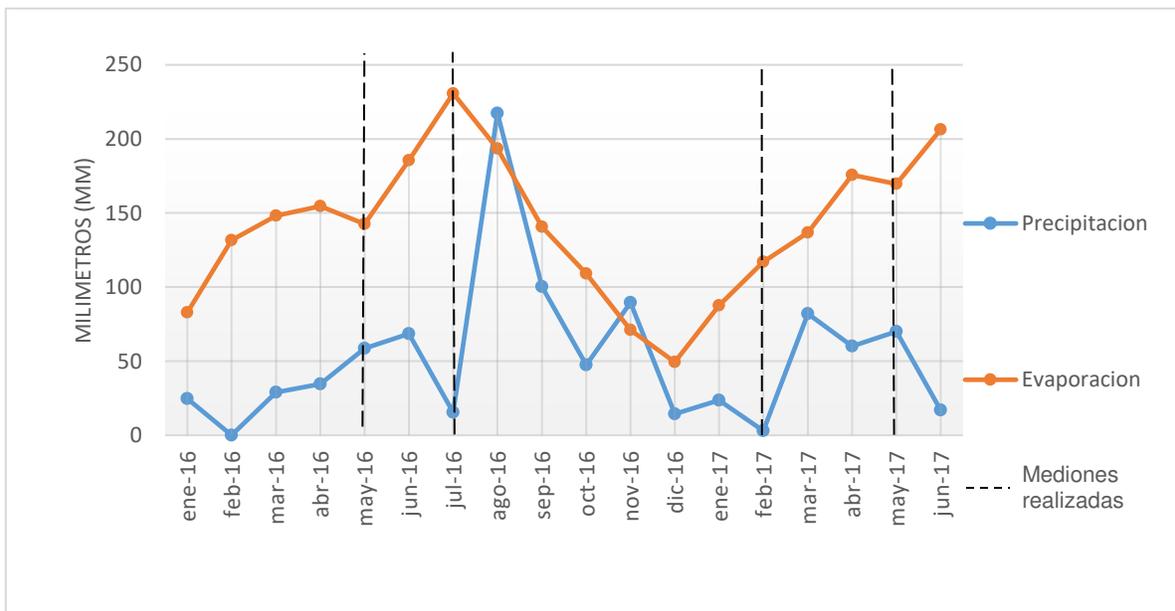


Figura 30. Comportamiento de la precipitación y la evaporación durante el periodo de monitoreo del nivel piezométrico en los años 2016 y 2017; datos obtenidos de la CONAGUA, 2016.

De los 10 pozos medidos, se encuentra que el pozo PCU-9 fue el que presentó el mayor nivel piezométrico, seguido de los pozos PCU-5, PCU-6 y PCU-8, dichos pozos se encuentran en la parte sur-oeste, del área de estudio. Mientras que los pozos que presentaron el menor nivel piezométrico fueron los pozos PCU-1, PCU-2 y PCU-3, presentes en la parte noreste del área, lo cual coincide con la topografía del sitio. En general, se observa que en cada uno de los pozos el respectivo nivel piezométrico se mantuvo muy constante en el transcurso del año medido (mayo 2016-mayo 2017), en donde para la segunda y la tercera medición el nivel aumentó algunos milímetros; pero, para la cuarta medición, el nivel descendió pocos milímetros, manteniéndose prácticamente como en la primera; sin embargo, como resultado final, el nivel piezométrico para el año 2016-2017 se mantuvo casi constante para todos los pozos medidos, lo que refleja las condiciones hidrodinámicas de un acuífero estable y dinámico (figura 31).

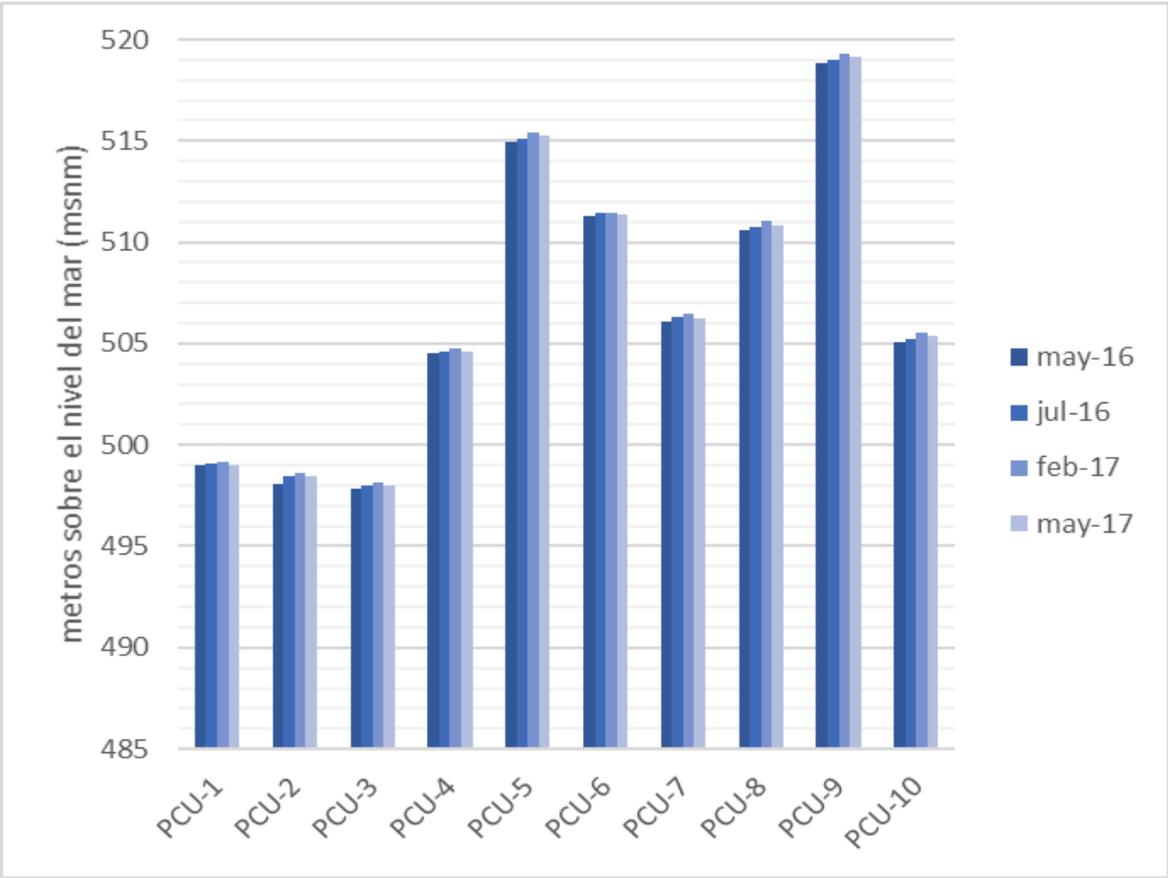


Figura 31. Nivel piezométrico durante el periodo de monitoreo en los años 2016 y 2017.

4.2.4 Configuración de la carta piezométrica

De acuerdo a las cartas piezométricas obtenidas para los años 2016 y 2017, correspondientes a la temporada ordinaria y de sequía (figura 33-36), se mostró casi la misma dirección del flujo subterráneo, de sur-oeste a noreste, siendo la parte sur-oeste donde se presentó la mayor altura piezométrica y al noroeste la que presentó la menor elevación piezométrica.

Se observa que hacia el noreste y el sur-oeste del área en estudio la equidistancia entre las curvas piezométricas es similar, sin embargo, en la parte central donde se encuentran los pozos PCU-4, PCU-6, PCU-8 Y PCU-10, las equidistancias entre las curvas son mayores, lo que según la ley de DARCY, estaría indicando un cambio en la permeabilidad. De acuerdo con Hernández, en su estudio sobre la caracterización del acuífero de CU-UANL realizado en 1999, menciona que el acuífero es de alta permeabilidad (3.88 m/hr) y a la vez con características altas de explotación del agua subterránea (Hernández, 1999).

El gradiente piezométrico (i) calculado para el mes de mayo de 2016 presentó un valor medio de 0.00708, al igual que en julio de 2016, mientras que para febrero y mayo 2017 el valor medio del gradiente piezométrico fue de 0.00713.

Los niveles estáticos del agua subterránea medidos se mantuvieron entre 11 y 16m como se observa en la figura 32.

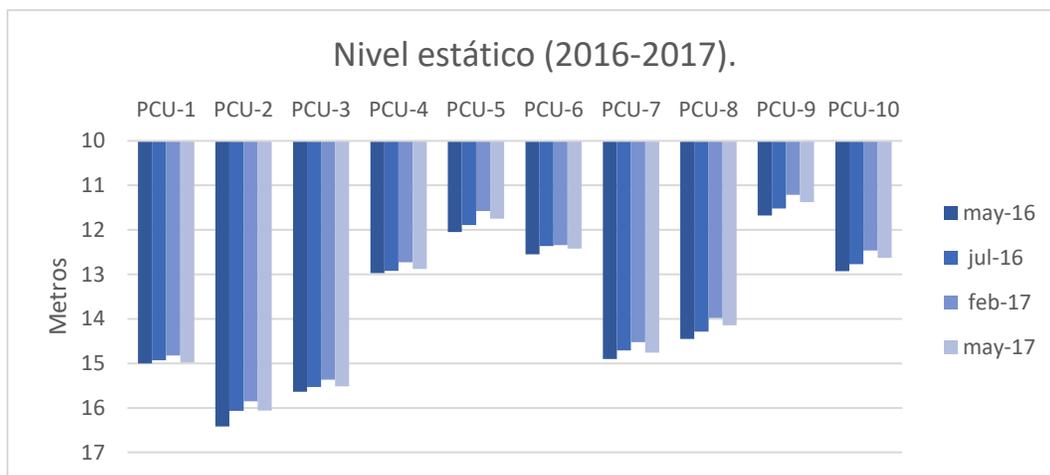


Figura 32. Nivel estático durante los años 2016-2017.

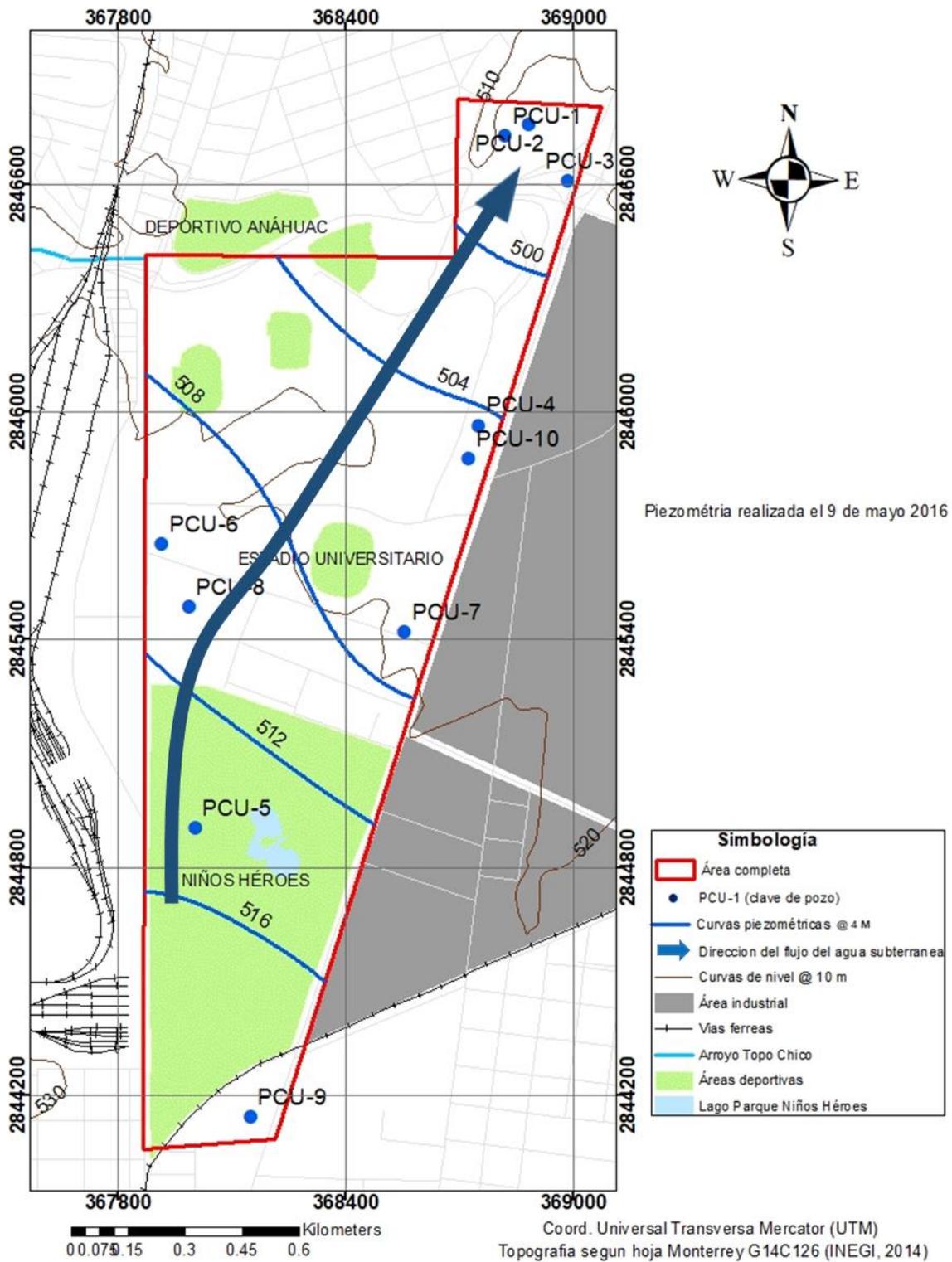


Figura 33. Carta piezométrica para el mes de mayo de 2016

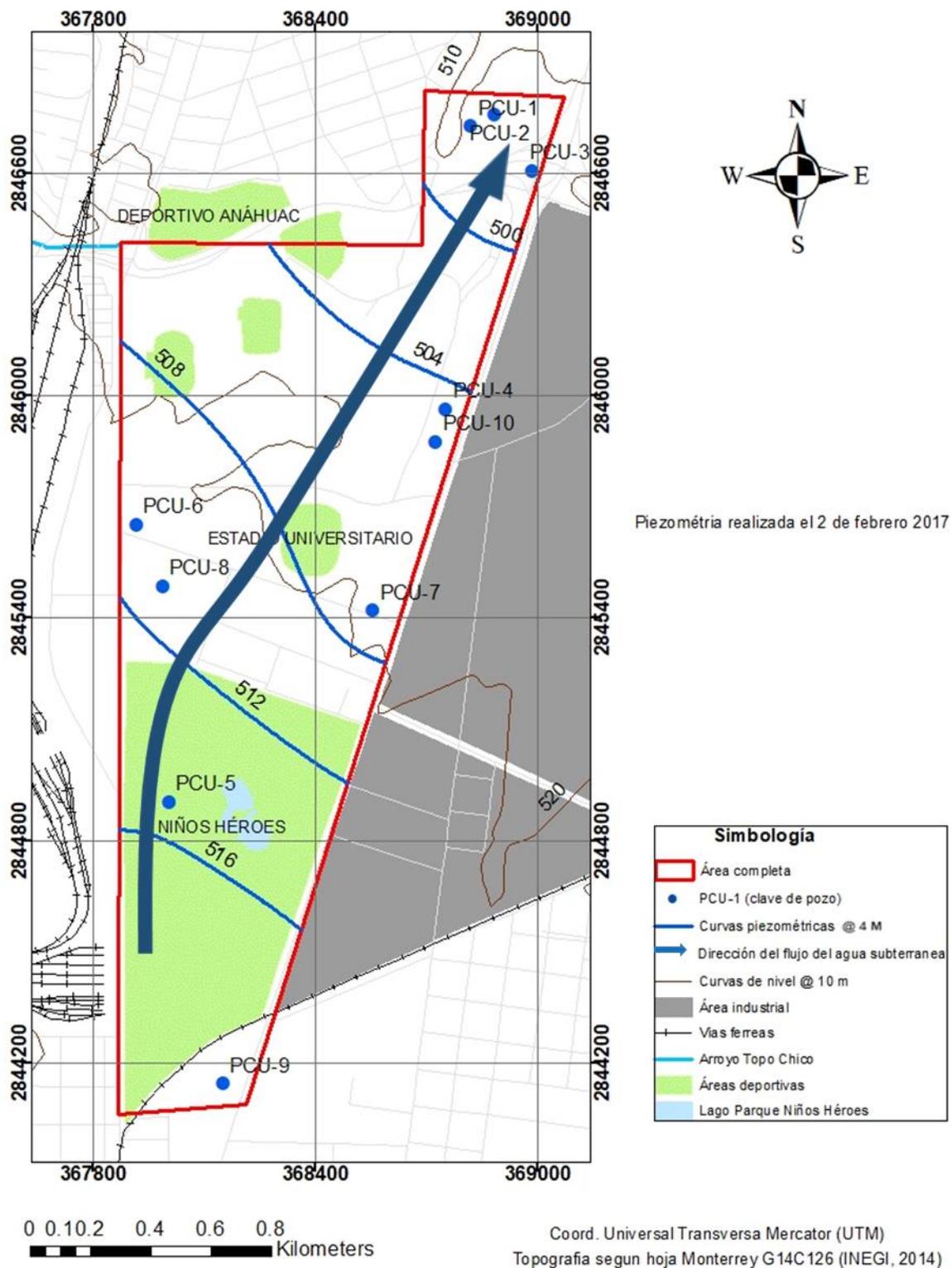


Figura 35. Carta piezométrica para el mes de febrero de 2017

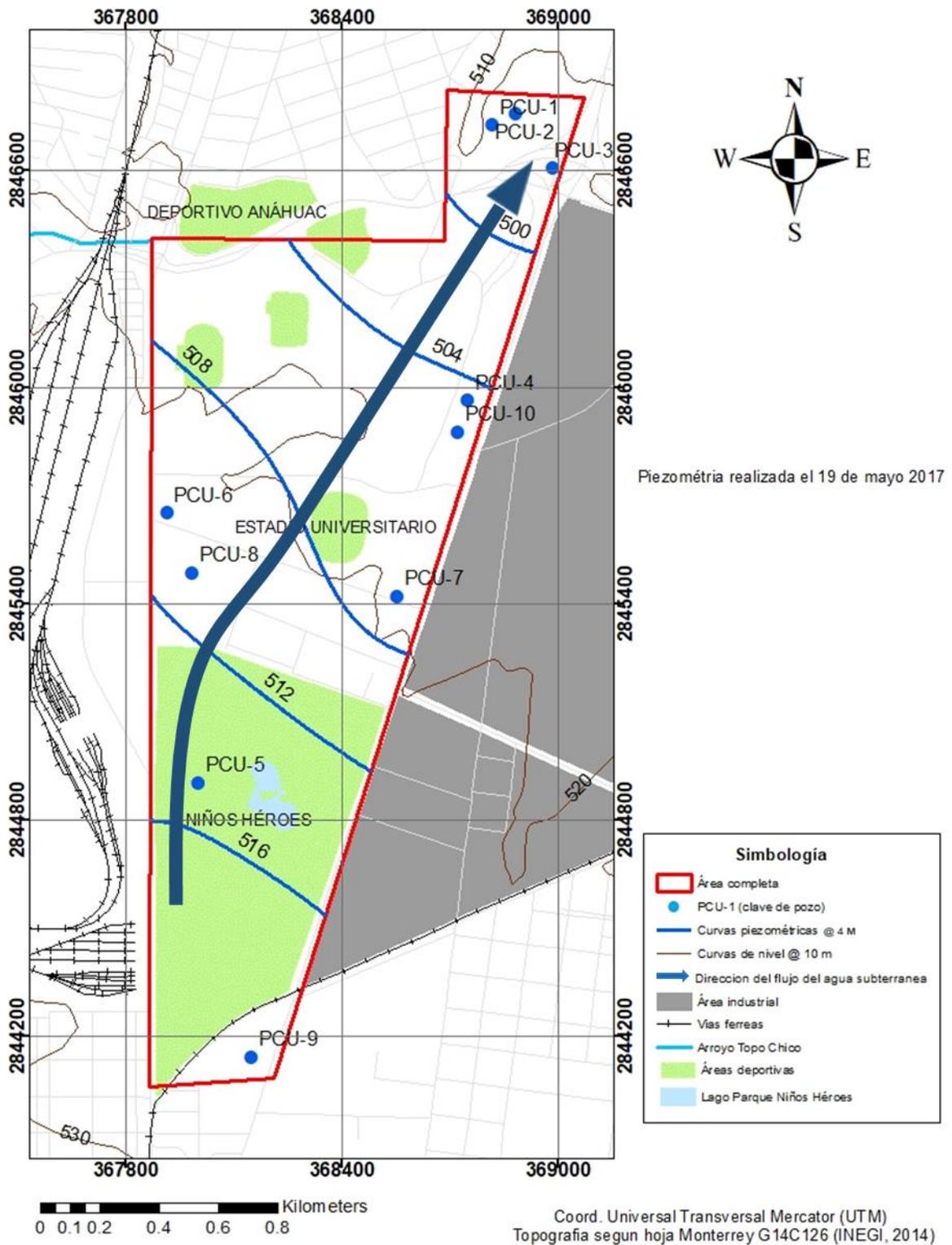


Figura 36. Carta piezométrica para el mes de mayo de 2017

CAPÍTULO 5: HIDROGEOQUÍMICA

La hidrogeoquímica es la ciencia que estudia la composición, las propiedades, los procesos y las reacciones químicas que afectan la distribución del agua subterránea, de acuerdo con las condiciones del medio geológico; así como las causas y los efectos de los cambios en estas propiedades y composiciones. Ella facilita la comprensión de numerosos procesos geológicos y resuelve problemas de Ingeniería, Geología y Ecología. Con el tiempo, la predicción y el control de las propiedades y composición del agua subterránea ha crecido más significativamente, lo cual permite caracterizar el agua subterránea y proporcionar conocimientos acerca de su origen y entender el funcionamiento de sistemas de flujo de la misma (Tikhomirov, 2016).

Las investigaciones hidrogeoquímicas se basan en un análisis químico estándar del agua subterránea; incluye, como mínimo, valores de temperatura, conductividad eléctrica, pH, cationes mayores (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) y aniones mayores (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , NO_3), (Werner, 1996; Appelo & Postma, 2005).

La composición química del agua viene determinada por la cantidad y los tipos de sustancias que contiene naturalmente; pero ésta puede ser modificada por factores externos; como, por ejemplo, la acción del hombre y causar contaminación.

En el presente capítulo se detalla la metodología de los tres muestreos realizados en épocas correspondientes de sequía y tiempo ordinario (junio de 2016, febrero y mayo de 2017: ver fig. 30). Se muestran los resultados de los análisis realizados en el laboratorio y cabe señalar que dichos análisis se pudieron realizar gracias al marco de financiamiento de proyectos PAICyT 2016, PAIFIC 2016 y PFCE 2016. Así mismo, se presenta la caracterización hidrogeoquímica obtenida y su evolución y, finalmente, su evaluación con normas nacionales e internacionales, para determinar las condiciones actuales de la calidad del agua.

5.1 METODOLOGÍA DE CAMPO Y EXPERIMENTAL

A continuación se detalla cada una de las etapas realizadas en la parte de campo y experimental.

5.1.1 Selección de aprovechamientos

La selección de muestreo de cada uno de los aprovechamientos hidráulicos para su posterior análisis dependió principalmente de su accesibilidad para muestrearlo. Para la toma de muestras se realizaron tres campañas de muestreo, la primera se llevó a cabo en junio de 2016, el segundo en febrero de 2017 y el tercero en mayo de 2017.

5.1.2 Procedimiento y toma de muestras

El procedimiento y toma de muestra es tan importante como la propia muestra, ya que de ello dependerá la calidad de los resultados obtenidos, por lo que se trabajó bajo la NOM-230-SSA1-2002, que trata sobre los procedimientos sanitarios para muestreo de agua para uso y consumo humano.



Figura 37. Muestras realizadas donde se observa el equipo muestreador, así como los diferentes tipos de envases requeridos según el tipo de análisis a realizarle.

Se describen a continuación algunas de las recomendaciones que se sugieren dentro de la NOM-230-SSA1-2002 y que se aplicaron en el presente trabajo:

5.1.2.1 Material, reactivos y equipo de muestreo

- ✓ Envases para toma de muestra
- ✓ Termómetro que permita mediciones en un intervalo de -1 a 50°C con graduación de 1°C.
- ✓ Potenciómetro portátil o comparador visual para determinación de pH.
- ✓ Hielera con tapa.
- ✓ Bolsas refrigerantes o bolsas con hielos.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Gasas o torundas de algodón estériles.
- ✓ Equipos muestreadores comerciales, de PVC con diámetro de 2".

Para los análisis microbiológicos se utilizaron frascos de vidrio con tapón esmerilado, frascos estériles desechables o bolsas estériles con cierre hermético y capacidad de 125 o 150 ml.

Para los análisis de metales se utilizaron envases y tapas de plástico, adicionando 1 ml de ácido nítrico concentrado por cada 100ml de muestra.

Para los análisis físicos y químicos, el material del envase, así como el volumen de muestra requerido y el método de preservación para la determinación de los diferentes parámetros se observa en la tabla 5.

5.1.2.2 Preparación de los envases para la toma de muestras

Los recipientes para la toma de muestras fueron lavados y con la preparación adecuada de acuerdo con el tipo de análisis general o particular a realizarse (tabla 5).

5.1.2.3 Procedimiento para la toma de la muestra

- Para análisis microbiológicos:

-En una bomba de mano o grifo se limpió el orificio de salida, con una torunda de algodón. Después se dejó correr el agua aproximadamente 3 min, hasta asegurar que la temperatura del agua que contenían las tuberías estaba estabilizada.

-En un pozo somero se utilizó un muestreador, y se bajó lentamente evitando que tocara las paredes del pozo. Se colocó la muestra en la bolsa estéril y se procedió a su cerrado hermético.

- Para análisis físicos, químicos y radiactivos:

-En una bomba de mano o grifo se dejó correr el agua aproximadamente durante 3 min, hasta que la temperatura de la muestra se estabilizó. El muestreo se realizó cuidadosamente, evitando que se contaminara el tapón, la boca y el interior del envase, donde primero se tomó un poco de agua de la misma que se analizó, para enjuagar el envase. Esto se realizó dos o tres veces; enseguida se procedió a la toma de la muestra y se selló herméticamente.

-En un pozo somero, se utilizó un muestreador, que se bajó lentamente evitando que tocara las paredes del pozo.

5.1.2.4 Manejo de las muestras

Las muestras tomadas se colocaron en una hielera con bolsas de hielo, para su transporte al laboratorio, a una temperatura entre 4° y 10°C. El periodo máximo que se recomienda que debe transcurrir entre la toma de muestra, la preservación y el transporte hasta el inicio de análisis microbiológicos en óptimas condiciones es de 6 horas, mientras que para los análisis físicos, químicos y radiactivos, depende de la preservación empleada para cada parámetro, como se indica en la tabla 5.

5.1.2.5 Identificación y control de la muestra

Para la identificación de las muestras, se etiquetaron los frascos y los envases con el número de clave para identificar la muestra.

Tabla 5. Preservación de muestras, (NOM-230-SSA1-2002).

DETERMINACION	MATERIAL DE ENVASE	VOLUMEN MINIMO (ml)	PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO
Arsénico	p, v p(A), v/A)	200	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	14 días
Bario	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	28 días
Cloruros	p, v	200	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 horas
Color	p, v	500	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 horas
Dureza total	p, v	100	Adicionar HNO ₃ o H ₂ SO ₄ a pH<2 (*)	14 días
Fluoruros	P	500	Refrigerar de 4 a 10°C	28 días
Metales en general	p, v (A)	1000	Adicionar HNO ₃ a pH <2	180 días
Mercurio	p(A), v(A)	1000	Adicionar HNO ₃ a pH <2. Refrigerar de 4 a 10°C	5 semanas
Nitratos	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 horas
Nitritos	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	No se especifica, sin embargo, se recomienda su determinación inmediatamente
Nitrógeno amoniacal	p, v	500	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 y refrigerar de 4 a 10°C	7 días
Olor	V	500	Analizar tan pronto como sea posible. Refrigerar	6 hrs.
Ph	p, v	50	Analizar inmediatamente	No se especifica, sin embargo, se recomienda su determinación inmediatamente

Sólidos	p, v	200	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	7 días
Sodio	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	18 días
Sulfatos	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	28 días
Sustancias Activas al Azul de Metileno	p, v	250	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	48 horas
Temperatura	p, v	NA	Determinar inmediatamente	No se especifica, sin embargo, se recomienda su determinación inmediatamente
Turbiedad	p, v	100	Refrigerar de 4 a 10°C y en la oscuridad	24 horas

*Omitir la preservación en caso de que la muestra se analice inmediatamente.	
P	Plástico
P(A)	Enjuagado con HNO₃ 1+1
Ph	Potencial de hidrogeno
S	Vidrio enjuagado con solventes orgánicos, interior de la tapa del envase cubierta con teflón
V	Vidrio
V(A)	Enjuagado con HNO₃ 1+1
PTFE	Tapa de politetrafluoretileno
BTEX	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno

5.1.3 Análisis realizados a las muestras

Las muestras fueron enviadas al laboratorio para su previo análisis. En las tablas 6, 7 y 8 se presentan las metodologías usadas para cada uno de los análisis realizados.

En el primer muestreo, las muestras fueron enviadas al laboratorio de Servicios Profesionales de la Facultad de Ciencias Químicas, UANL: 6 muestras para análisis químicos, 6 muestras para análisis bacteriológicos y 6 muestras para determinar metales pesados.

Tabla 6. Metodologías utilizadas en la determinación de los diferentes parámetros analizados.

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	MÉTODO	METODOLOGÍA UTILIZADA
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	Volumétrico	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de Calcio (mg/L CaCO ₃)		3500-Ca-B-1998 SM
Alcalinidad a la fenoftaleina (mg CaCO ₃ /L)		NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad al naranja de metilo (mg CaCO ₃ /L)		NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)		NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	Turbidimétrico	NMX-AA-074-1981
Color (u.c. Pt-Co)	Colorimétrico	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbidez (UNT)	Nefelométrico	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH (unidades de pH)	PH-metro	NMX-AA-008-SCFI-2000
Nitrógeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	Volumétrico	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales (mg/L)		NMX-AA-034-SCFI-2001
Carbonatos CO ₃ (mgCO ₃ /L)	Volumétrico	AWWA 2320
Bicarbonatos HCO ₃ (ml HCO ₃ /L)		AWWA 2320
Bacterias coliformes (NMP/100ml)	Microbiológico Numero Más Probable (NMP)	NOM-112-SSA1-1994
Coliformes fecales (NMP/100ml)		NOM-145-SSA1-1995 Apéndice Normativo B2.
Sodio (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	NMX-AA-051-SCFI-2001
Potasio (mg/L)		
Calcio (mg/L)		
Magnesio (mg/L)		
Plomo (mg/L)		
Selenio (mg/L)		
Arsénico (mg/L)		
Mercurio (mg/L)		



Figura 38. Muestras obtenidas en el primer muestreo, para análisis físicoquímicos, bacteriológicos y de metales pesados.

En el segundo muestreo, fueron enviadas 6 muestras al laboratorio ACTIVATION LABORATORIES LTD. (Actlabs) que se encuentra ubicado en Ontario, Canadá, para determinar la presencia de metales pesados

Tabla 7. Metales pesados analizados bajo el método ICP-MS

COMPUESTO (Mg/L)	MÉTODO
Na, Li, Be, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Hg, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U	Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS)



Figura 39. Muestras obtenidas en el segundo muestreo, para análisis de metales pesados.

En el tercer muestreo, fueron enviadas 6 muestras al Laboratorio de Servicios Profesionales de la Facultad de Ciencias Químicas, UANL., para los análisis físico-químicos.



Figura 40. Muestras obtenidas en el tercer muestreo, para análisis físicoquímicos.

Cabe resaltar que tanto el Laboratorio de Servicios Profesionales de la Facultad de Ciencias Químicas, como los “ACTIVATION LABORATORIES LTD”. (Actlabs), son laboratorios certificados.

Tabla 8. Metodologías utilizadas en la determinación de los diferentes parámetros analizados.

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	MÉTODO	METODOLOGÍA UTILIZADA
Carbonatos (mg/L)	Gravimétrico	AWWA 2320
Bicarbonatos (mg/L)		AWWA 2320
Cloruros (mg/L)	Volumétrico	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	Turbidimétrico	NMX-AA-074-1981
Nitratos (mgN-NO ₃ /L)	Volumétrico	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sodio (mg/L)	N.E	EAA
Potasio (mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	NMX-AA-051-SCFI-2001
Magnesio (mg/L)		NMX-AA-051-SCFI-2001
Calcio (mg/L)		NMX-AA-051-SCFI-2001

*N.E NO SE ESPECIFICO

- Es importante mencionar que los parámetros físicos como el ph, la conductividad y la temperatura se obtuvieron *in situ*, en cada una de las campañas de muestreo.



Figura 41. Obtención de pH y temperatura en campo.

5.1.3.1 Método volumétrico

Los análisis volumétricos o titulométricos se encuentran entre las técnicas analíticas más útiles y exactas; en especial, para cantidades de milimoles de analito (Gary, 2009). El método consiste en provocar una reacción cuantitativa con un reactivo y determinar el momento en que se completa la reacción, ya sea por un brusco cambio de color si se utiliza un indicador, o bien, electrométicamente, al tener un brusco cambio de pendiente la curva del pH. El consumo de reactivo mide la cantidad de ion o de la característica analizada.

El método precisa soluciones valoradas (de normalidad conocida) e indicadores para el cambio de color o, en su lugar, de un potenciómetro; mientras se realiza la valoración se produce una agitación para homogenizar rápidamente. El reactivo se añade con una bureta. En general, las reacciones son rápidas, pero a veces se precisa esperar un cierto tiempo antes de medir el exceso de reactivo. Existen sistemas de laboratorio de valoración automática. En ocasiones, el punto final puede determinarse espectrofotométricamente, como en la valoración complexométrica del Ca^+ , con murexida como indicador (Custodio & Llamas, 1976).

5.1.3.2 Método turbimétrico

Este método se utilizó para la determinación de los sulfatos, el cual determina el ion sulfato que precipita en solución ácida con cloruro de bario. Los cristales de sulfato de bario se estabilizan luego en suspensión (Pérez & Ramírez, 2008).

5.1.3.3 Método nefelométrico

Este método se utilizó para la determinación de la turbidez, el cual se apoya en instrumentos que emplean los principios de la nefelometría. El instrumento tiene una fuente de luz que ilumina la muestra y uno o más detectores fotoeléctricos con un aditamento para la lectura que indica la intensidad de la luz difuminada en ángulos rectos a la dirección de la luz incidente. Aquí se acostumbra usar como estándar una suspensión especial de un polímero de formazina u otras preparaciones disponibles en el comercio (Sawyer *et al*, 2001).

5.1.3.4 Método gravimétrico

Los métodos gravimétricos son métodos cuantitativos basados en la determinación de la masa de un compuesto puro. Consiste en obtener un precipitado de muy baja solubilidad y pesarlo. Precisa de un volumen importante de agua, filtración, secado y pesada y, por lo tanto, suele ser un proceso lento (Custodio & Llamas, 1976).

5.1.3.5 Método microbiológico del número más probable (NMP)

El método se basa en la dilución de la muestra en tubos múltiples, de tal forma que todos los tubos de la menor dilución sean positivos y todos los tubos de la dilución más alta sean negativos. El resultado positivo se demuestra por la presencia de gas

o crecimiento microbiano. Para obtener el Número Más Probable (NMP) en los resultados se aplica la teoría de la probabilidad, lo cual tiene como condición lo siguiente: una distribución aleatoria de las bacterias que existen en la muestra, las bacterias se encuentran como entidades no agrupadas, los microorganismos presentes en la muestra crecerán en el medio, cuando son incubados y se mantengan en las condiciones adecuadas para su desarrollo (NOM- 112-SSA1-1994).

5.1.3.6 Método de espectrofotometría de absorción atómica

Este método se utilizó para la determinación de las cantidades de metales. Se basa en la generación de átomos en estado basal y en la medición de la cantidad de energía absorbida por éstos, la que es directamente proporcional a la concentración de ese elemento en la muestra analizada. Se prepara la solución utilizando un reactivo adecuado y una muestra sin reactivo; colocada cada una de ellas en un recipiente adecuado que no interfiera en la determinación. Las soluciones se iluminan por un lado con luz de una lámpara especial de luminosidad muy estable y composición espectral conocida y en el lado opuesto se mide la absorción producida en ciertas longitudes de onda, mediante una célula fotoeléctrica y un sistema electrónico asociado. (Gary, 2009).

5.1.3.7 Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS)

Esta técnica se usó en la determinación de metales pesados para las muestras de la segunda campaña de muestreo. Esta técnica se ha venido imponiendo para las más diversas aplicaciones en las últimas dos décadas, esto debido principalmente a su capacidad de discriminar isotopos y a sus bajos límites de detección, que pueden llegar a ser inferiores a los 10^{-6} mgL⁻¹. Dichos límites son mucho más bajos que los de otras técnicas analíticas más convencionales, como la espectrometría de absorción atómica. De manera general, se basa en el acoplamiento de un método para generar iones (plasma acoplado inductivamente) y un método para separar y detectar los iones (espectrómetro de masas), (Barros *et al*, 2009).

5.1.4 Diagramas de Piper

El manejo y estudio de análisis químicos puede simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas, además de ser una herramienta muy eficiente en la interpretación de las propiedades del agua; en especial, cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de agua de un mismo lugar, en épocas diferentes (Fagundo *et al*,1996., Appelo CAJ & D. Postma, 2005).

El diagrama triangular de Piper ha sido uno de los más utilizados, y fue concebido por primera vez por Hill y posteriormente mejorado por Piper en 1953. Se trata de dos campos triangulares, uno para los cationes y el otro para los aniones y un campo central en forma de diamante. En los dos campos triangulares, la concentración de cationes y aniones se representa como porcentajes en meq/L, de modo que el total de cationes (Ca^{2+} +, Mg^{2+} y Na^+ + K^+) y aniones (Cl^- , SO_4^{2-} y CO_3^{2-} HCO_3^-) son considerados como el 100% y estos datos se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua.

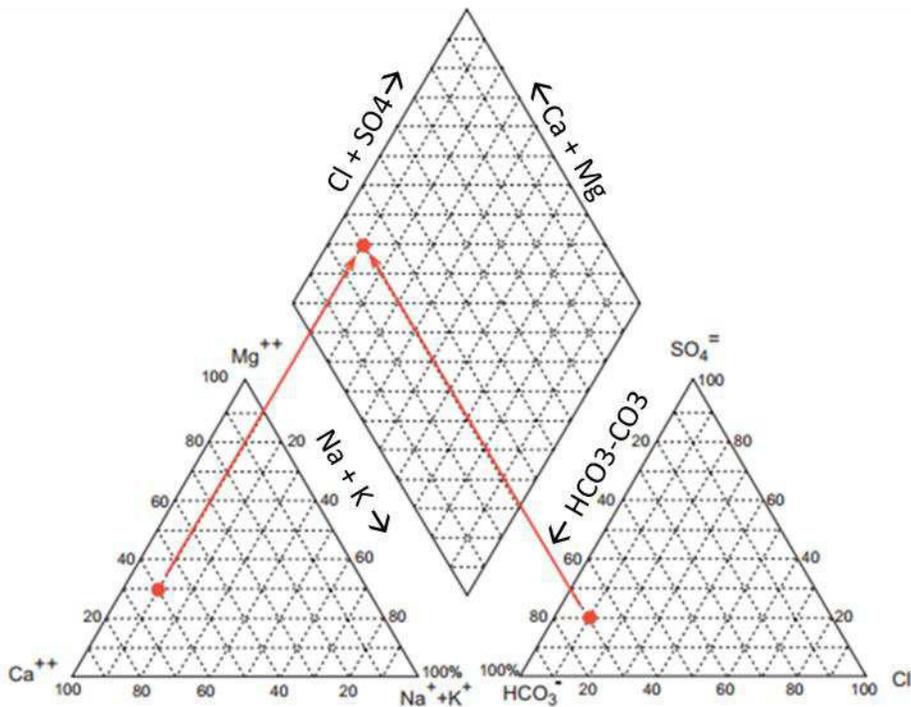


Figura 42. Ejemplo de Diagrama de Piper (Sánchez, 2014).

La información sobre la composición hidrogeoquímica de las muestras colectadas en el primero y el tercer muestreo se observa en la tabla 9, que se transformó a unidades *miliequivalentes/litro (meq/L)*. Como se observa en la tabla 10, los miliequivalentes/litro son unidades muy empleadas en los análisis químicos, por facilitar la comprobación del balance de iones (Custodio & Llamas, 1983; Appelo & Postma, 2005).

Numero de equivalentes = Peso de sustancia / peso equivalente

*Donde: peso equivalente = peso molecular / número de electrones o valencias en juego.

Tabla 9. Composición química en cationes y aniones mayoritarios para las muestras colectadas en mg/L.

Primer muestreo Muestra	Ca⁺²	Mg⁺²	Na⁺	K⁺	HCO₃⁻	SO₄⁻²	Cl⁻
PCU-1	219.00	40.00	169.00	2.70	175.70	462.50	815.30
PCU-3	171.00	35.00	74.00	1.20	170.90	462.50	730.30
PCU-4	120.00	26.00	24.00	1.00	135.30	143.70	188.00
PCU-5	126.00	28.00	24.00	1.20	177.00	120.00	124.80
PCU-6	158.00	340.00	44.00	1.40	179.40	144.00	182.60
PCU-7	149.00	263.00	24.00	1.50	166.00	90.00	175.50
Segundo muestreo Muestra	Ca⁺²	Mg⁺²	Na⁺	K⁺	HCO₃⁻	SO₄⁻²	Cl⁻
PCU-1	200.00	33.00	118.00	51.00	258.30	360.00	105.40
PCU-2	210.00	34.10	129.00	4.40	283.50	410.00	118.50
PCU-3	129.00	25.70	28.30	1.40	266.70	167.50	37.40
PCU-4	135.00	25.74	28.50	1.60	271.90	142.50	43.00
PCU-6	145.00	28.00	39.90	1.50	284.50	187.50	51.80
PCU-7	121.00	23.20	25.10	2.00	233.10	107.50	38.70

Tabla 10. Composición química en cationes y aniones mayoritarios para las muestras colectadas en meq/L.

Primer muestreo Muestra	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
PCU-1	10.95	3.29	7.35	0.07	2.88	9.64	22.97
PCU-3	8.55	2.88	3.22	0.03	2.80	9.64	20.57
PCU-4	6.00	2.14	1.04	0.03	2.22	2.99	5.30
PCU-5	6.30	2.30	1.04	0.03	2.90	2.50	3.52
PCU-6	7.90	27.98	1.91	0.04	2.94	3.00	5.14
PCU-7	7.45	21.65	1.04	0.04	2.72	1.88	4.94
Segundo muestreo Muestra	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
PCU-1	10.00	2.72	5.13	1.31	4.23	7.50	2.97
PCU-2	10.50	2.81	5.61	0.11	4.65	8.54	3.34
PCU-3	6.45	2.12	1.23	0.04	4.37	3.49	1.05
PCU-4	6.75	2.12	1.24	0.04	4.46	2.97	1.21
PCU-6	7.25	2.30	1.73	0.04	4.66	3.91	1.46
PCU-7	6.05	1.91	1.09	0.05	3.82	2.24	1.09

Resumiendo, la metodología para realizar el diagrama de Piper es la siguiente:

- 1- Convertir las concentraciones de mg/L a meq/L.
- 2- Expresar como porcentajes los meq/L de cada parámetro.
- 3- Dibujar las proporciones en los gráficos triangulares.
- 4- Proyectar ambos puntos en el rombo central.
- 5- Finalmente, después de realizar los mapas, para su digitalización y corroboración se utiliza el programa Aquachem versión de prueba.

5.1.5 Normas nacionales e internacionales

Existen diferentes normas, tanto nacionales como internacionales, que tienen como finalidad establecer la calidad necesaria para que el agua sea considerada potable, o para su descarga y uso en riego y/o uso público. Estas normas establecen límites

con respecto a diversos parámetros los cuales pudieran estar presentes en el agua y que causarían algún daño a la salud si se llegaran a presentar.

Para la evaluación de la calidad del agua subterránea presente en el campus CU-UANL, se compararon los resultados obtenidos con las normas mexicanas: 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", y la NOM-001-ECOL-1996, "que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales". Así también se compararon con normas internacionales de la Comunidad Europea, específicamente con el Real Decreto 140/2003, el cual establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, los estándares del reglamento nacional primario de agua potable de la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y las guías para la calidad del agua potable que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS).

5.1.6 Mapas temáticos de distribución

Los mapas temáticos son herramientas cartográficas muy prácticas en la comprensión visual-espacial de diferentes fenómenos naturales, por lo cual son muy utilizados en los estudios ambientales.

Existen diversas formas de digitalizar los mapas temáticos, una de ellas es a través de un SIG, que es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas, para presentar e interpretar hechos relativos a la superficie. Una definición más clara para un SIG sería que es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (visto en Silva *et al*, 2015, citando a Tomlin, 1990; Korte, 2001 y Olaya, 2011).

En el presente estudio se digitalizaron a través de mapas temáticos los parámetros que sobrepasaron los límites máximos permisibles (LMP), de alguna de las normas

con las que se evaluó. Para esto se utilizó el método “Kriging” que es un método geoestadístico, basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación; es decir, las relaciones estadísticas entre puntos medidos. Gracias a esto, no sólo produce una superficie de predicción, sino que también proporciona alguna medida de certeza o precisión de las predicciones (ESRI, 2017).

El resumen de la metodología que se utilizó para la realización de los mapas temáticos a través del SIG fue la siguiente:

- 1- Se ordenaron los datos que serían interpolados en un archivo Excel y se guardó en formato de texto.
- 2- Se transformaron los archivos de Excel a un formato “shape”
- 3- Se creó un archivo “shape” del área de estudio la cual tenía el mismo sistema de coordenadas que los datos a interpolarse.
- 4- Se utilizó la herramienta “Kriging”, siguiendo cada uno de los pasos que el software requería.
- 5- Se le dio formato a cada uno de los mapas temáticos realizados.

5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.2.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos que se determinaron en campo para que los resultados sean más exactos, fueron: pH, conductividad y temperatura. Tales parámetros aportaron una idea global del comportamiento químico del agua.

La temperatura del agua en todas las muestras obtenidas se presentó entre los 24.7°C y 25.7°C, siendo la parte noreste la que presentó la mayor temperatura. Custodio y Llamas, 1996, mencionan que las aguas subterráneas tienen una temperatura muy poco variable y responden a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar. En nuestra área de estudio, la temperatura media anual es de 23.02°C, (Custodio y Llamas, 1996.; CONAGUA, 2016).

La conductividad osciló entre los 775 a 1683µs/cm; de igual manera en la parte noreste del área, en los pozos PCU-1 y PCU-2 fue donde se presentaron los valores

más altos. En general en las muestras analizadas durante el tiempo del estudio la conductividad descendió.

El pH varió entre 6.81 a 7.41 en todas las muestras analizadas, siendo los pozos PCU-1 y PCU-3 los que presentaron los valores más altos, Pérez & Ramírez, (2008)., mencionan que la mayoría de las aguas subterráneas tienen un pH entre 6.5 y 8, (Pérez & Ramírez, 2008).

Estos primeros datos que se obtuvieron en campo reflejaron que debido a que la parte noreste del área, presento los valores de pH, temperatura y conductividad más altos, se presumió que era la zona que presentaría grandes cantidades de impurezas o contaminación.

5.2.2 Caracterización hidrogeoquímica del tipo de aguas

La clasificación del tipo de aguas de las muestras obtenidas en junio de 2016, mediante los diagramas de Piper (figura 43), muestran que los grupos de aguas pertenecen a cuatro diferentes grupo o tipos de agua (tabla 11).

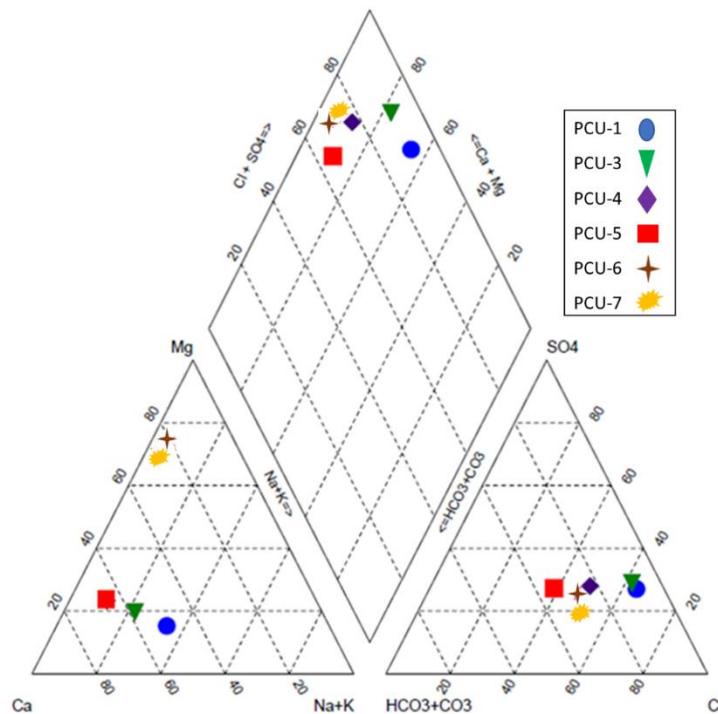


Figura 43. Diagrama de Piper para el primer muestreo, junio 2016.

El segundo diagrama de Piper (figura 44), obtenido con las muestras del tercer muestreo, realizado en mayo de 2017, muestra la presencia de cuatro grupos/tipos de agua; sin embargo, variaron los tipos de agua que se presentaron en el primer muestreo (tabla 11).

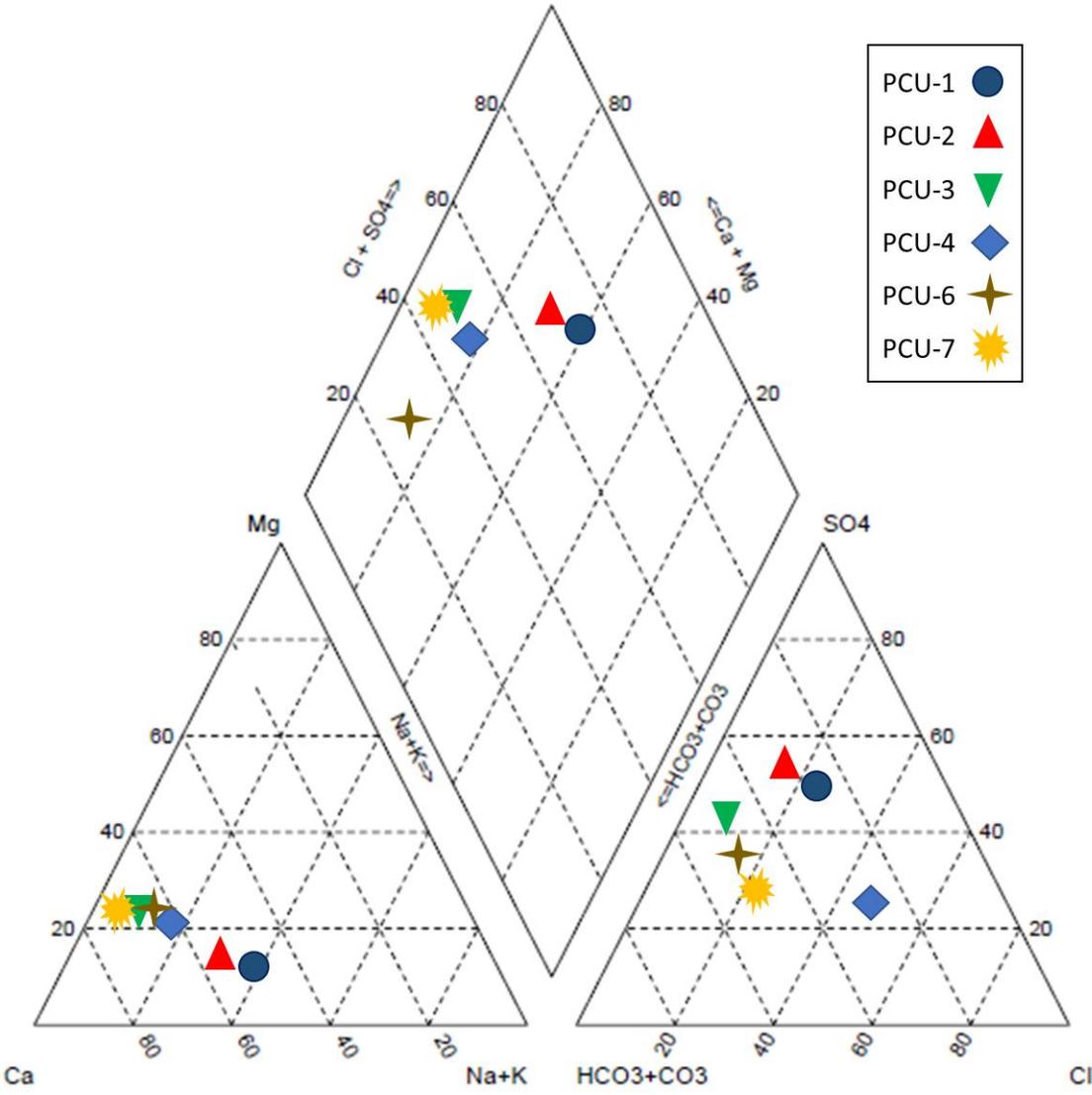


Figura 44. Diagrama de Piper para el tercer muestreo, mayo 2017.

Tabla 11. Clasificación de Piper por iones predominantes, de acuerdo a Custodio y Llamas,1996.

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SEGÚN PIPER PARA EL PRIMER MUESTREO	CLASIFICACIÓN SEGÚN PIPER PARA EL TERCER MUESTREO
PCU-1	1e Clorurada cálcica	4e Sulfatada cálcica
PCU-2	N.D	4e Sulfatada cálcica
PCU-3	1e Clorurada cálcica	6f Sulfatada-Bicarbonatada cálcica
PCU-4	1f Clorurada cálcica	6e Bicarbonatada cálcica
PCU-5	2f Clorurada-bicarbonatada cálcica	N.D
PCU-6	1d Clorurada-sulfatada magnésica	6f Bicarbonatada-sulfatada cálcica
PCU-7	2d Clorurada magnésica	6f Bicarbonatada cálcica

*N.D NO SE DETERMINO

Podemos notar que, para el primer muestreo, realizado en junio 2016, se determinaron cuatro tipos de agua, donde predominó el anión Cl⁻, algunas de las causas de la presencia de este anión son: por agua de lluvia, intercambio iónico, efluentes de zonas urbanas, indicador de posible contaminación debido al contenido de cloruro de la orina (Merlos, 2011; Sawyer *et al*, 2001; Werner, 1996; Custodio & Llamas, 1976; Jayaprakash *et al*, 2008). Debido a que las causas naturales de la presencia del ion Cl⁻, no coinciden con los materiales geológicos presentes en el área de estudio, se consideró la presencia del mismo a tres causas principalmente, por el agua de lluvia, ser aguas con un gran tiempo de residencia en el subsuelo, o a la presencia de contaminación antropogénica.

El tercer muestreo se llevó a cabo en mayo 2017, en el cual se obtuvieron de igual forma cuatro diferentes tipos de aguas, pero diferentes a los obtenidos en el primer muestreo, teniendo entonces como tipos o grupos de agua, los siguientes: 1) Sulfatada cálcica, 2) Sulfatada- bicarbonatada cálcica, 3) Bicarbonatada cálcica y 4) Bicarbonatada-sulfatada cálcica. Estos resultados coinciden con las calizas y lutitas presentes en el área, a lo cual se le puede atribuir el origen del agua, un origen geológico.

Estos diferentes grupos de agua que se presentaron, nos dan una idea de la evolución hidrogeoquímica que está ocurriendo, la cual posiblemente este siguiendo la evolución denominada secuencia de Chevotareb (1955):



En donde encontramos agua con un menor tiempo de permanencia en el subsuelo, siendo el grupo Bicarbonatada cálcica, el cual se presenta en los pozos PCU-7 Y PCU-4, además, si bien el flujo del agua como lo observamos en el capítulo 4, tiene una dirección preferente de suroeste a noreste, se puede inferir un posible flujo local (Tóth, 1963), entre estos pozos, respetando la dirección preferencial del agua subterránea.

Siguiendo la evolución secuencial de Chevotareb (1955), encontramos los grupos mixtos Bicarbonatado-sulfatado cálcico, y el grupo Sulfatado-bicarbonatado cálcico, donde podríamos pensar en un sistema de flujo intermedio, de igual forma respetado la dirección del flujo subterráneo (Tóth, 1963).

Se encontró como grupo con mayor tiempo de permanencia, el grupo Sulfatada cálcica presente en el pozo PCU-1, PCU-2 y PCU-3, lo cual coincide con la dirección preferente según las cartas piezométricas obtenidas; lo cual reafirma lo encontrado en el primer muestreo, donde se presentaron aguas principalmente Cloruradas cálcicas, al ser aguas con mayor permanencia en el subsuelo (visto en Navarro-Solís *et al*, 2016 y en González, 2011., citando a Chevotareb, 1955., y Tóth, 1963., respectivamente).

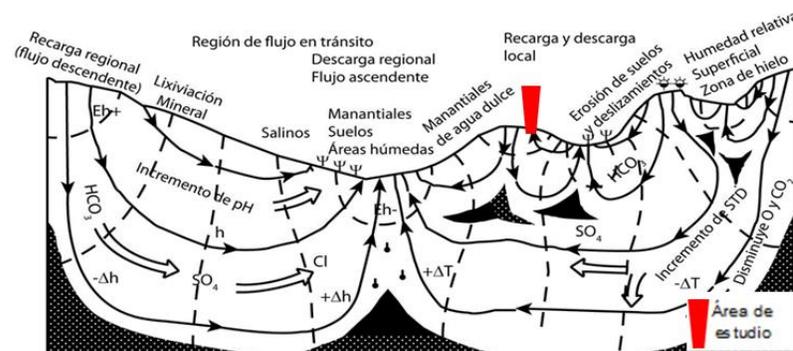


Figura 45. Ubicación del área de estudio, según los diferentes sistemas de flujo del agua subterránea (Tóth, 1963).

5.2.3 Calidad del agua

Conforme a la comparación frente a las Normas Nacionales e Internacionales con las que se evaluaron los resultados obtenidos para determinar la calidad actual del agua subterránea presente en el campus CU-UANL, se encontró que parámetros como la dureza total, los cloruros, los sulfatos, los SDT, las bacterias coliformes y fecales, y metales como hierro y manganeso, sobrepasaron por lo menos una de las normas en alguna o todas las muestras analizadas para fines de potabilidad, sin embargo, comparadas con la NOM-001-ECOL-1996, todos los parámetros analizados se encontraron por debajo de los LMP para su uso urbano y de riego.

De los seis pozos que se analizaron en el primer muestreo, la dureza total se encontró en un intervalo de 800-2310 mg/l, resultados que sobrepasan los LMP para su uso potable, de acuerdo con la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994 y con los valores recomendados por la OMS, que recomiendan un LMP de 500 mg/l. La dureza en el agua indica el contenido en iones alcalinotérreos (Ca^{+2} y Mg^{+2}) y de acuerdo con la clasificación hecha por Custodio y Llamas (1996) el agua pertenece al grupo de aguas muy duras. En cuanto a los cloruros, éstos sobrepasaron los LMP, de acuerdo con los valores recomendados por la NOM-127, los estándares europeos EEC, y la OMS, (quienes recomiendan un límite de 250 mg/l), los pozos PCU-1 y PCU-3, al igual que los sulfatos, donde los valores recomendados por la OMS, y la NOM-127, recomiendan un límite de 400 mg/l, presentando valores de 462.5 mg/l de sulfatos ambos pozos, los parámetros cloruros y sulfatos existen de manera natural en las aguas subterráneas, y en cantidades considerables en terrenos y zonas áridas, pero también las actividades humanas e industrias como lo es la curtiduría y fábricas de acero, son fuentes importantes de su presencia, por lo que es importante controlar estos parámetros ya que en altas concentraciones pueden causar cierto rechazo por su sabor desagradable en el caso de los cloruros o causar ciertos problemas a la salud como efectos catárticos en los humanos en el caso de los sulfatos (Custodio & Llamas, 1983; Sawyer *et al*, 2001).

De acuerdo a los análisis bacteriológicos, las bacterias coliformes se presentaron también en ciertos análisis, lo cual nos hace pensar que su principal fuente sea probablemente a través del drenaje sanitario (Lizárraga, 2003)

Tabla 12. Resultados de parámetros analizados en primer muestreo

ANÁLISIS	PCU-1	PCU-3	PCU-4	PCU-5	PCU-6	PCU-7	NOM-001-ECOL-1996		NOM-127-SSAI-1994	EPA-815-F-00-007	REAL DECRETO 140/2003	OMS,2006
							RIEGO	URBANO				
Temperatura (°C)	25.4	25.0	25.3	25.0	25.1	25.1	40.0	40.0	N.E	N.E	N.E	N.E
Conductividad (µS/cm)	1683.0	1238.0	902.0	788.0	987.0	819.0	N.E	N.E	N.E	N.E	2,500.0	N.E
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	2310.0	1860	1020	664	835	800	N.E	N.E	500	N.E	N.E	500
Cloruros (mg/L)	815.3	730.3	188.0	124.8	182.6	175.5	N.E	N.E	250.0	N.E	250.0	250.0
Sulfatos (mg/L)	462.5	462.5	143.7	120.0	144.0	90.0	N.E	N.E	400.0	N.E	250.0	400.0
Color (u.c. Pt-Co)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	N.E	N.E	20.0	15.0	N.E	N.E
Turbidez (UNT)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	N.E	N.E	5.0	N.E	N.E	N.E
pH	7.32	7.16	7.20	7.40	7.16	7.20	5-10	5-10	6.5-8.5	N.E	6.5-9.5	6.5-8.5
Nitrogeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	6.7	7.4	6.9	4.2	5.7	4.3	40.0	15.0	10.0	10.0	50.0	10.0
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1188.0	876.0	620.0	536.0	660.0	532.0	N.E	N.E	1,000	N.E	N.E	1,000
Bacterias coliformes (NMP/100mL)	<2	<2	23.0	13.0	5.0	8.0	N.E	N.E	2.0	0	0	N.E
Coliformes fecales (NMP/100mL)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	1000	1000	0	0	N.E	N.E
Sodio (mg/L)	169.0	74.0	24.0	24.0	44.0	24.0	N.E	N.E	200.0		200.0	200.0
Plomo (mg/L)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.5	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01
Selenio (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	N.E	N.E	N.E	0.05	0.01	0.01
Arsénico (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.2	0.1	0.025	0.05	0.01	0.01
Mercurio (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01	0.005	0.001	0.002	0.001	0.001

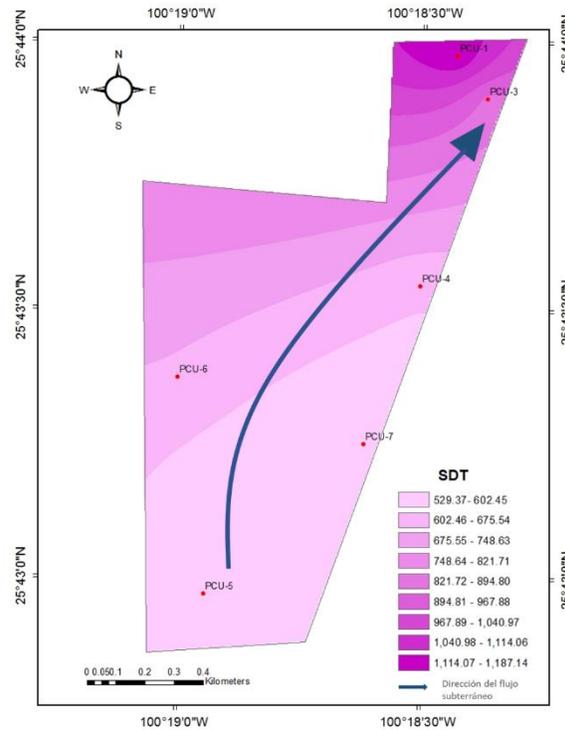
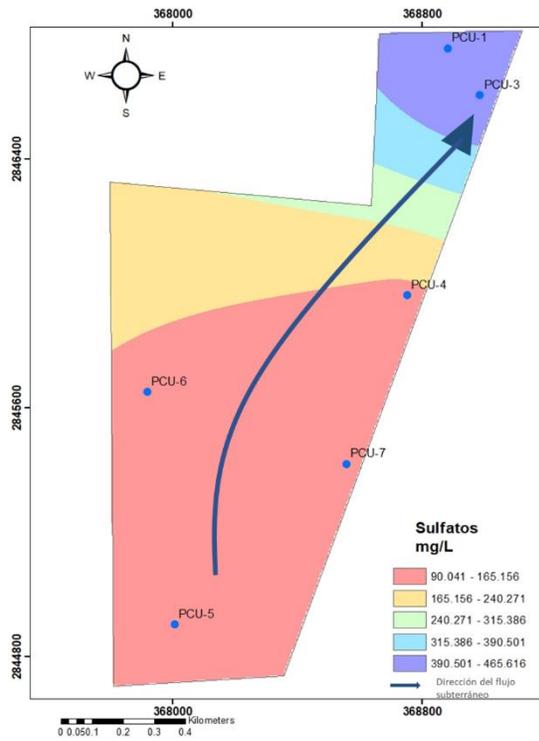
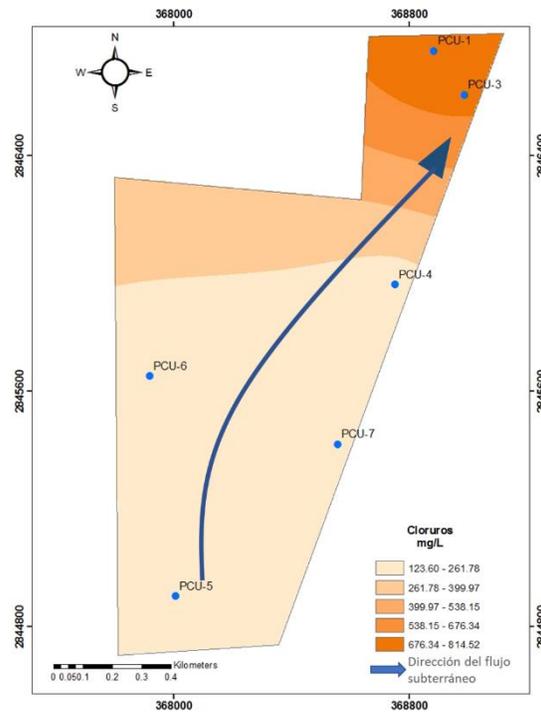
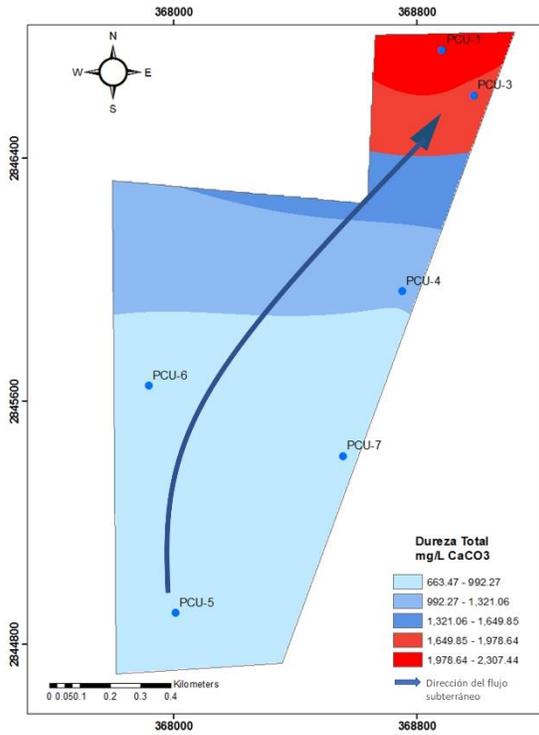


Figura 46. Mapas temáticos de la distribución de los parámetros, dureza total, cloruros, sulfatos y SDT.

De acuerdo a los mapas temáticos podemos observar que los parámetros de dureza, cloruros, sulfatos y SDT (figura 46), muestran semejanza en cuanto a su distribución, ya que presentan su incremento de concentración en dirección de suroeste (donde se encuentran principalmente los pozos PCU-5, Y PCU-7) al noroeste del área de estudio (donde se encuentran los pozos PCU-1, PCU-3), siendo esta área donde las concentraciones empezaron a estar por encima de los LMP, lo cual podría ser considerado como indicadores de contaminación, donde la fuente difusa de contaminación pudo ser accidental, por ejemplo, filtración de agua residual; por otra parte, como se observa en los mapas, el incremento de concentración de estos parámetros, sigue la misma dirección del flujo subterráneo a lo que podría entonces atribuirse la alta concentración de dichos parámetros al proceso de mineralización natural.

A diferencia de los parámetros ya mencionados, las bacterias coliformes, sobrepasaron los LMP en los pozos PCU-4, PCU-5, PCU-6 y PCU-7, los cuales se encuentran en la parte central del área de estudio, donde se encuentran fuentes de contaminación puntual como el lago del parque niños héroes y dos estadios. La detección de este parámetro es muy importante para fines de potabilidad, debido a que las presencias de este grupo de bacterias de origen intestinal pueden ocasionar una gran cantidad de enfermedades infecciosas, como cólera, fiebre tifoidea y amebiasis (Villarreal et al, 2013

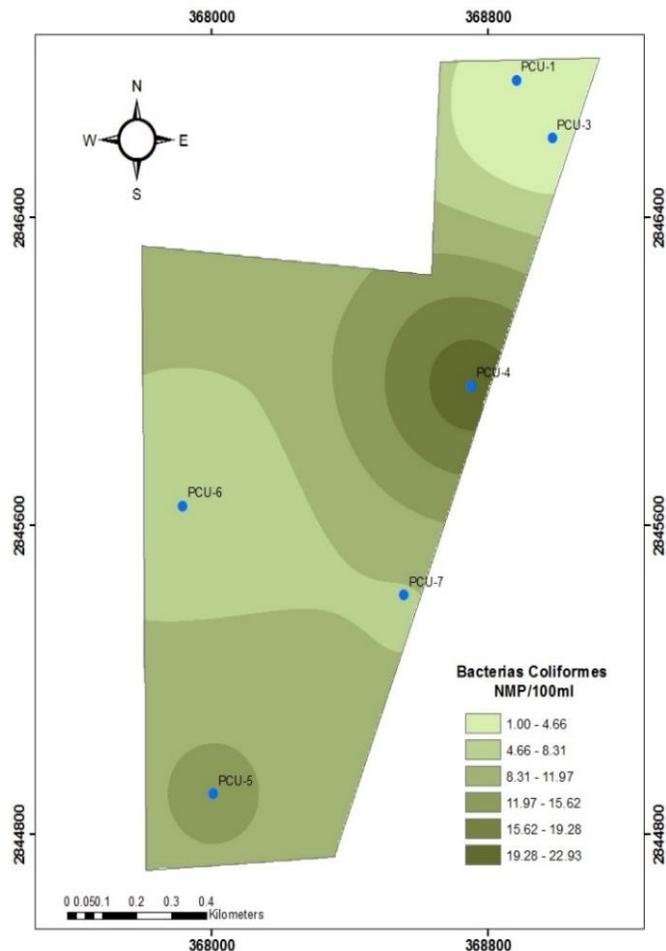


Figura 47. Mapas temáticos de la distribución de los parámetros de SDT y Bacterias Coliforme

Tabla 13. Resultados obtenidos de los parámetros analizados en el segundo muestreo

ANÁLISIS (mg/l)	PCU-1	PCU-2	PCU-3	PCU-4	PCU-6	PCU-7	NOM-001- ECOL-1996		NOM-127- SSA1-1994	EPA 815- F-00-007	REAL DECRETO 140/2003	OMS, 2006
							RIEGO	URBANO				
Al	0.005000	0.036000	0.006000	0.180000	0.010300	0.091000	N.E	N.E	0.200000	N.E	0.200000	N.E
As	0.000570	0.001110	0.000570	0.000530	0.000660	0.000620	0.20000	0.10000	0.02500	0.05000	0.010000	0.010000
Ba	0.032400	0.065400	0.028500	0.040300	0.050700	0.107000	N.E	N.E	0.700000	2.000000	N.E	0.700000
Be	<0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	< 0.00010	N.E	N.E	N.E	0.004000	N.E	N.E
Cd	0.000060	0.000150	0.000010	0.000010	0.000120	0.000240	0.200000	0.100000	0.005000	0.005000	0.005000	0.003000
Cr	0.000800	0.000900	0.000800	0.003400	0.001300	0.001500	1.000000	0.500000	N.E	N.E	0.050000	N.E
Cu	0.005900	0.002400	0.000500	0.000900	0.001300	0.001500	4.000000	4.000000	2.000000	1.300000	2.000000	2.000000
Fe	0.100000	0.130000	0.020000	0.850000	0.290000	0.290000	N.E	N.E	0.300000	N.E	0.200000	N.E
Hg	<.000200	< .000200	< .000200	< .000200	< .000200	< .000200	0.010000	0.005000	0.001000	0.002000	0.001000	0.001000
Mn	0.003200	0.003700	0.000700	0.062500	0.023600	0.017700	N.E	N.E	0.150000	N.E	0.050000	0.400000
Mo	0.001400	0.001300	0.001400	0.002000	0.001400	0.001700	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	0.070000
Na	>100000	> 100	82.90000	38.70000	53.80000	30.60000	N.E	N.E	200.0000	N.E	200.0000	N.E
Ni	0.018800	0.001000	0.000500	0.001200	0.001000	0.000800	2.000000	2.000000	N.E	N.E	0.020000	0.070000
Pb	0.002490	0.002220	0.000180	0.000280	0.001070	0.001030	0.500000	0.200000	0.010000	0.015000	0.010000	0.010000
Sb	0.000120	0.000210	0.000090	0.000080	0.000270	0.000370	N.E	N.E	N.E	0.006000	0.005000	0.005000
Se	0.004100	0.003500	0.003600	0.003900	0.003500	0.003400	N.E	N.E	N.E	0.050000	0.010000	0.010000
Tl	0.000136	0.000122	0.000177	0.000096	0.000113	0.000099	N.E	N.E	N.E	0.002000	N.E	N.E
U	0.002370	0.002300	0.002360	0.002040	0.002210	0.001870	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Zn	0.068600	0.00800	0.032700	0.023900	0.015900	0.020400	10.000000	10.000000	5.000000	N.E	N.E	N.E

N.E NO ESPECIFICA

El segundo muestreo donde se analizaron metales pesados, de los 19 metales que se evaluaron con las normas nacionales e internacionales (tabla 13), el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) fueron los únicos que sobrepasaron los LMP para consumo potable.

De acuerdo a los estándares europeos (Real Decreto 140/2003) para el caso del Fe, los pozos PCU-4, PCU-6 y PCU-7 sobrepasaron los LMP, sin embargo, con los LMP que establece la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994, solo el pozo PCU4 sería el único que estaría sobrepasando el límite, ya que establece un LMP de Fe, mayor que los estándares europeos. Para el Mn, su concentración solo rebaso los LMP en el pozo PCU-4, de igual forma solo comparado con los estándares europeos quien establece un límite de 0.05 mg/l, mientras que la OMS y la NOM-127, un límite de 0.4 y 0.15 mg/l respectivamente.

Estos resultados hacen ver cómo nuestras normas mexicanas suelen ser más flexibles, comparadas con las normas europeas.

Los mapas de distribución del Fe y Mn (figura 48) muestran que su mayor concentración se localiza en el centro del área de estudio (pozo PCU-4). Estos dos metales que sobrepasaron los LMP, suelen estar asociados, debido a que se utilizan principalmente en la fabricación de aleaciones de hierro y acero, otra fuente no natural de la presencia de hierro se debe a la excesiva corrosión de tuberías de hierro (OMS, 2006). Es importante mencionar que este pozo se encontraba equipado, sin embargo, en desuso y expuesto a las inclemencias del clima como se observa en la figura 25, además frente a esta parte del área de estudio (hacia él este) se encuentra la industria acerera TERNIUM, la cual estaría siendo la fuente de contaminación puntual de estos dos metales, y debido a que la temperatura del el agua subterránea del área de estudio (24.7-25.7°C) es elevada, esto incrementa la solubilización de dichas sustancias, como consecuencia del aumento de la fuerza iónica.

Por otra parte, el Aluminio (Al) en el pozo PCU-4, se encontró muy cercano al LMP, por lo que resulta importante el mencionarlo.

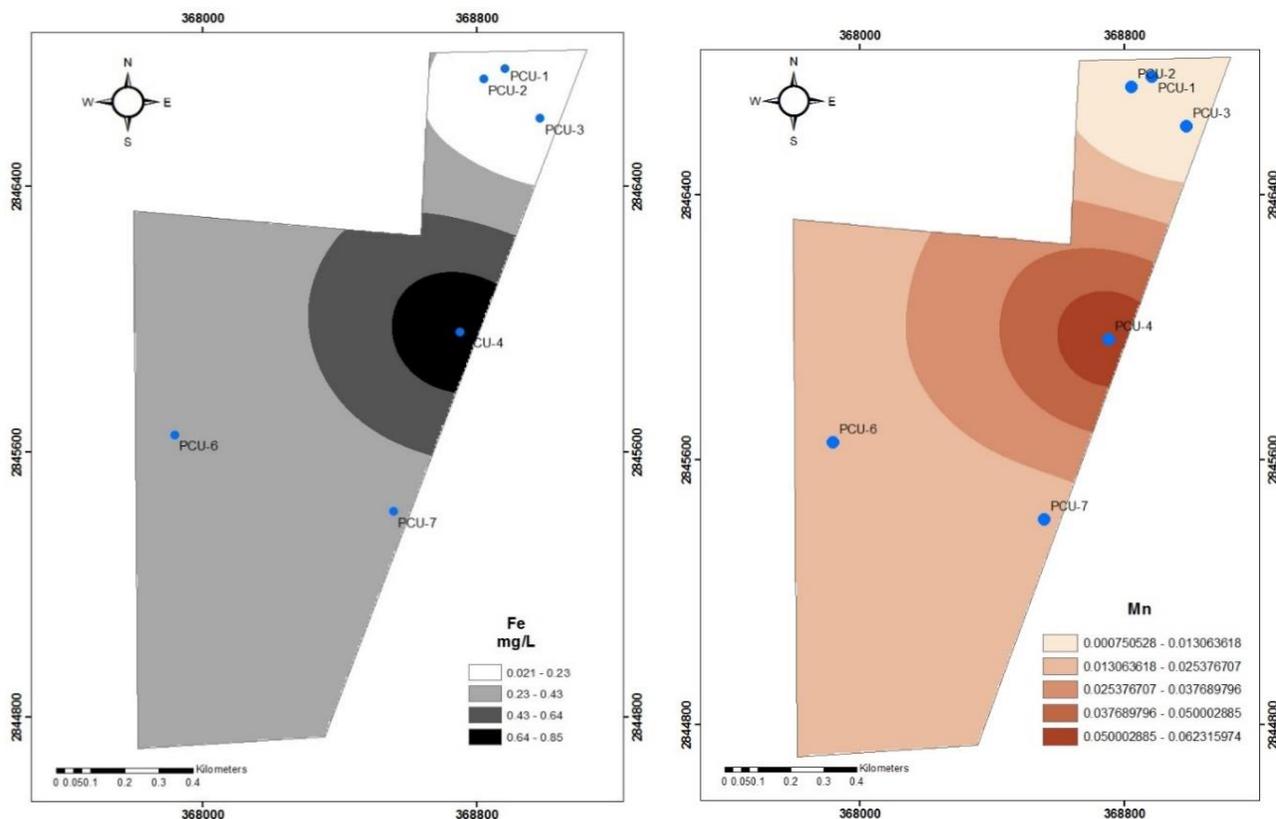


Figura 48. Mapas temáticos de la distribución del parámetro Hierro (Fe) y Manganeso (Mn).

Para el tercer muestreo de los 12 parámetros analizados (tabla 14), solo los sulfatos en el pozo PCU-2 sobrepasaron los LMP de acuerdo con la Norma Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y los límites establecidos por la OMS; mientras que el pozo PCU-1 sobrepasó los LMP para la Norma Mexicana NOM-127-SSA1-1994, los límites establecidos por la OMS y los estándares europeos.

Sin embargo, comparando con las concentraciones que resultaron en el primer muestreo (junio de 2016) con las concentraciones de este tercer muestreo (mayo de 2017) la concentración de sulfatos bajó, al igual que los cloruros, ya que para este muestreo todos los pozos analizados no sobrepasaron los LMP para cloruros.

En cuanto a los parámetros físicos de temperatura y ph, éstos se mantuvieron muy constantes, mientras que la conductividad bajó en la mayoría de los pozos. Por el contrario, los nitratos aumentaron su concentración en la mayoría de las muestras, pero sin superar los LMP.

Tabla 14. resultados de parámetros analizados en el tercer muestreo

ANÁLISIS	PCU-1	PCU-2	PCU-3	PCU-4	PCU-6	PCU-7	NOM-001- ECOL-1996		NOM-127- SSAI-1994	EPA-815-F- 00-007	REAL DECRETO 140/2003	OMS,2006
							RIEGO	URBANO				
Temperatura (°C)	25.40	25.40	25.10	25.30	25.10	24.90	40.00	40.00	N.E	N.E	N.E	N.E
Conductividad (µS/cm)	1515	1577	1136	883	983	785	N.E	N.E	N.E	N.E	2,500.	N.E
pH	7.41	6.91	6.85	6.86	6.87	6.910	5-10	5-10	6.5-8.5	N.E	6.5-9.5	6.5-8.5
Cloruros (mg/L)	105.40	118.50	37.40	43.00	51.80	38.70	N.E	N.E	250.00	N.E	250.00	250.00
Sulfatos (mg/L)	360.00	410.00	167.50	142.50	187.50	107.50	N.E	N.E	400.00	N.E	250.00	400.00
Nitrato NO3 (mgN-NO3/L)	8.20	8.10	7.00	7.50	7.40	7.60	40.00	15.00	10.00	10.00	50.00	10.00
Sodio (mg/L)	118.00	129.00	28.30	28.50	39.90	25.10	N.E	N.E	200.00	N.E	200.00	200.00
Carbonatos (mg/L)	<6	<6	<6	<6	<6	<6	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos (mg/L)	258.30	283.5	266.70	271.90	284.50	233.10	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio (mg/L)	51.00	4.40	1.40	1.60	1.50	2.00	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio (mg/L)	33.00	34.10	25.70	25.74	28.00	23.20	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Calcio (mg/L)	200.00	210.00	129.00	135.00	145.00	121.00	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E

N.E:

NO ESPECIFICA

CAPÍTULO 6 VULNERABILIDAD

En el presente capítulo se entenderá como “vulnerabilidad” a la propiedad intrínseca de un sistema acuífero que depende de su sensibilidad a los impactos naturales y antropogénicos, considerando que la vulnerabilidad del acuífero es una función de las características hidrogeológicas del acuífero, de los suelos y los materiales geológicos que lo cubren (Valcarce & Jiménez, 2016).

Como una medida para la protección de la calidad del agua subterránea a nivel mundial, se sugiere la utilización de la cartografía de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Los mapas de vulnerabilidad deben ser vistos como una de las herramientas principales para el manejo del medio ambiente y pueden ser usados con tres propósitos fundamentales: a) en procesos de toma de decisión concerniente a la protección y manejo de los recursos hídricos subterráneos, b) para identificar áreas susceptibles a la contaminación y decidir sobre las investigaciones y las redes de monitoreo necesarias, c) en planes informativos y educativos sobre la necesidad de proteger los acuíferos y evitar la contaminación del agua subterránea, insistiendo en que los acuíferos forman parte de un sistema ecológico interconectado que está siendo afectado por la actividad humana (Baez, 2001; Pérez & Pacheco, 2004).

En las últimas décadas se han desarrollado diferentes métodos para determinar la vulnerabilidad del agua subterránea, incluyendo índices y clasificaciones, entre otros métodos. Uno de los métodos utilizados con mayor frecuencia para cartografiar la vulnerabilidad, es el método DRASTIC propuesto por Aller *et al.* (1987) que considera las características físicas propias del marco hidrogeológico que afectan a la potencial contaminación del agua. Entre las ventajas que presenta este método se encuentran: su fácil aplicación en extensas regiones, debido a que requiere pocos datos y su fácil aplicación, y de la interrelación de parámetros que disminuye la probabilidad de dejar a un lado algunos factores importantes; sin embargo, también presenta algunas limitaciones, pues asume que el posible contaminante tiene la misma movilidad en el medio que el agua, que se introduce

por la superficie del terreno y se incorpora al agua subterránea mediante la recarga (lluvia y/o retorno de riego), la subjetividad al valorar los parámetros (por lo que se deben utilizar criterios homogéneos para para minimizar este grado de subjetividad), además de que sólo se aplica para acuíferos libres y confinados (Aller, 1987; Martínez & Fabregat, 1998; Lathamani *et al*, 2015; Rosen, 1994 citado por Dávila, 2011). El objetivo del presente capítulo fue determinar la vulnerabilidad del acuífero que se presenta en el área del campus de CU-UANL, al integrar el modelo DRASTIC en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para su representación cartográfica.

6.1 METODOLOGÍA DRASTIC

DRASTIC es el acrónimo de siete factores: profundidad del agua (D), recarga neta (R), medio acuífero (A), suelo (S), topografía (T), impacto de la zona vadosa (I) y conductividad hidráulica (C). Estos se denominan factores hidrogeológicos, que se usan para inferir el potencial de que los contaminantes ingresen a las aguas subterráneas

Para calcular el índice de vulnerabilidad (IVD) se utilizan: 1) una escala de clasificación de cada parámetro que van de 1 (potencial de contaminación mínimo) a 10 (máximo potencial de contaminación), y 2) una asignación de peso/ponderación de cada parámetro que oscila entre 1 (menor impacto) y 5 (impactos más relevantes).

La combinación de los índices de impacto se utiliza para calcular el IVD, con la fórmula:

$$5Dw + 4Rw + 3Aw + 2Sw + 1Tw + 5Iw + 3Cw = IVD$$

Donde:

Dw = Valor de profundidad clasificado

Rw = Valor de recarga neta clasificado

Aw = Valor para el medio acuífero clasificado

Sw= Valor de suelo clasificado

Tw = Valor de la topografía clasificado

Iw = Valor del impacto de la zona vadosa clasificada

Cw = Valor de conductividad hidráulica clasificado

La profundidad, considerada como la profundidad del nivel piezométrico, se obtuvo en campo utilizando una sonda sonora hidrogeológica, en el mes de mayo 2016, obtenido valores entre 11 y 16m, y de acuerdo a la tabla 15 una clasificación de 3 y 5, como se observa en la tabla 16 y en la figura 49. Entendiendo que a mayor profundidad será menor la vulnerabilidad del acuífero a ser contaminado.

Tabla 15. Rango de la profundidad del agua (m) y su clasificación, (Aller, 1987)

Rango	Clasificación
0-1.5	10
1.5-4.6	9
4.6-9.1	7
9.1-15.2	5
15.2-22.9	3
22.9-30.5	2
>30.5	1

Tabla 16. Rango de Profundidad del agua (m) obtenida en mayo 2016

Rango	Clasificación
11.7-15	5
15.6-16.4	3

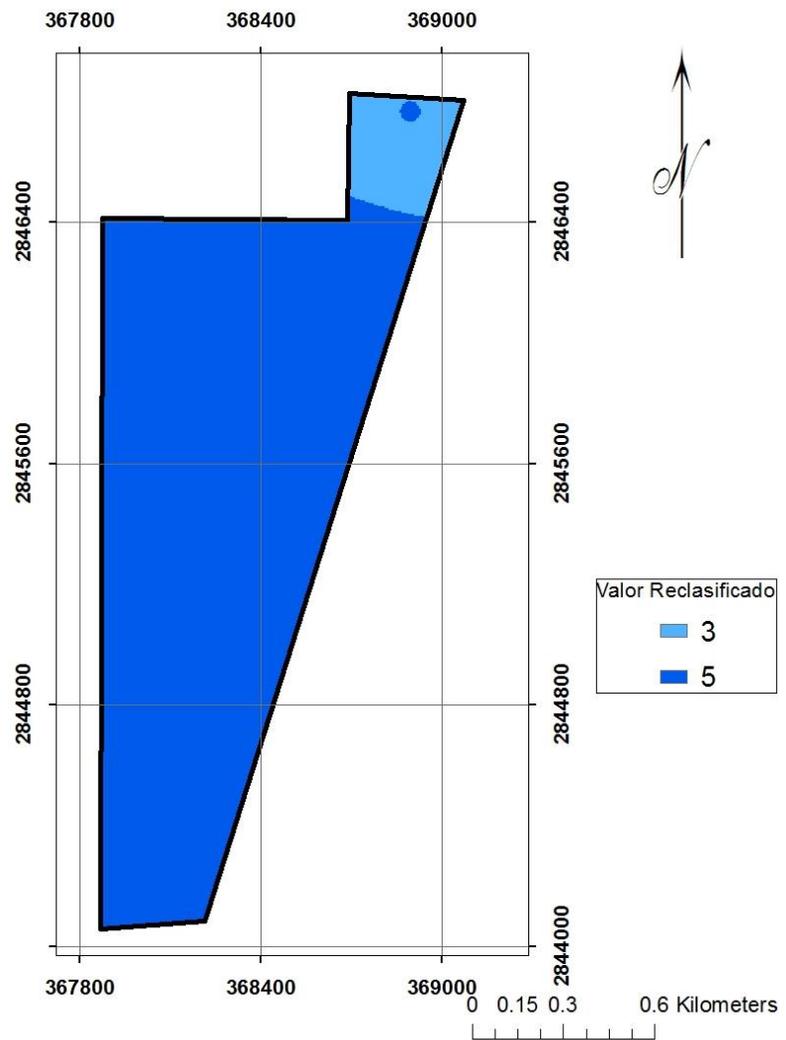


Figura 49. Profundidad del agua (D)

La recarga neta, siendo la precipitación, la principal fuente de infiltración, se obtuvo de un estudio realizado en 1999 por Hernández, al igual que la conductividad hidráulica o permeabilidad, la cual se refiere a la velocidad a la que el agua fluye horizontalmente (Lathamani *et al*, 2015). En ambos parámetros se consideró el mismo valor para toda el área; la recarga neta fue de 61.18 mm y la conductividad hidráulica de 93.12m/día, ambos parámetros se reclasificaron de acuerdo a lo recomendado por Aller,1987, como se aprecia en las tablas 18 y 20 y en las figura 50 y 51.

Tabla 17. Rango de la Recarga

Rango	Clasificación
0-50	1
50-103	3
103-178	6
178-254	8
>254	9

neta (mm) y su clasificación, (Aller, 1987).

Tabla 18. Valor de la Recarga neta (mm) en el área de estudio, de acuerdo a Hernández, 1999.

Valor	Clasificación
61.18	3

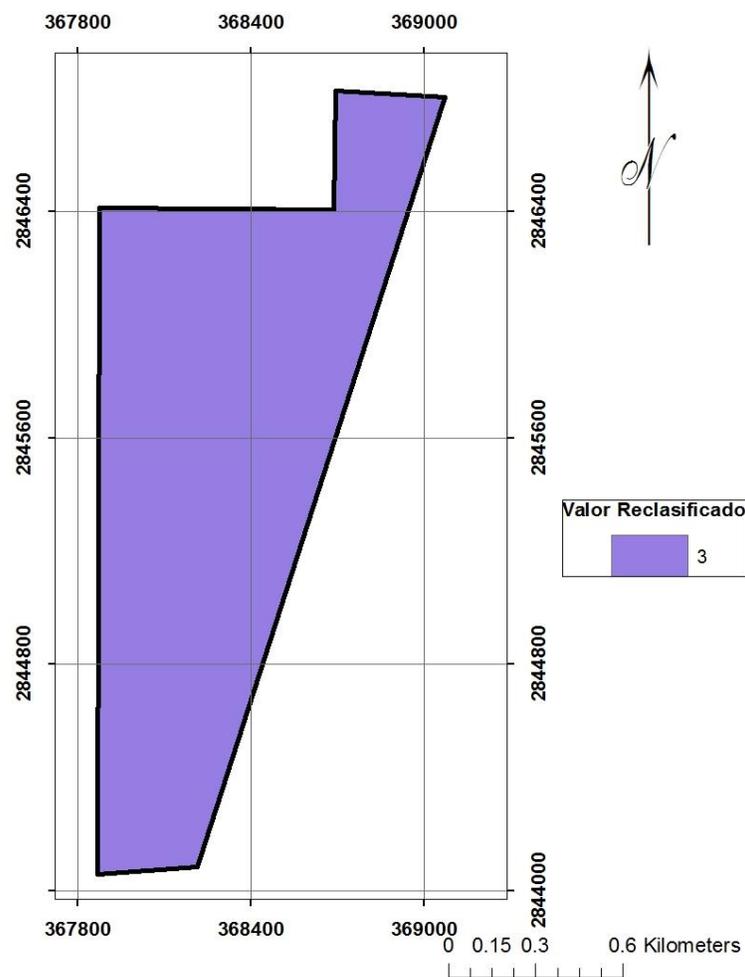


Figura. 50. Recarga Neta (R)

Tabla 19. Rango de la conductividad hidráulica (m/día) y su clasificación (Aller, 1987).

Rango	Clasificación
0.04-4.08	1
4.08-12.22	2
12.22-28.55	4
28.55-40.47	6
40.75-81.49	8
>81.49	10

Tabla 20. Valor de la conductividad hidráulica (m/día) en el área de estudio y su clasificación, según Hernández, 1999.

Valor	Clasificación
93.12	10

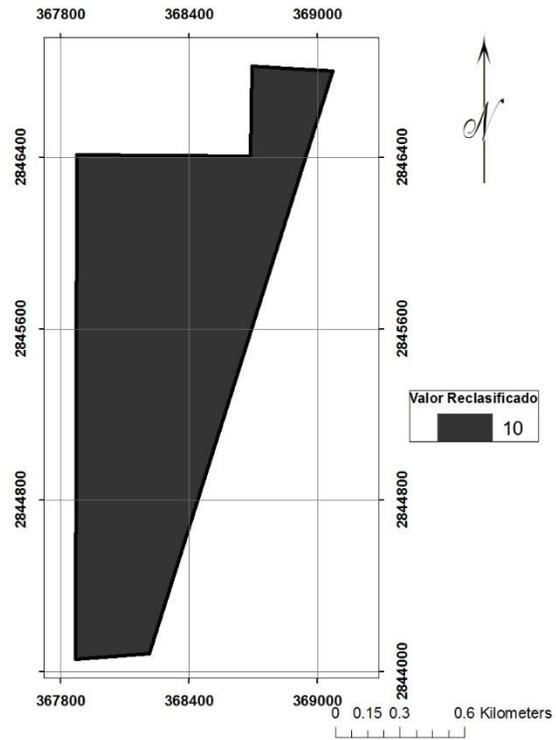


Figura 51. Conductividad (C).

Considerando que, a mayor tamaño de granulometría y fracturación del material geológico, mayor será la permeabilidad y por lo tanto un grado de vulnerabilidad más elevado, se obtuvo lo referente al medio acuífero, suelo, e impacto de la zona vadosa a partir de perfiles estratigráficos realizados por el Departamento de Mecánica de Suelos del Instituto de Ingeniería Civil, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, y digitalizados por Silva *et al* en 2015, (Valencia, 1998; Hernández, 1999, Silva *et al*, 2015). Se considero una profundidad menor de ~2m para el suelo, de ~2m hasta el nivel piezométrico para la diferenciación entre el impacto de la zona vadosa y el medio acuífero.

Poco más del 50% del área se encuentra cubierta por suelos de arcilla limosa con gravas (tabla 22). El medio acuífero se encuentra en su mayoría por material de arenas, gravas y boleos medianamente cementados (tabla 23). Mientras que el material de limo arcilloso, arenas y gravas sueltas represento la zona vadosa (tabla 25).

Tabla 21. Rango del medio acuífero y su clasificación (Aller, 1987).

Rango	Clasificación
Lutita masiva	1-3
Metamórfica/ígnea	2-5
Metamórfica/ígnea meteorizada	3-5
Tillitas glaciales	4-6
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5-9
Arenisca masiva	4-9
Caliza masiva	4-9
Arena o grava	4-9
Basaltos	2-10
Caliza kárstica	9-10

Tabla 22. Material del medio acuífero del área en estudio y su clasificación.

Material que conforma el medio acuífero	Clasificación
Arenas, gravas y boleos medianamente cementados	6
arcilla, limo arcilloso con arena y grava	4

Tabla 23. Rango del suelo y su clasificación (Aller, 1987).

Rango	Clasificación
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

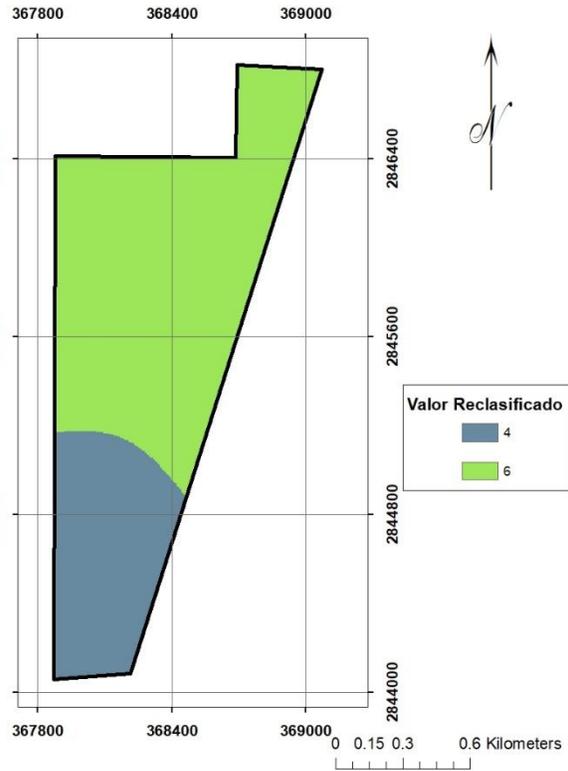


Figura. 52. Medio acuífero (A)

Tabla 24. Material del suelo en el área de estudio y su clasificación.

Material que conforma el suelo	Clasificación
arcilla, arcilla con grava, arcilla limosa descarboxatizada con arena	9
Arcilla, arcilla limosa	8
Arcilla limosa con gravas	7

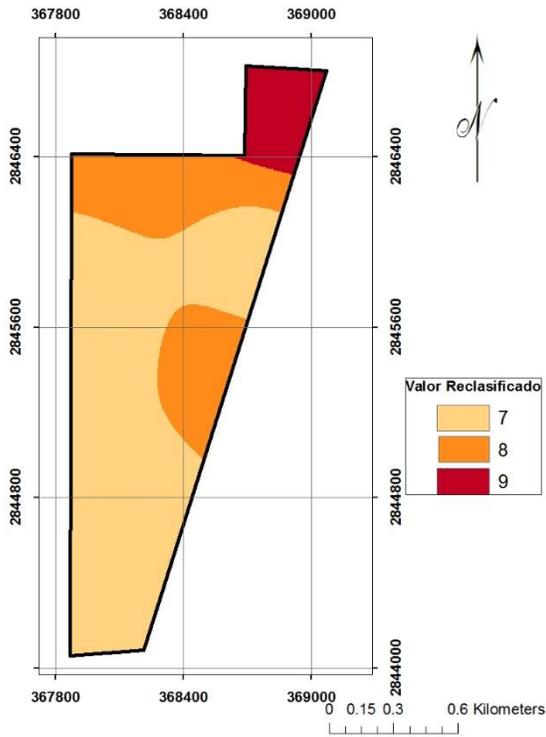


Figura 53. Suelo (S)

Tabla 25. Rango del impacto de la zona vadosa y su clasificación (Aller, 1987).

Rango	Clasificación
Limo/arcilla	1-2
Lutita	2-5
Caliza	2-7
Arenisca	4-8
Secuencias de areniscas, lutitas y calizas	4-8
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4-8
Metamórficas e Ígneas	2-8
Grava y arena	6-9
Basalto	2-10
Caliza kárstica	8-10

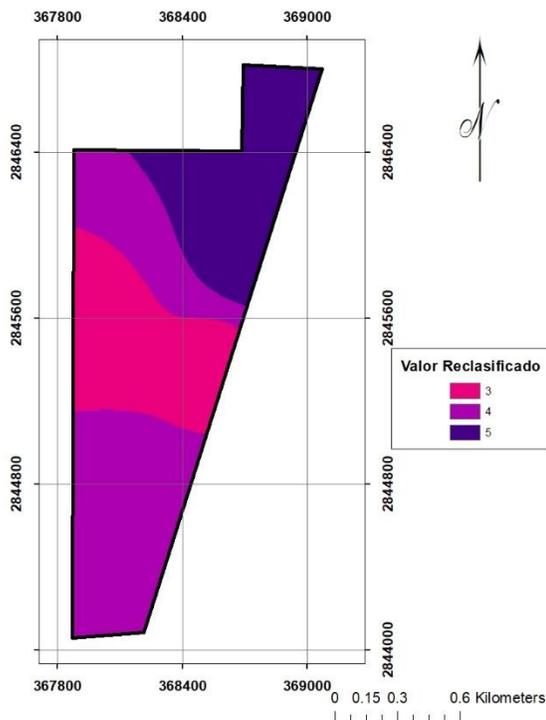


Figura 54. Impacto de la zona vadosa (I)

Tabla 26. Material de la zona vadosa y su clasificación

Material que conforma la zona vadosa del área en estudio	Clasificación
limo arcilloso, arenas y gravas sueltas	5
arcilla calichosa, arcilla limosa con arena	4
arcilla arenosa con gravas	3

La topografía se refiere a la pendiente de la superficie del terreno, entendiendo que a mayor inclinación o pendiente del terreno será menor la vulnerabilidad, ésta se obtuvo de una imagen tipo Lidar a cada 30 cm. Al encontrarse el área de estudio en una planicie, el grado de pendiente es bajo, como se observa en la tabla 27, de acuerdo a la clasificación de Aller, 1987, se clasifica con un valor de 10 (figura 55).

Tabla 27. Rango de la topografía (% de pendiente) y su clasificación (Aller, 1987).

Rango	Clasificación
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Tabla 28. Rango de la topografía (%de pendiente) del área en estudio.

Rango	Clasificación
0.0004-0.28	10

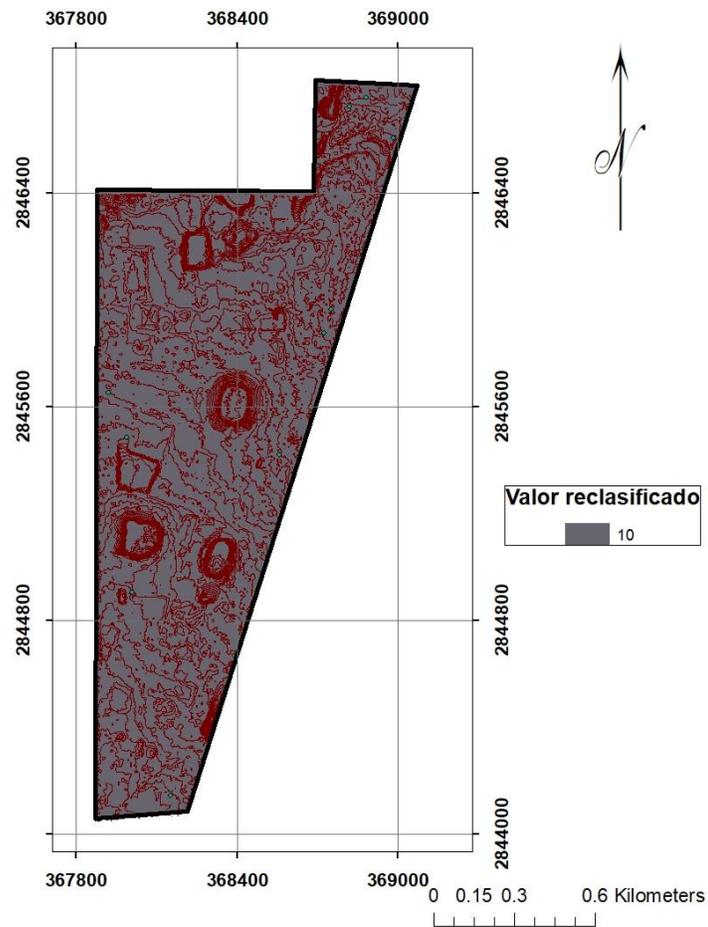


Figura 55. Topografía

Finalmente el mapa que representa la vulnerabilidad del área en estudio (figura 56, superior derecho), se obtuvo aplicando la ecuación del “IVD”, con la herramienta Raster Calculator presente en un SIG, el cual se reclasificó de acuerdo al método estadístico de rompimiento natural, el cual se basa en el algoritmo de rupturas de Jenks (método propuesto por el SIG utilizado) para finalmente darnos las diferentes zonas de vulnerabilidad del área.

6.2 RESULTADO Y DISCUSIÓN

En la figura 56 podemos ver el mapa del índice de vulnerabilidad del área en estudio, donde se observa que se presentaron tres zonas de vulnerabilidad, que abarcan un intervalo de 118-138, según la metodología DRASTIC, donde para a zona I, que representa una zona de baja vulnerabilidad, abarcando un intervalo de 118-126, la zona II que abarca un intervalo de 126-131 representa una vulnerabilidad media y la zona III de alta vulnerabilidad, abarcando un intervalo de 131-138.

De acuerdo al análisis de calidad de agua, donde se encontró como posibles indicadores de contaminación antropogénica los parámetros de bacterias coliformes, y los metales de Fe y Mn, se dispuso sobreponer estos resultados sobre el mapa del índice de vulnerabilidad obtenido, donde se observa en la figura 56, que la concentración mayor tanto de bacterias coliformes, Fe y Mn se presentó en la parte este central (pozos PCU-4 y PCU-10) del área, siendo la zona de mayor vulnerabilidad acuífera, por otra parte se encuentra que la parte sur-oeste (pozos PCU5, PCU-6 y PCU-7) también presentaron altas concentraciones de dichos parámetros, sin embargo de acuerdo al mapa del índice de vulnerabilidad acuífera, fue la zona de menor vulnerabilidad, lo que nos hace pensar que a pesar de ser la zona dentro del área en estudio con menor vulnerabilidad, los factores principales de su posible contaminación están siendo fuertemente influyentes en dicha contaminación, como lo son las fugas o fallas en el sistema de drenaje sanitario de los dos estadios (estadio de beisbol sultanes de Monterrey y estadio universitario) que se encuentran ubicados en la zona, y que cada fin de semana concentran poco más de 50 mil personas, así mismo el encontrarse un lago en dicha zona, en el cual se encuentran animales como peces, tortugas y aves, lo vuelve también un factor importante en la concentración de bacterias coliformes.

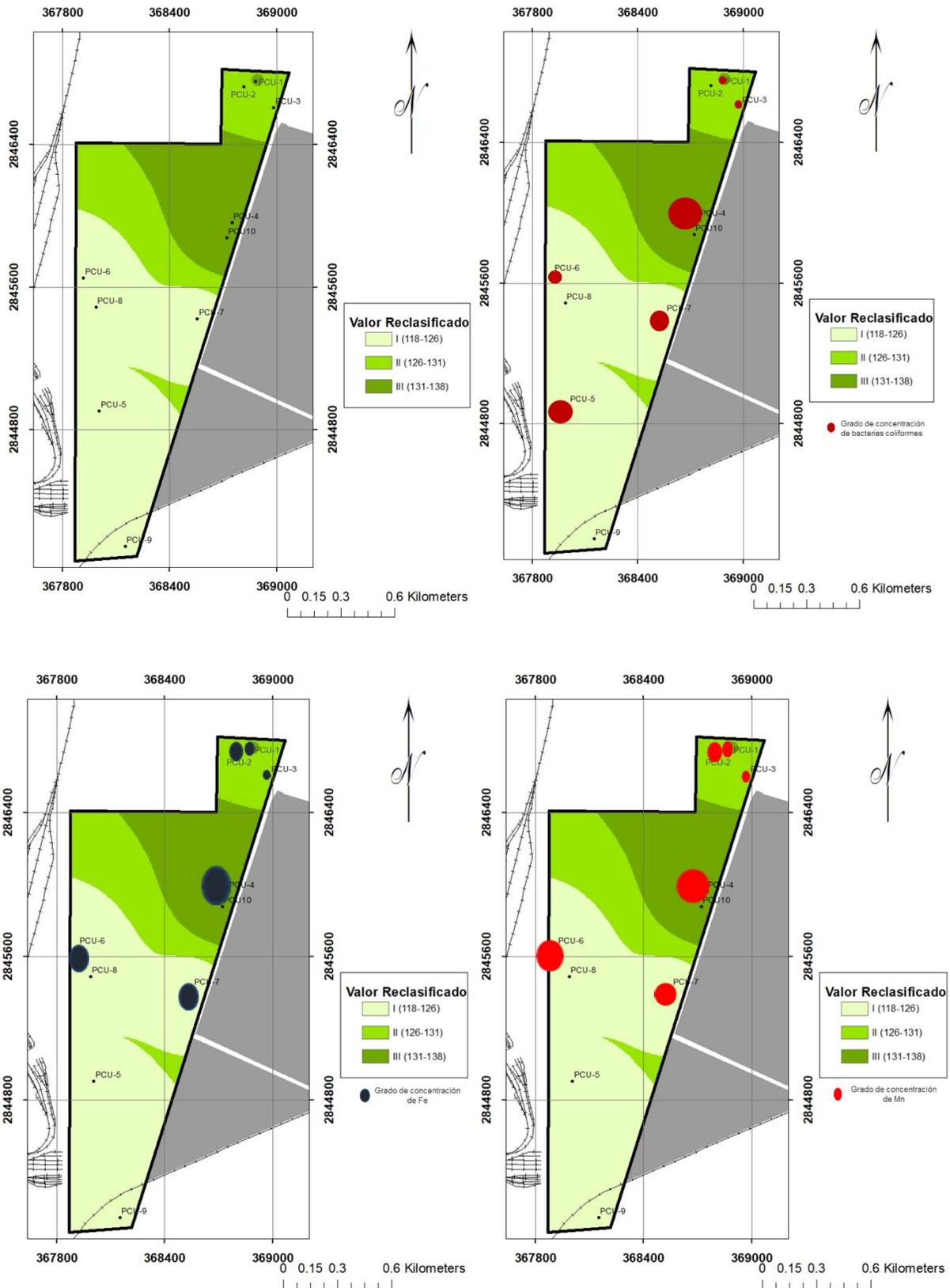


Figura 56. Mapas del índice de vulnerabilidad y distribución de la concentración de bacterias coliformes (superior izquierdo), Fe (inferior izquierdo) y Mn (inferior derecho).

CAPITULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

El campus CU-UANL está en constante crecimiento, tanto en su dimensión como en su matrícula, por lo que el comenzar a buscar otras futuras fuentes de abastimimiento de agua, se vuelve una necesidad imperiosa.

El campus CU-UANL, se encuentra dentro de la regio hidrológica 24, Rio Bravo, dentro del grupo de climas secos, semisecos, semiáridos, con una temperatura media anual de 20.03°C a 24.65°C, una precipitación anual acumulada de 813 mm y una evaporación anual acumulada de 2346.86 mm, se encuentra con la presencia de materiales geológicos propios de la era cuaternaria.

Con los registros obtenidos de los SADM, de los años 2008 al 2015, se encuentra un nivel estático promedio entre 12 y 13 metros. Con la información obtenida en el transcurso del presente estudio (2016-2017), se encuentra un nivel estático entre 11 a 16 metros y un nivel piezómetro promedio de 513 metros sobre el nivel del mar, clasificándolo como un acuífero de poros.

La obtención de la carta hidrogeológica fue clave para poder conocer el movimiento del agua subterránea, y a su vez determinar parámetros, como la dirección del flujo del agua subterránea, una dirección de suroeste a noreste, y los gradientes piezométricos, de 0.00708 y 0.00713, clasificándolo como un acuífero muy estable y dinámico.

Desde el punto de vista ambiental, el área de estudio se encuentra en una zona industrial y urbana lo cual causa un impacto negativo hacia los recursos naturales como lo es el agua subterránea, esto se vio reflejado en el análisis de calidad, donde indicadores de contaminación urbana como, bacterias coliformes y metales como el hierro y manganeso, sobrepasaron en algunos puntos de muestreo (PCU-1, PCU-3, PCU-4, PCU-5, PCU-6 Y PCU-7) los LMP, comparados con las normas internacionales y mexicanas con las que se evaluaron.

Debido a que los resultados obtenidos del agua subterránea de los pozos PCU-4, PCU-6, PCU-7 y PCU-10, evaluándolos con la NOM-001-ECOL-1996 se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, se propone un posible uso urbano y riego para dichos pozos.

La evolución hidrogeoquímica de secuencias propuesta por Chebotarev (1955), nos permitió conocer la posible evolución hidrogeoquímica, presente en el agua subterránea del CU-UANL, para el año 2017.

A través del conocimiento geológico, hidrogeológico e hidrogeoquímico del área de estudio obtenida y los sistemas hidrogeológicos de Tóth (1963), se pudo determinar el origen del agua subterránea, correspondiendo a una zona de descarga con flujo subterráneo regional, local e intermedio.

El mapa de vulnerabilidad, obtenido con la metodología DRASTIC, nos mostró las diferentes zonas de vulnerabilidad, baja (118-126), media (126-131) y alta (131-138), presentes en el campus CU-UANL.

El análisis integral de la hidrogeología, la hidrogeoquímica y la vulnerabilidad acuífera del área de estudio, nos mostró un panorama general de la hidrodinámica y calidad del agua subterránea del campus CU-UANL, la cual podría considerarse para usos urbano y riego.

7.2 RECOMENDACIONES

1- Realizar monitoreo permanente de los niveles estáticos, incluyendo la instrumentación computarizada de los aprovechamientos hidráulicos existentes (pozos) y la perforación de una mayor cantidad de pozos de monitoreo, para así realizar una carta hidrogeológica más completa en el ámbito espacio-temporal.

2- Realizar más análisis hidrogeoquímicos y a diferentes niveles de profundidad, e incluir un estudio de isotopos, para poder conocer con mayor exactitud el origen, y la evolución hidrogeoquímica presente.

3- Realizar sondeos exploratorios a mayor profundidad en algunas zonas del área de estudio (por ejemplo, donde se encuentra el pozo PCU-7), para conocer las

características estratigráficas del acuífero, a fin de establecer la conexión hidráulica del acuífero de poros y grietas del agua subterránea.

4- Realizar un modelo hidrogeológico, obteniendo parámetros faltantes a los existentes, sobre la caracterización hidrogeoquímica y balance de agua en la cuenca, con el fin de ofrecer una herramienta más completa a las autoridades correspondientes y que el recurso sea aprovechado de una manera sostenible.

5- Documentar e identificar las infiltraciones del drenaje sanitario del campus CU-UANL y proponer un sistema permanente de monitoreo y reparación de las mismas.

6- Que la norma mexicana “NOM-127-SSAI-1994” sea revisada, a fin de ser más estricta con sus límites máximos permisibles.

7- Crear un sistema de gestión sostenible del agua subterránea integrada por los usuarios universitarios, motivando e incrementando la conciencia, educación y cultura sobre el cuidado, conservación y preservación del agua subterránea.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aguilar Barajas I., Nicholas S. & Aldo R. (2015). *Agua para monterrey, logros, retos, oportunidades para Nuevo León y México*. Primera edición. D.R Agencia Promotora de Publicaciones, S.A de C.V. ISBN 978-607-464-727-3.
2. Aller, L., Lehr, J. H., Petty, R., & Bennett, T. (1987). *DRASTIC: A Standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. National Water Well Association, Worthington, Ohio, United States of America.
3. Alley, W. M., Reilly, T. E., & Franke, O. L. (1999). *Sustainability of groundwater resources* (Vol. 1186). US Department of the Interior, US Geological Survey.
4. Alva Niño E. (1997). *Estudio Geológico-Hidrogeológico de la región noroeste (Sierra las mitras- cerro el Topo- cerro el Durazno) de Monterrey, Nuevo León*. Tesis. Facultad de Ciencias de la Tierra. UANL. 118pp
5. Ancer Rodríguez J. (2013). *Informe de actividades del rector*. UANL.
6. Appelo & posma. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2nd edition. A.A. Balkema Publishers. London-New York. 649pp
7. Arizabalo R.D., & G. Díaz. (1991). *La Contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos*. No.6. UNAM. 38pp
8. Baez Vázquez A. (2001). *Validación de mapas de vulnerabilidad en medios urbanos*. I seminario-taller de protección de acuíferos frente a la contaminación. Instituto de geofísica. Toluca, México.
9. Barros, H., Castro de Esparza, M. L., Wong Nonato, M., & Mori, V. (2009). *Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado. In Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos*. CYTED. 113-138pp.
10. Bybee, R.W. (1991). *Planet Earth in Crisis: How should Science Educators Respond The american Biology teacher*. Vol. 53. No. 3. 56-59pp.
11. Campos Aranda D.F. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*. Primera edición. México. 307pp.

12. CONAGUA. (2014). *Agua subterránea*.
13. CONAGUA. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Área Metropolitana de Monterrey (1906), Estado de Nuevo León*.
14. CONAGUA. (2015). *Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey*.
15. CONAGUA. (2016). *Estación Meteorológica de Monterrey*.
16. Custodio E. & Llamas M.R. (1976). *Hidrología subterránea*. Segunda edición. Omega. Tomo I. Barcelona.
17. Custodio E., & Llamas M.R. (1983). *Hidrología subterránea*. Segunda edición. Omega. Tomo II. Barcelona.
18. Dávila Porcel R. (2011). *Desarrollo sostenible del uso de suelo en ciudades en crecimiento, aplicando hidrogeología urbana como parámetro de planificación territorial: caso de estudio Linares, N.L., México*. Tesis. UANL. 263pp.
19. Dávila Porcel R., Gómez, H.D.L., & Schüth, C. (2012). *Urban impacts analysis on hydrochemical and hydrogeological evolution of groundwater in shallow aquifer Linares, México*. Environmental Earth Sciences, 66(7), 1871-1880pp.
20. Davis M.L., & S Masten. (2005). *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Primera edición. McGraw-Hill Interamericana. México-Bogotá-Buenos Aires.
21. Davis S.N & Wiest R. (1971). *Hidrogeología*. Primera edición. ARIEL. Barcelona.
22. Del Campo, M.M., Esteller, M.V., Expósito, J. L., & Hirata, R. (2014). *Impacts of urbanization on groundwater hydrodynamics and hydrochemistry of the Toluca Valley aquifer (Mexico)*. Environmental monitoring and assessment, 186(5), 2979-2999pp.
23. Desarrollo Sustentable UANL. (2016). *Agua*.
24. Espronceda, E.A. (2015). *Caracterización hidrogeoquímica del acuífero campo Mina, N.L., México, aplicando técnicas de geomántica*. Tesis licenciatura. Facultad de Ingeniería Civil, UANL. 49pp.
25. *Estándares del reglamento nacional primario de agua potable*, EPA 815-F-00-007 abril de 2000.

26. ESRI. (2017). *ArcMap*.
27. Fagundo, J.R., et al (1996). *Procesos geoquímicos y calidad de las aguas*. En: "Contribuciones a la hidrogeología y medio ambiente en cuba". Centro Nacional de investigaciones científicas. 177-198pp.
28. Gary D. Christian. (2009). *Química analítica*. Sexta edición. McGraw-Hill Interamericana de España. 856pp.
29. Garza D. I. (2009) *Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas en el sur del estado de Nuevo León*. Tesis de Licenciatura. Nuevo León, México., Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León.
30. Giner, R., Fierro L, C. & L.F Negrete., (2011). *Análisis de la problemática de la sequía 2011-2012 y sus efectos en la ganadería y la agricultura temporal*. Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA).
31. González Abraham Natalia, (2011). *Determinación de los sistemas de flujo del agua subterránea y caracterización de sus componentes en regiones desérticas: el caso de Loreto, Baja California Sur*. Tesis Doctoral. Centro de investigaciones biológicas del noreste, S.C. 110pp.
32. González de Vallejo, L.I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Prentice Hall. Madrid España. 708pp.
33. Hernández L. (1999). *Caracterización del acuífero de Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León*. Tesis de Maestría. Nuevo León, México. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León.
34. INEGI. (2008). *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*.
35. INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*.
36. INEGI. (2015). *Provincias fisiográficas Nuevo León*.
37. Lathamani, R., Janardhana, M. R., Mahalingam, B., & Suresha, S. (2015). *Evaluation of aquifer vulnerability using drastic model and GIS: a case study of Mysore city, Karnataka, India*. Aquatic Procedia, 4, 1031-1038pp.
38. Ledesma Ruiz, R., Pastén Zapata, E., Parra, R., Harter, T., & Mahlknecht, J. (2015). *Investigation of the geochemical evolution of groundwater under*

- agricultural land: A case study in northeastern Mexico*. Journal of Hydrology, 521, 410-423pp.
39. Lee, C.H. (1915). *The determination of safe yield of underground reservoirs of the closed-basin type*. American Society of civil engineers. Paper No. 1315 Vol LXXVIII. 148pp.
40. Lizárraga Mendiola, L.G. (2003). *Análisis y Evaluación del agua subterránea del área del tiradero municipal y la petaca, Linares, N.L., México*. Tesis. UANL. 134pp.
41. López Geta, J.A. (1998). *Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España período 1982-1993: cuenca de Canarias*. IGME.
42. Macedo Beatriz. (2005). *El concepto de sostenibilidad*. Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe UNESCO Santiago.
43. Martínez P.E., P. Martínez & S. Castaño. 2006. *Fundamentos de hidrogeología*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México. 77pp.
44. Martínez, M., & Fabregat, V. (1998). *Aplicación del método Drastic para la evaluación del riesgo de afectación a las aguas subterráneas por una obra lineal*. Barcelona, España, 413-420pp.
45. Navarro-Solís et al. (2016). *Integrative methodology for the identification of groundwater flow patterns: application in a Semi-Arid region of México*. 14(4): 645-666pp.
46. Nebel, B. J., & Wright, R. T. (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. Sexta Edición. Pearson Educación.
47. NOM-001-ECOL-1996, *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*.
48. NOM-112-SSA1-1994, *Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable*.
49. NOM230SSA12002, *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo*.

50. Ordoñez J.J. (2011). *Agua subterránea-Acuíferos*. Primera edición. Sociedad Geográfica de Lima. Cartilla técnica. Lima, Perú.
51. Ortega Gaucin D & D. Velasco. (2013). *Impacto de las sequías en Nuevo León. Ciencia UANL*, 16(63), 8-14pp.
52. Ortega- Gaucin D., (2012). *Sequía en Nuevo León, vulnerabilidad, Impactos y Estrategias de Mitigación*. Primera Edición. Instituto del Agua del Estado de Nuevo Loen, Apodaca, NL., 222 pp.
53. Pérez & Pacheco. (2004). *Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán*. Ingeniería, vol 8, num 1, enero-abril 2004. Mérida, México. 33-42pp.
54. Pérez, G. & Ramírez J.J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2ª edición. Editorial Universidad de Antioquia. 403pp.
55. Pulido Bosch, A. (2014). *Nociones de hidrogeología para ambientólogos*. Vol 7. Universidad Almería.
56. Rosen, L., 1994, *A study if the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions: Ground Water*, v. 32. 278-285pp.
57. Sahuquillo Herráiz A. (2009). *La importancia de las aguas subterráneas*. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 103(1), 97-114pp.
58. Sánchez de Llanos J.A., et al. (2015). *Uso del agua en Nuevo León*. Capítulo 1, Oferta y demanda perspectiva del proyecto Monterrey VI. The Nature Conservancy.
59. Sánchez F.J. (2014). *Conceptos fundamentales de hidrogeología*.
60. Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin, G. F., de García, A., & Quigua, D. A. A. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. 685p
61. SEDUE. (2009). *Plan de desarrollo urbano del municipio de Monterrey. Gobierno municipal*.
62. Silva González J.L., Francisco H., Jorge G. (2015). *Estudio de microcuencas hidrológicas urbanas y perfiles hidroestratigráficos en la zona del campus "ciudad universitaria-uanl" aplicando técnicas de geomática*. Tesis de

licenciatura. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, México

63. Tikhomirov, V. V. (2016). *Hydrogeochemistry Fundamentals and Advances, Mass Transfer and Mass Transport (Vol. 2)*. John Wiley & Sons.
64. Todd, D.K. (1959) *Groundwater hydrology*. John Wily & Sons, Inc., New York.
65. Toth, J. (1963). A Theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *Journal of geophysical research*, 68(16), 4795-4812pp.
66. Tóth, J. (2000). *Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones*. *Boletín Geológico y Minero*, 111(4), 9-26pp.
67. UNESCO. (2015). *Agua para un mundo sostenible, datos y cifras*. Word Water. Informe UN WATER.
68. Unidad de Enlace y Transparencia y Acceso a la información de la UANL. (2016). *Matricula estudiantil del CU-UANL*
69. USGS. 2017. *El ciclo del agua*.
70. Martínez, M.; Delgado, P y Fabregat, V. 1998. *Aplicación del método drástico para la evaluación del riesgo de afección a las aguas subteraeas por una obra lineal. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*. Valencia. Ro Rosas, 23. 28003. Madrid. 8pp.
71. Valcarce Ortega, R. M., & Jiménez Reyes, R. (2016). *Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de la Cuenca Dolores-Sagua la Chica, Cuba*. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 03-14pp.
72. Vázquez Suñé, E., Sánchez Vila, X., & Carrera, J. (2005). *Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain*. *Hydrogeology Journal*, 13(3), 522-533pp.
73. Villarreal- Treviño, L., M, Vela & J. Galán. (2013). *Manual de prácticas de microbiología general*. Primera edición. UANL.
74. Villarroya Fermín. (2009). *Tipos de acuíferos y parámetros hidrogeológicos*. Jornadas técnicas sobre aprovechamiento de aguas subterráneas para riego.
75. Werner J. (1996). *Introducción a la Hidrogeología*. Primera edición. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL.

76. WHO, (2008). *Guidelines for drinking- wáter Quality*. Third edition. Vol. 1
77. Zenteno D.J. (1984). *Geología de la República Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México

ANEXOS

Anexo 1 Resultados de análisis del Primer muestreo



UANL



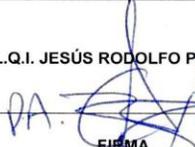
□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01202
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-1
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
Conductividad (mS/m)	168.3	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	2310	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de calcio (mg/l CaCO ₃)	1390	3500-Ca-B-1998 SM
Alcalinidad a la fenolftaleína (mg CaCO ₃ /L)	MENOR A 6	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad al naranja de metilo (mg CaCO ₃ /L)	292.9	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)	815.3	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	462.5	NMX-AA-074-1981
Color (u.c. Pt-Co)	MENOR A 5	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbidez (UNT)	MENOR A 0.5	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH (unidades de pH)	7.32	NMX-AA-008-SCFI-2000
Nitrógeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	6.7	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	MENOR A 5	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1188	NMX-AA-034-SCFI-2001
Carbonatos CO ₃ (mgCO ₃ /L)	MENOR A 6	AWWA 2320
Bicarbonatos HCO ₃ (ml HCO ₃ /L)	175.7	AWWA 2320
Bacterias Coliformes(NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-112-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-145-SSA1-1995 Apéndice Normativo B.2

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA


 FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016
 Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcasp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01202
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-1
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
SODIO (mg/L)	169	NMX-AA-051-SCFI-2001
POTASIO (mg/L)	2.7	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	219	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	40	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO (mg/L)	MENOR A 0.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
SELENIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
ARSENICO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PAEZ GARZA

FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



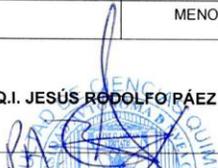
□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01203
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-3
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
Conductividad (mS/m)	123.8	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	1 860	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de calcio (mg/l CaCO ₃)	1 460	3500-Ca-B-1998 SM
Alcalinidad a la fenolftaleína (mg CaCO ₃ /L)	MENOR A 6	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad al naranja de metilo (mg CaCO ₃ /L)	284.8	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)	730.3	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	462.5	NMX-AA-074-1981
Color (u.c. Pt-Co)	MENOR A 5	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbidez (UNT)	MENOR A 0.5	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH (unidades de pH)	7.16	NMX-AA-008-SCFI-2000
Nitrógeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	7.4	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	MENOR A 5	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales (mg/L)	876	NMX-AA-034-SCFI-2001
Carbonatos CO ₃ (mgCO ₃ /L)	MENOR A 6	AWWA 2320
Bicarbonatos HCO ₃ (ml HCO ₃ /L)	170.9	AWWA 2320
Bacterias Coliformes(NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-112-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-145-SSA1-1995 Apéndice Normativo B.2

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA


 FIRMA
 DEPTO. DE SERVICIOS PROFESIONALES

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



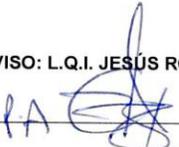
□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01203
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-3
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
SODIO (mg/L)	74	NMX-AA-051-SCFI-2001
POTASIO (mg/L)	1.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	171	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	35	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO (mg/L)	MENOR A 0.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
SELENIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
ARSENICO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA


 FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 99 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanifcgs@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01204
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-4
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
Conductividad (mS/m)	90.2	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	1 020	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de calcio (mg/l CaCO ₃)	580	3500-Ca-B-1998 SM
Alcalinidad a la fenolftaleína (mg CaCO ₃ /L)	MENOR A 6	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad al naranja de metilo (mg CaCO ₃ /L)	255.5	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)	188	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	143.7	NMX-AA-074-1981
Color (u.c. Pt-Co)	MENOR A 5	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbidez (UNT)	MENOR A 0.5	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH (unidades de pH)	7.20	NMX-AA-008-SCFI-2000
Nitrógeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	6.9	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	9	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales (mg/L)	620	NMX-AA-034-SCFI-2001
Carbonatos CO ₃ (mgCO ₃ /L)	MENOR A 6	AWWA 2320
Bicarbonatos HCO ₃ (ml HCO ₃ /L)	135.3	AWWA 2320
Bacterias Coliformes(NMP/100ml)	23	NOM-112-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-145-SSA1-1995 Apéndice Normativo B.2

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA

FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 62 99 86
 e-mail: uanifcasp@yahoo.com



UANL



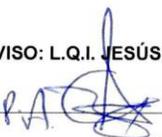
□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01204
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-4
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
SODIO (mg/L)	24	NMX-AA-051-SCFI-2001
POTASIO (mg/L)	1.0	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	120	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	26	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO (mg/L)	MENOR A 0.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
SELENIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
ARSENICO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA



 FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba.

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01205
 PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
 IDENTIFICADA COMO: PCU-5
 DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
Conductividad (mS/m)	78.8	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	664	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de calcio (mg/l CaCO ₃)	528	3500-Ca-B-1998 SM
Alcalinidad a la fenolftaleina (mg CaCO ₃ /L)	MENOR A 6	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad al naranja de metilo (mg CaCO ₃ /L)	295	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)	124.8	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	120	NMX-AA-074-1981
Color (u.c. Pt-Co)	MENOR A 5	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbidez (UNT)	MENOR A 0.5	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH (unidades de pH)	7.40	NMX-AA-008-SCFI-2000
Nitrógeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	4.2	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	MENOR A 5	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales (mg/L)	536	NMX-AA-034-SCFI-2001
Carbonatos CO ₃ (mgCO ₃ /L)	MENOR A 6	AWWA 2320
Bicarbonatos HCO ₃ (ml HCO ₃ /L)	177	AWWA 2320
Bacterias Coliformes(NMP/100ml)	13	NOM-112-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-145-SSA1-1995 Apéndice Normativo B.2

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA

FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



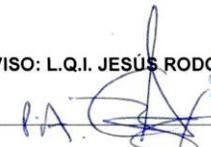
□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01205
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-5
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
SODIO (mg/L)	24.0	NMX-AA-051-SCFI-2001
POTASIO (mg/L)	1.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	126	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	28	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO (mg/L)	MENOR A 0.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
SELENIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
ARSENICO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA


 FIRMA



SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01206
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-6
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
Conductividad (mS/m)	98.7	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	835	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de calcio (mg/l CaCO ₃)	392	3500-Ca-B-1998 SM
Alcalinidad a la fenoftaleina (mg CaCO ₃ /L)	MENOR A 6	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad al naranja de metilo (mg CaCO ₃ /L)	299	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)	182.6	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	144	NMX-AA-074-1981
Color (u.c. Pt-Co)	MENOR A 5	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbidez (UNT)	MENOR A 0.5	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH (unidades de pH)	7.16	NMX-AA-008-SCFI-2000
Nitrógeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	5.7	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	30	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales (mg/L)	660	NMX-AA-034-SCFI-2001
Carbonatos CO ₃ (mgCO ₃ /L)	MENOR A 6	AWWA 2320
Bicarbonatos HCO ₃ (ml HCO ₃ /L)	179.4	AWWA 2320
Bacterias Coliformes(NMP/100ml)	5	NOM-112-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-145-SSA1-1995 Apéndice Normativo B.2

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA



FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01206
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-6
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
SODIO (mg/L)	44	NMX-AA-051-SCFI-2001
POTASIO (mg/L)	1.4	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	158	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	340	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO (mg/L)	MENOR A 0.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
SELENIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
ARSENICO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA

FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01207
 PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
 IDENTIFICADA COMO: PCU-7
 DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
Conductividad (mS/m)	81.9	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	800	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de calcio (mg/l CaCO ₃)	290	3500-Ca-B-1998 SM
Alcalinidad a la fenolftaleína (mg CaCO ₃ /L)	MENOR A 6	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad al naranja de metilo (mg CaCO ₃ /L)	276.7	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros (mg/L)	175.5	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos (mg/L)	90	NMX-AA-074-1981
Color (u.c. Pt-Co)	MENOR A 5	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbidez (UNT)	MENOR A 0.5	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH (unidades de pH)	7.20	NMX-AA-008-SCFI-2000
Nitrógeno NO ₃ (mgN-NO ₃ /L)	4.3	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	318	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales (mg/L)	532	NMX-AA-034-SCFI-2001
Carbonatos CO ₃ (mgCO ₃ /L)	MENOR A 6	AWWA 2320
Bicarbonatos HCO ₃ (ml HCO ₃ /L)	166.0	AWWA 2320
Bacterias Coliformes(NMP/100ml)	8	NOM-112-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	MENOR A 2	NOM-145-SSA1-1995 Apéndice Normativo B.2

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA

BA



DEPTO. DE SERVICIOS

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 160616/G01207
PROPORCIONADO POR: ING. HECTOR DE LEON
IDENTIFICADA COMO: PCU-7
DETERMINAR: LO QUE SE REPORTA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
SODIO (mg/L)	24	NMX-AA-051-SCFI-2001
POTASIO (mg/L)	1.5	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	149	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	263	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO (mg/L)	MENOR A 0.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
SELENIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
ARSENICO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO (mg/L)	MENOR A 0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA



FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA N. L. A 06 DE JULIO DE 2016

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanifcsp@yahoo.com

Anexo 2 Resultados de análisis del segundo muestreo

Quality Analysis ...



Innovative Technologies

Date Submitted: 06-Feb-17
Invoice No.: A17-01080
Invoice Date: 10-Feb-17
Your Reference:

UNIV. AUTONOMA DE NUEVA LEON - Mexico
Carr. A Cerro Prieto km 8,
Exhacienda de Guadalupe
Nuevo Leon
67700
Mexico

ATTN: Dr. Hector de Leon Gomez

CERTIFICATE OF ANALYSIS

6 Water samples were submitted for analysis.

The following analytical package(s) were requested:

Code 6 MB Hydrogeochemistry ICP/MS(HYDRGEO)

REPORT A17-01080

This report may be reproduced without our consent. If only selected portions of the report are reproduced, permission must be obtained. If no instructions were given at time of sample submittal regarding excess material, it will be discarded within 90 days of this report. Our liability is limited solely to the analytical cost of these analyses. Test results are representative only of material submitted for analysis.

Notes:

Values which exceed the upper limit should be analysed by Code 6 ICPOES. Samples showing dilution factor had to be diluted for analysis due to high total dissolved solids content. This dilution is taken into account. Detection limits will be elevated on these samples by the dilution factor. Effective October 2013 our Hydro-MS package has been modified with changes to the upper limits of some elements.

CERTIFIED BY:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Emmanuel Esemé".

Emmanuel Esemé, Ph.D.
Quality Control

ACTIVATION LABORATORIES LTD.
41 Bittern Street, Ancaster, Ontario, Canada, L9G 4V5
TELEPHONE +905 648-9611 or +1.888.228.5227 FAX +1.905.648.9613
E-MAIL Ancaster@actlabs.com ACTLABS GROUP WEBSITE www.actlabs.com

Results

Activation Laboratories Ltd.

Report: A17-01080

Analyte Symbol	Na	Li	Be	Mg	Al	Si	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Rb
Unit Symbol	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Lower Limit	5	1	0.1	2	2	200	30	700	1	0.1	0.1	0.5	0.1	10	0.005	0.3	0.2	0.5	0.01	0.01	0.03	0.2	0.005
Method Code	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
PCU-1	> 100000	14	< 0.1	37900	5	17000	4830	> 200000	< 1	< 0.1	1.8	0.8	3.2	100	0.128	18.8	5.9	68.6	< 0.01	0.03	0.57	4.1	1.95
PCU-3	82900	10	< 0.1	32800	6	15600	2380	186000	< 1	< 0.1	1.8	0.8	0.7	20	0.064	0.5	0.9	32.7	< 0.01	0.02	0.53	3.9	1.79
PCU-4	38700	8	< 0.1	27900	180	15000	4810	161000	< 1	0.3	5.9	3.4	62.5	850	0.427	1.2	2.4	23.9	0.11	0.04	1.11	3.5	9.48
PCU-5	> 100000	14	< 0.1	37700	36	17500	4160	> 200000	< 1	< 0.1	2.0	0.9	3.7	130	0.122	1.0	0.5	6.0	0.02	0.02	0.57	3.6	2.07
PCU-6	53800	9	< 0.1	30800	103	15500	2840	165000	< 1	< 0.1	3.1	1.3	23.6	290	0.206	1.0	1.3	15.9	0.05	0.03	0.66	3.5	4.25
PCU-7	30600	7	< 0.1	25200	91	12500	2320	143000	< 1	< 0.1	2.2	1.5	17.7	290	0.186	0.8	1.5	20.4	0.06	0.04	0.62	3.4	2.30

Results

Activation Laboratories Ltd.

Report: A17-01080

Analyte Symbol	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
Unit Symbol	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L							
Lower Limit	0.04	0.003	0.01	0.005	0.1	0.2	0.01	0.001	0.1	0.01	0.1	0.001	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Method Code	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS							
PCU-1	1980	0.056	0.13	0.023	1.4	< 0.2	0.06	< 0.001	0.4	0.12	< 0.1	0.400	32.4	0.025	0.024	0.004	0.018	0.004	0.001	0.006	< 0.001	0.006	0.001
PCU-3	1850	0.016	0.07	0.006	1.4	< 0.2	0.01	< 0.001	0.7	0.08	< 0.1	0.439	40.3	0.012	0.016	0.001	0.007	0.002	< 0.001	0.002	< 0.001	0.002	< 0.001
PCU-4	1560	0.307	0.16	0.018	2.0	< 0.2	0.15	< 0.001	0.5	0.21	< 0.1	0.785	65.4	0.312	0.542	0.071	0.288	0.064	0.013	0.064	0.009	0.053	0.010
PCU-5	1940	0.093	0.12	0.006	1.3	< 0.2	0.01	< 0.001	0.6	0.09	< 0.1	0.455	26.5	0.064	0.107	0.012	0.055	0.014	0.003	0.014	0.002	0.013	0.002
PCU-6	1720	0.178	0.16	0.014	1.4	< 0.2	0.12	< 0.001	0.7	0.27	< 0.1	0.494	50.7	0.154	0.275	0.038	0.170	0.042	0.008	0.038	0.005	0.029	0.006
PCU-7	1350	0.187	0.12	0.012	1.7	< 0.2	0.24	< 0.001	0.3	0.37	< 0.1	0.473	107	0.183	0.326	0.042	0.183	0.039	0.009	0.037	0.005	0.032	0.006

Results

Activation Laboratories Ltd.

Report: A17-01080

Analyte Symbol	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Hg	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Unit Symbol	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Lower Limit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.2	0.001	0.02	0.001	0.01	0.3	0.001	0.001
Method Code	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
PCU-1	0.005	< 0.001	0.007	0.001	0.004	< 0.2	< 0.001	0.02	0.136	2.49	< 0.3	0.003	2.37
PCU-3	0.002	< 0.001	0.002	< 0.001	0.002	< 0.2	< 0.001	0.03	0.096	0.28	< 0.3	0.002	2.36
PCU-4	0.027	0.004	0.022	0.003	0.004	< 0.2	< 0.001	0.06	0.122	2.22	< 0.3	0.013	2.04
PCU-5	0.008	0.001	0.010	0.007	0.003	< 0.2	< 0.001	0.02	0.177	0.18	< 0.3	0.009	2.30
PCU-6	0.015	0.002	0.012	0.001	0.003	< 0.2	< 0.001	0.04	0.113	1.07	< 0.3	0.010	2.21
PCU-7	0.016	0.002	0.013	0.002	0.002	< 0.2	< 0.001	0.03	0.099	1.03	< 0.3	0.010	1.87

Anexo 3 Resultados de análisis del tercer muestreo



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES URA"

MUESTRA NUMERO: 170519/G00943
CLIENTE: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
IDENTIFICACION ASIGNADA POR EL CLIENTE: PCU 1
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: LIQUIDA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
CARBONATOS (mg/L)	MENOR A 6	GRAVIMETRICO
BICARBONATOS (mg/L)	258.3	GRAVIMETRICO
CLORUROS (mg/L)	105.4	NMX-AA-073-SCFI-2001
SULFATOS (mg/L)	360	NMX-AA-074-1981
NITRATOS (mgN-NO ₃ /L)	8.2	NMX-AA-079-SCFI-2001
SODIO (mg/L)	118	EAA
POTASIO (mg/L)	51	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	33	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	200	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q. JESUS RODOLFO PÁEZ GARZA



SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L. A 30 DE MAYO DE 2017

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba y no podrá ser reproducido en forma parcial o total por ningún medio escrito o electrónico sin autorización del laboratorio.

Av. Pedro de Alba s/n
Cd. Universitaria C.P. 66400
San Nicolás de los Garza, N.L.
Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
Fax: 83 52 99 86
e-mail: uanlfcsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 170519/G00944
CLIENTE: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
IDENTIFICACION ASIGNADA POR EL CLIENTE: PCU 2
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: LIQUIDA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
CARBONATOS (mg/L)	MENOR A 6	GRAVIMETRICO
BICARBONATOS (mg/L)	283.5	GRAVIMETRICO
CLORUROS (mg/L)	118.5	NMX-AA-073-SCFI-2001
SULFATOS (mg/L)	410	NMX-AA-074-1981
NITRATOS (mgN-NO ₃ /L)	8.1	NMX-AA-079-SCFI-2001
SODIO (mg/L)	129	EAA
POTASIO (mg/L)	4.4	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	34.1	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	210	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESUS RODOLFO PÁEZ GARZA



SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 30 DE MAYO DE 2017
DEPTO. DE SERVICIOS PROFESIONALES

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba y no podrá ser reproducido en forma parcial o total por ningún medio escrito o electrónico sin autorización del laboratorio.

Av. Pedro de Alba s/n
Cd. Universitaria C.P. 66400
San Nicolás de los Garza, N.L.
Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
Fax: 83 52 98 86
e-mail: uanlfcgsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. BEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 170519/G00945
 CLIENTE: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 IDENTIFICACION ASIGNADA POR EL CLIENTE: PCU 3
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: LIQUIDA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
CARBONATOS (mg/L)	MENOR A 6	GRAVIMETRICO
BICARBONATOS (mg/L)	266.7	GRAVIMETRICO
CLORUROS (mg/L)	37.4	NMX-AA-073-SCFI-2001
SULFATOS (mg/L)	167.5	NMX-AA-074-1981
NITRATOS (mgN-NO ₃ /L)	7	NMX-AA-079-SCFI-2001
SODIO (mg/L)	28.3	EAA
POTASIO (mg/L)	1.4	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	25.7	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	129	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RÓDOLFO PÁEZ GARZA



FIRMA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 30 DE MAYO DE 2017

DEPTO. DE SERVICIOS PROFESIONALES

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba y no podrá ser reproducido en forma parcial o total por ningún medio escrito o electrónico sin autorización del laboratorio.

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanlfcsp@yahoo.com



UANL



□ FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 170519/G00946
 CLIENTE: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 IDENTIFICACION ASIGNADA POR EL CLIENTE: PCU 4
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: LIQUIDA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
CARBONATOS (mg/L)	MENOR A 6	GRAVIMETRICO
BICARBONATOS (mg/L)	271.9	GRAVIMETRICO
CLORUROS (mg/L)	43	NMX-AA-073-SCFI-2001
SULFATOS (mg/L)	142.5	NMX-AA-074-1981
NITRATOS (mgN-NO ₃ /L)	7.5	NMX-AA-079-SCFI-2001
SODIO (mg/L)	28.5	EAA
POTASIO (mg/L)	1.6	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	25.74	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	135	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA



SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 30 DE MAYO DE 2017

DEPTO. DE SERVICIOS PROFESIONALES

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba y no podrá ser reproducido en forma parcial o total por ningún medio escrito o electrónico sin autorización del laboratorio.

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanficssp@yahoo.com



UANL



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS □ SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS □ LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 170519/G00947
 CLIENTE: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 IDENTIFICACION ASIGNADA POR EL CLIENTE: PCU 6
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: LIQUIDA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
CARBONATOS (mg/L)	MENOR A 6	GRAVIMETRICO
BICARBONATOS (mg/L)	284.5	GRAVIMETRICO
CLORUROS (mg/L)	51.8	NMX-AA-073-SCFI-2001
SULFATOS (mg/L)	187.5	NMX-AA-074-1981
NITRATOS (mgN-NO ₃ /L)	7.4	NMX-AA-079-SCFI-2001
SODIO (mg/L)	39.9	EAA
POTASIO (mg/L)	1.5	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	28.0	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	145.0	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L. Q. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA


 FIRMA
 SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 30 DE MAYO DE 2017
 DEPTO. DE SERVICIOS PROFESIONALES

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba y no podrá ser reproducido en forma parcial o total por ningún medio escrito o electrónico sin autorización del laboratorio.

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 52 98 90 (Directo)
 Fax: 83 52 99 86
 e-mail: uanifcosp@yahoo.com



UANL



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS SUB-DIRECCIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS LABORATORIO DE SERVICIOS PROFESIONALES "ING. SEVERO G. FLORES LIRA"

MUESTRA NUMERO: 170519/G00948
 CLIENTE: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 IDENTIFICACION ASIGNADA POR EL CLIENTE: PCU 7
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: LIQUIDA

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN O COMPUESTO	VALOR OBTENIDO	METODOLOGIA UTILIZADA
CARBONATOS (mg/L)	MENOR A 6	GRAVIMETRICO
BICARBONATOS (mg/L)	233.1	GRAVIMETRICO
CLORUROS (mg/L)	38.7	NMX-AA-073-SCFI-2001
SULFATOS (mg/L)	107.5	NMX-AA-074-1981
NITRATOS (mgN-NO ₃ /L)	7.6	NMX-AA-079-SCFI-2001
SODIO (mg/L)	25.1	EAA
POTASIO (mg/L)	2.0	NMX-AA-051-SCFI-2001
MAGNESIO (mg/L)	23.2	NMX-AA-051-SCFI-2001
CALCIO (mg/L)	121	NMX-AA-051-SCFI-2001

REVISO: L.Q.I. JESÚS RODOLFO PÁEZ GARZA



SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L. A 30 DE MAYO DE 2017

DEPTO. DE SERVICIOS PROFESIONALES

Este reporte solo afecta la muestra sometida a prueba y no podrá ser reproducido en forma parcial o total por ningún medio escrito o electrónico sin autorización del laboratorio.

Av. Pedro de Alba s/n
 Cd. Universitaria C.P. 66400
 San Nicolás de los Garza, N.L.
 Tel.: 83 29 40 10 ext. 6330, 6331
 Tel.: 83 62 98 90 (Directo)
 Fax: 83 62 99 86
 e-mail: uanlcspp@yahoo.com