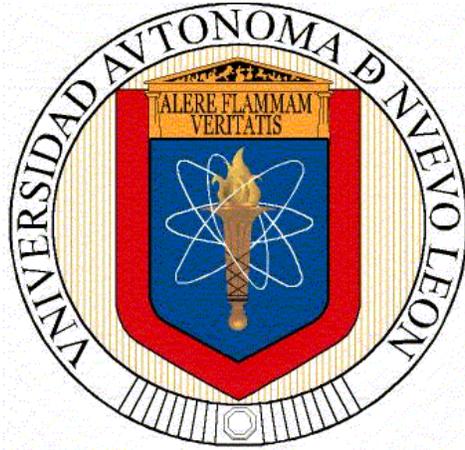


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**TESIS**

**IMPACTO DE LA SEQUÍA EN EL ACUÍFERO DEL CENTRO DE  
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA (CPA)/UANL, LINARES, N.L.**

**PRESENTA**

**ING. ANGÉLICA MARÍA MARTÍNEZ SOLÍS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**OCTUBRE, 2016**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**IMPACTO DE LA SEQUÍA EN EL ACUIFERO DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN  
AGROPECUARIA (CPA)/UANL, LINARES, N.L.**

PRESENTA  
**ING. ANGÉLICA MARÍA MARTÍNEZ SOLÍS**

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**Vo. Bo.**  
**DIRECTOR DE TESIS**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Héctor de León Gómez", written over a horizontal line.

**Dr. Héctor de León Gómez**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**IMPACTO DE LA SEQUÍA EN EL ACUIFERO DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN  
AGROPECUARIA (CPA)/UANL, LINARES, N.L.**

PRESENTA

**ING. ANGÉLICA MARÍA MARTÍNEZ SOLÍS**

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Vo. Bo.

**COMITÉ DE REVISIÓN**

**Dr. Héctor de León Gómez**

**Director de Tesis**

**M.C. Efraín Alva Niño**

**Co-Director de Tesis**

**Dr. José Rosbel Chapa Guerrero**

**Co-Director de Tesis**

**“IMPACTO DE LA SEQUÍA EN EL ACUIFERO DEL CENTRO DE  
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA (CPA)/UANL, LINARES, N.L.”**

# DEDICATORIA

*A **Dios** por darme la oportunidad de vivir esta hermosa vida, por guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no caer ante los problemas y adversidades.*

*A **mis abuelos** † que más que eso fueron mis padres, por su amor incondicional, por esas manos de consuelo, por ese abrazo protector les dedico esta tesis con todo mi amor hasta el cielo.*

*A **mis padres**, mi mamá y mi papá, que doy gracias a Dios por tenerlos en esta etapa importante en mi vida, ustedes me dieron su apoyo y su amor, me forjaron como la persona que soy actualmente, heredándome lo mejor de ustedes, mejores padres no pude tener. LOS AMO.*

*A **mi prometido** que siempre estuvo para apoyarme cuando más lo necesitaba, dándome ánimos para seguir adelante y ser la persona que eres conmigo, mi amigo y confidente. Y sin más que decir eres una persona demasiado importante en mi vida, la cual he decidido pasar contigo: ¡TE AMO!*

*A mi pequeña gran familia que siempre he teniendo su apoyo incondicional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Facultad de Ciencias de la Tierra-UANL; los planteles académicos y administrativos por su valiosa cooperación para el desarrollo de esta tesis.

A la Comisión Nacional del Agua (CNA), en especial al Ing. Doroteo Treviño Puente, por brindarme su ayuda en la recolección de datos climatológicos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (CONACyT), que financiaron las etapas de trabajo en campo y educación en mi estadía en la FCT.

Al Centro de Producción Agropecuario-UANL y Facultad de Ciencias Forestales, por su apoyo en las instalaciones para el desarrollo de esta investigación.

A PAICYT 2006 / CT1202-06 por otorgarme los datos necesarios para realización de las cartas piezométricas.

Al Dr. Héctor de León Gómez, por su entrega en esta investigación, misma que me dio la confianza para abandonar los miedos y enriquecerme de manera profesional y técnica. MUCHAS GRACIAS.

Al comité de revisión de tesis, M.C. Efraín Alva Niño y Dr. José Rosbel Chapa Guerrero, por sus observaciones y herramientas clave en la realización de mi investigación.

A las personas que me acompañaron a campo (Lucy, Glenda, Berenice y Luis Fernando y Carlos Fernando), en verdad agradezco que estuvieron ahí para mí.

A los amigos (Jessica, Roció, Brenda, Edgar, Immer) que conocí durante estos 2 años, por la ayuda que me otorgaron cuando requería consejos.

A mis amigas de carrera que siempre estuvieron pendiente de mi trabajo: Lucy, Wendy, Glenda, Dorina, por su apoyo moral y ánimo. A una amiga en especial, por estos 17 años de amistad, por tu confianza y amor, ¡Gracias! Marisela Gzz.

Y a todas las personas que en algún momento brindar su apoyo para realización de esta tesis pero que omito involuntariamente, ¡MUCHAS GRACIAS!

# RESUMEN

La sequía ha sido un factor de desequilibrio en agricultura, ganadería y socioeconómico. Por tanto, la importancia de su conocimiento es vital, para saber cómo afrontar o tomar medidas de prevención.

El estudio se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en el Centro de Producción Agropecuaria (CPA). En el CPA, se encuentra ubicados más 80 pozos, con profundidades de hasta 120 m, perforados en los años 85's, cuya finalidad fue la de abastecer las actividades agrícolas, ganaderas y de educación de la FCF-UANL.

Esta investigación pretende evaluar los efectos que han tenido los acuíferos de grietas, en respuesta a un periodo de sequía registrada en los últimos años, y así observar algún cambio de movimiento de dirección del agua subterránea y a partir de esto poder establecer maneras de gestión del agua para la manutención del ganado, riego agrícola y la FCF-UANL.

En el área CPA se han observado descensos significativos en el nivel freático por más de 30 m (com. pers. De León- Gómez H., 2014), como consecuencia del periodo de sequía de años anteriores; para comprobar lo anterior se requirió llevar a cabo estudios con metodologías hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas, con lo cual se podrán estudiar los cambios que ha sufrido el acuífero, su impacto en las actividades agrícolas y ganaderas del CPA y finalmente proponer medidas de sostenibilidad del agua subterránea del CPA-UANL.

Se realizó el análisis de 10 cartas piezométricas, elaborando en diferentes periodos y de sequías a lo largo de 30 años. Información tomada de trabajos realizados en el área de estudio por Rangel Rodríguez, 1989 y del Proyecto PAICYT 2006, De León Gómez 2011 y el actual trabajo realizado dentro de los cuales se comparará las cartas piezométricas, destacando las diferencias entre ellos y poder observar el efecto que se ha tenido a través del tiempo.

# ABSTRACT

Drought has been considered since then, an important factor for disequilibrium of agriculture, breeding cattle, socioeconomic and so on including humanity. Therefore it is very vital and important knowing and understanding the right way to face and apply preventive means.

This thesis-work has been developed and carried out at the Autonomie University of Nuevo Leon, (UANL), Installation at the Agropecuary Production Center (CPA), where more than 80 diggered-wells, drilled until about 120 meters, during last 30 years. All of them were drilled for satisfying the need of cattle, agriculture and students at the School of Forestry Sciences of the (FCF-UANL).

This investigation attempts to evaluate the effects of the fractures on the aquifer, as a consequence of a recent period of dryness, and from this understand whether some changes occurred, specially in the direction of the movement of the subsurface or deeper water what will allow a better administration for necessary activities including people of the (FCF-UANL).

At the CPA area the freatic level has being observed to vary for more than 30 mts (Personal communication by De León Gómez H. 2014), as a consequence of the dryness period since anterior years. For proving the anterior proposition, it is neded the use of hydrologic, geologic and hydrogeologic methodologies, a.o; with these methodologies it is possibly to determine the aquifer changes, its impact on the aquifer, the cattle and the agricultural activities by the CPA. Finally, after this kind of studies would be possibly to propose sustentability activities for the subsurface water at the CPA-UANL.

Ten piezometric chards were analized, moreover dryness was carfully observed during the time these were present. (Information from Rangel Rodríguez, 1989; De León Gómez, H. 2011. Proyecto PAICYT 2006). Following Thesis work has been done for comparing different piezometric chards, identifying the differences among them and observing the effects of dryness along the time.

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	13
1.2 HIPÓTESIS .....	14
1.3 OBJETIVO GENERAL .....	15
1.4 OBJETIVOS PARTICULARES Y METAS .....	15
1.5 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO .....	16
1.6 FISIOGRAFÍA .....	18
<b>2. GENERALIDADES .....</b>	<b>20</b>
2.1 CLIMA Y VEGETACIÓN .....	20
2.2 PRECIPITACIÓN .....	22
2.3 SEQUÍA .....	27
2.3.1 <i>Tipos de sequía</i> .....	29
2.3.1.1 Sequía meteorológica: .....	29
2.3.1.2 Sequía agrícola: .....	29
2.3.1.3 Sequía hidrológica: .....	29
2.3.1.4 Sequía socio-económica: .....	30
2.3.2 <i>Intensidad de sequía</i> .....	30
2.4 CAUSAS DE LA SEQUÍA .....	32
2.4.1 <i>Origen Natural</i> .....	32
2.4.1.1 Oscilaciones de “El Niño” .....	32
2.4.1.2 Ubicación geográfica .....	32
2.4.2 <i>Origen antropogénico</i> .....	33
2.5 HIDROLOGÍA .....	34
<b>3. GEOLOGÍA .....</b>	<b>36</b>
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL .....	36
3.1.1 <i>Sierra Madre Oriental y su estratigrafía</i> .....	36
3.1.2 <i>Planicie Costera del Golfo de México y su estratigrafía</i> .....	37
3.2 GEOLOGÍA LOCAL .....	40
3.2.1 <i>Estratigrafía</i> .....	41
3.2.1.1 Formación Méndez .....	41
3.2.1.2 Conglomerados del Plioceno .....	42
3.2.1.3 Cuaternario .....	42
3.2.1.3.1 Los suelos aluviales .....	42
3.2.1.3.2 Caliche .....	46
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO Y SUS ALREDEDORES .....	46

<b>4. HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>49</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.....	49
4.2 TIPOS DE ACUÍFERO Y SU LITOLOGÍA EN EL ÁREA.....	50
4.3 HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	52
4.4 METODOLOGÍA HIDROGEOLÓGICA .....	56
<b>5. RESULTADOS Y ANALISIS DE LA PIEZOMETRIA .....</b>	<b>65</b>
5.1 PIEZOMÉTRICA .....	65
5.2 CONFIGURACIÓN PIEZOMÉTRICA.....	65
5.3 MONITOREO TEMPORAL .....	66
5.4 PIEZOMÉTRIA DE LOS 5 PERIODOS DE SEQUÍA DEL PERIODO 1989, 2006, 2011 Y 2014. ....	67
5.4.1 <i>Análisis del periodo de sequías: 1989, 2006, 2011 y 2015</i> .....	69
5.5 PIEZOMETRÍA DEL PROYECTO PAICYT 2006 / CT1202-06.....	75
5.5.1 <i>Análisis Piezométrico proyecto PAICYT 2006 CT1202-06</i> .....	76
5.4 PIEZOMETRÍA DEL PERIODO DE MEDICIONES DE TESIS (2014-2015) .....	80
5.4.1 <i>Análisis de Piezometría 2014-2015</i> .....	82
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>7. PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA .....</b>	<b>88</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1.1	Rangos de las características e impactos de los eventos naturales peligrosos y sus impactos, en donde el 1 es el de mayor peligro hasta el 5 el de menos peligro, ocupando el primer lugar la sequía, (Bryant, 2005).....	2
Tabla 1.2	Los 10 principales eventos globales climatológicos (NOAA 2012).....	7
Tabla 1.3	Grandes sequías en México destacando a Nuevo León con una sequía severa (CENAPRED, 2001).....	10
Tabla 1.4	Sequías registradas históricamente en Nuevo León 1868-2012, indicando el año 2011-2012 como el más afectado, (Ortega-Gaucin, 2013).....	12
Tabla 4.1.	Localización de los aprovechamientos hidráulicos de los datos medidos en campo.....	58
Tabla 4.2	Datos hidrogeológicos de cuatro trabajos analizados (1989,2006, 2011 y 2004).....	59
Figura 1.1	Anomalías de temperaturas mundial en la superficie terrestre y del océano con respecto al periodo promedio de 1961-1990.....	4
Figura 1.2	Anomalías de precipitación de Enero-Diciembre, 2011, con respecto al promedio base de 1991-1990 (NOAA 2015).....	6
Figura 1.3	Mapa de Norteamérica mostrando las diferentes sequías, desde la sequía Excepcional (D4) hasta la Anormalmente Seco (D0) (NOAA 2015).....	11
Figura 1.4	Localización del área de estudio CPA, al sureste de Linares, Nuevo León (INEGI, 2015).....	17
Figura 1.5	Provincias Fisiográficas de Nuevo León (INEGI, 2015)...	19

Figura 2.1.	Temperatura media anual de la Estación climatológica, Camacho del municipio de Linares, 1985-2014, CONAGUA, 2015.....	21
Figura 2.2	Temperatura media anual de la Estación climatológica Benítez-FCF de los años 1985-2015, CONAGUA, 2015..	22
Figura 2.3	Gráfica de precipitación Nacional y Estatal de Nuevo León (CONAGUA, 2015).....	24
Figura 2.4	Diagrama de Precipitación de las estaciones Camacho (19035), San Francisco (19100), FCF-Benítez (19112), Las Crucitas (19147) y La Granja (19149), en un periodo de 30 años. Las franjas color celeste son los años con altas precipitaciones, mientras que, las franjas color amarillo, son en años de precipitaciones por debajo del promedio.....	26
Figura 2.5	Ubicación de estaciones climatológicas por su clave Camacho (19035), San Francisco (19100), FCF-Benítez (19112), Las Crucitas (19147) y La Granja (19149).....	27
Figura 2.6	Precipitación mensual de los años 1985-2015 de 5 estaciones climatológicas. Información de CONAGUA 2015.....	28
Figura 2.7	Gráfica de la sequía nacional en el país con su respectiva clasificación de intensidad de sequía y su evolución a través de los años (CONAGUA, 2015).....	31
Figura 2.8	Trópicos de Cáncer que pasa por la República Mexicana, a la altura de los desiertos de Sahara, Árabe (CONAGUA, 2011).....	33
Figura 2.9	Localización de la subcuenca Arroyo Camacho en donde se encuentra el área de estudio, marcada como referencia se tiene la Cd. de Linares.....	35
Figura 3.1	Formaciones que afloran en el área, Michalzik, 1988.....	39

Figura 3.2	Provincias fisiográficas que rodean el área del municipio de Linares remarcada con rojo, abarcando la SMO, PCGM y la Gran Llanura o Planicie Norteamericana (GPNA; INEGI, 2015) .....	40
Figura 3.3	Geología local del municipio de Linares, sus Terrazas fluviales de la PCGM, modificado de Ruíz, 1990 y Dávila-Porcel, 2011.....	43
Figura 3.4	Afloramiento, dentro de la CPA, de la <i>Formación Méndez</i> en campo, dentro del área de estudio, altamente fracturada.....	44
Figura 3.6	Depósitos de material aluvial proveniente de la Sierra Madre Oriental. 1) Capa vegetal (humus); 2) Suelo reciclado; 3) Aluviones (Canal de Gravas y conglomerados); 4) Lutita intemperizada de la Fm. <i>Méndez</i> ; 5) Lutita del Fm. <i>Méndez</i> , en el área del CPA...	47
Figura 4.1	Descripción de cada uno de los tipos de acuíferos, (1) Acuífero de poros; (2) Acuífero de grutas; (3) Acuífero Kársitico, la cantidad de agua que entra y sale esta representada por la cantidad de flechas que se presentan en el inicio y fin (Werner, 1996).....	51
Figura 4.2	Diagrama de Piper elaborado por los datos del proyecto PAICYT- CT1202-05 (2006), del carácter químico de las aguas subterráneas en el CPA.....	54
Figura 4.3	Diagrama de Piper, elaborado por Rangel-Rodríguez (1989), del carácter químico de las aguas subterráneas del CPA.....	55
Figura 4.4	Instrumentos utilizando en campo para la medición de pozos: a) GPS (Magellan), b) Altímetro de precisión (SOKIA).....	56
Figura 4.5	Sonda hidrogeológica Solinst de 100 m del Laboratorio de Ingeniería Geológica e Hidrogeología.....	57

Figura 4.6	Proceso para la medición de los pozos. a) Se verifica que no exista riesgo y tenga agua el pozo, b) se introduce la sonda esta emitirá un sonido al tocar el espejo del agua, c) limpiar la sonda, para que no genere ruidos en los siguientes pozos.....	62
Figura 4.7	Imagen satelital de la ubicación de las estaciones climatológicas circundantes en el área de estudio (marcado con verde; Google Earth 2015 e INEGI).....	63
Figura 4.8	Localización del aprovechamiento hidráulico del Centro de Producción Agropecuaria/CPA.....	64
Figura 4.9	Registro fotográfico de los pozos medidos en el Centro de Producción Agropecuario (ANEXO 1).....	102
Figura 5.1	Grafica precipitaciones de los años 2014-2015 de 3 estaciones climatológicas (CONAGUA, 2015).....	67
Figura 5.2	Carta Piezométrica de la época de sequía de Rangel-Rodríguez (1989), Agosto, 1987, del CPA.....	71
Figura 5.3	Carta Piezométrica de la época de sequía del proyecto PAICYT (2006), Mayo, 2006, del CPA.....	72
Figura 5.4	Carta Piezométrica de la época de sequía del año 2011, la gran sequía (2011), del CPA.....	73
Figura 5.5	Carta Piezométrica de la época de sequía, Julio, 2014 del CPA.....	74
Figura 5.6	Carta Piezométrica de la época ordinaria del proyecto PAICYT (2006), Marzo, 2006 del CPA.....	77
Figura 5.7	Carta Piezométrica de la época de lluvia del proyecto PAICYT (2006), Agosto, 2005 del CPA.....	78
Figura 5.8	Carta Piezométrica de la época de sequía del proyecto PAICYT (2006), Mayo, 2006 del CPA.....	79
Figura 5.9	Carta Piezométrica de la época de sequía, Julio, 2014 del CPA.....	83

Figura 5.10	Carta Piezométrica de la época de sequía, Julio, 2014 del CPA.....	84
Figura 5.11	Carta Piezométrica de la época ordinaria, Diciembre, 2014 del CPA.....	85
Figura 7.1	Diagrama del proceso de planeación para el fenómeno sequía de PMPMS 2013.....	89

# 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la sequía ha sido un factor de desequilibrio para la agricultura, ganadería y socioeconómico en donde puede llegar a afectar y amenazar la supervivencia de la humanidad. Esta ha sido una de algunas de las causas de migraciones masivas de la humanidad, generando también hambrunas y guerras. En la actualidad se están implementando diversas estrategias de respuesta y mitigación que permitan reducir el impacto del fenómeno. Por lo tanto, la importancia de su conocimiento es vital, para así saber cómo afrontar o tomar medidas de prevención (Ortega-Gaucin, 2013).

La sequía, se considera como un fenómeno natural que afecta a la población. Así como otros fenómenos naturales, la sequía es uno de los fenómenos menos comprendido e igual de peligroso. Dentro de los riesgos naturales que afectan a una sociedad, la sequía es la que menos atención recibe por parte de autoridades, esto debido a que el fenómeno puede ser muy lento (Bryant, 2005).

Bryant (2005), en su tabla de eventos naturales peligrosos coloca a la sequía en primer lugar. Esta se califica de acuerdo con las características de riesgo como la expresión de grado de severidad, la longitud del evento, total de superficie afectada, total de pérdidas económicas, los efectos sociales, impacto a largo plazo, la rapidez del evento y la ocurrencia de desastres naturales asociados (Tabla 1.1).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012), observaron que el año 2011 se presentaron fenómenos climáticos muy extremos en todo el mundo, hubo precipitaciones abundantes relacionadas al fenómeno de “La Niña”, por lo que muchos lugares de la tierra padecieron inundaciones, mientras que en otras zonas se sufrieron intensas sequías como África oriental y Norteamérica; el deshielo del Ártico aumento; en Estados Unidos se presentaron los tornados más destructivos en la historia.

# 1. INTRODUCCIÓN

Rango de las características e impactos de los eventos naturales peligrosos										
1-mayor o más significativo 5- menor o menos significativo										
Orden global	Evento	Grado de severidad	Longitud de evento	Extensión territorial	Pérdida de vidas	Pérdidas económicas	Efecto social	Impacto a largo plazo	Frecuencia del evento	Ocurrencia de peligros asociados
1	Sequía	1	1	1	1	1	1	1	4	3
2	Huracán	1	2	2	2	1	5	1	5	1
3	Inundación regional	2	2	2	1	1	1	2	4	3
4	Terremoto	1	5	1	2	1	1	2	3	3
5	Erupción volcánica	1	4	4	2	2	2	1	3	1
6	Tormenta Extra-Tropical	1	3	2	2	2	2	2	5	3
7	Tsunami	2	4	1	2	2	2	3	4	5
8	Incendio Forestal	3	3	3	3	3	3	3	2	5
9	Suelos expansivos	5	1	1	5	4	5	3	1	5
10	Aumento de nivel de mar	5	1	1	5	3	5	1	5	4
11	Témpanos de hielo	4	1	1	4	4	5	5	2	5
12	Tormenta de polvo o arena	3	3	2	4	4	4	5	2	5
13	Deslizamientos de tierra	4	2	2	4	4	4	5	2	5
14	Erosión de playa	5	2	2	5	4	4	4	1	5
15	Avalancha de escombros	2	5	5	3	4	3	5	1	5
16	Arrastre y soliflucción	5	1	2	5	4	5	4	2	5
17	Tornado	2	5	3	4	4	4	5	2	5
18	Nevada	4	3	3	5	4	4	5	2	4
19	Hielo en costa	5	4	1	5	4	5	4	1	5
20	Inundación repentina	3	5	4	4	4	4	5	1	5
21	Tormenta eléctrica	4	5	2	4	4	5	5	2	4
22	Rayo	4	5	2	4	4	5	5	1	5
23	Ventisca	4	3	4	4	4	5	5	1	5
24	Olas oceánicas	4	4	2	4	4	5	5	3	5
25	Tormenta de granizo	4	5	4	5	3	5	5	1	5
26	Lluvia helada	4	4	5	5	4	4	5	1	5
27	Vientos fuertes localizados	5	4	3	5	5	5	5	1	5
28	Subsidencias	4	3	5	5	4	4	5	3	5
29	Flujos de lodo y derrubios	4	4	5	4	4	5	5	4	5
30	Flujos asistidos por aire	4	5	5	4	5	5	5	2	5
31	Caídos de rocas	5	5	5	5	5	5	5	1	5

Tabla 1.1 Rangos de las características e impactos de los eventos naturales peligrosos y sus impactos, en donde el 1 es el de mayor peligro hasta el 5 el de menos peligro, ocupando el primer lugar la sequía (Bryant, 2005)

## 1. INTRODUCCIÓN

El año 2011, registro un aumento  $0.40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.09$  sobre el promedio anual, en relación a lo establecido en el periodo 1961-1990, que corresponde a  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo cual lo coloca como el onceavo año más caliente (Figura 1.1; NOAA, 2016).

La Niña, se define por presentar aguas más frías de lo normal, en el este y centro ecuatorial del Océano Pacífico, que afecta los patrones del clima en todo el mundo. Una fase relativamente fuerte de este fenómeno, abrió el año 2011, para luego disiparse en la primavera y así re-emergió en octubre permaneciendo hasta el final del año, (NOOA, 2016).

En el 2011, pocas áreas terrestres experimentaron temperaturas inferiores a la media. Estas fueron en: el norte de Australia, algunas partes orientales de China, la península de Indochina, las regiones limitantes con la federación de Rusia y el extremo oeste de Estado Unidos. Por otra parte, las temperaturas de los océanos se situaron por debajo de la media, en grandes zonas del Pacífico central y oriental, como resultado del fenómeno de La Niña (OMM, 2012).

La temperatura global del 2011, en general en Europa y norte-centro de Asia, presentaron una elevación de la temperatura, por lo que fue el cuarto año más caliente registrado en la región de norte de Europa y el noveno en el Mediterráneo, mientras que el Reino Unido fue el segundo año más caluroso. Por otro lado, en Irlanda fue el verano más frío desde 1962, en Noruega fue el año más cálido, desde que se comenzaron los registros; en general las temperaturas fueron por encima del promedio en Europa (OMM, 2012).

En gran parte de Norteamérica, las temperaturas estuvieron por encima de la media. En Canadá el 2011 fue el noveno año más caluroso registrado, en la región de Estados Unidos, las temperaturas arrojaron valores superiores al promedio en las dos terceras partes del oriente del país y casi normales en la parte restante. Para Estados Unidos el 2011, fue el vigésimo segundo año más caliente desde que se llevan registros, algunas de las regiones afectadas son: Delaware, Texas, Luisiana, Oklahoma y Nuevo México, registrando altas temperaturas. En América Central, México y sur de Texas fue un año con altas temperaturas, se padecieron grandes sequías.

## 1. INTRODUCCIÓN

En América del Sur, no fue la excepción, se situaron temperaturas ligeramente por encima del promedio. En Argentina ese año fue el onceavo año más calurosos y con un invierno muy frío. Mientras en África, las temperaturas no fueron tan elevadas como en el 2010, esto debido a las lluvias que se registraron a finales del 2010 e inicios del 2011, lo cual hizo que este último año fuera más fresco. Para la región del Sahara y la Península Arábiga fue el tercer año con las más altas temperaturas de las que se tenga registro (OMM, 2012).

### Anomalías de temperaturas de Enero-Diciembre 2011

(Con respecto a periodo promedio de 1961-1990)

National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA

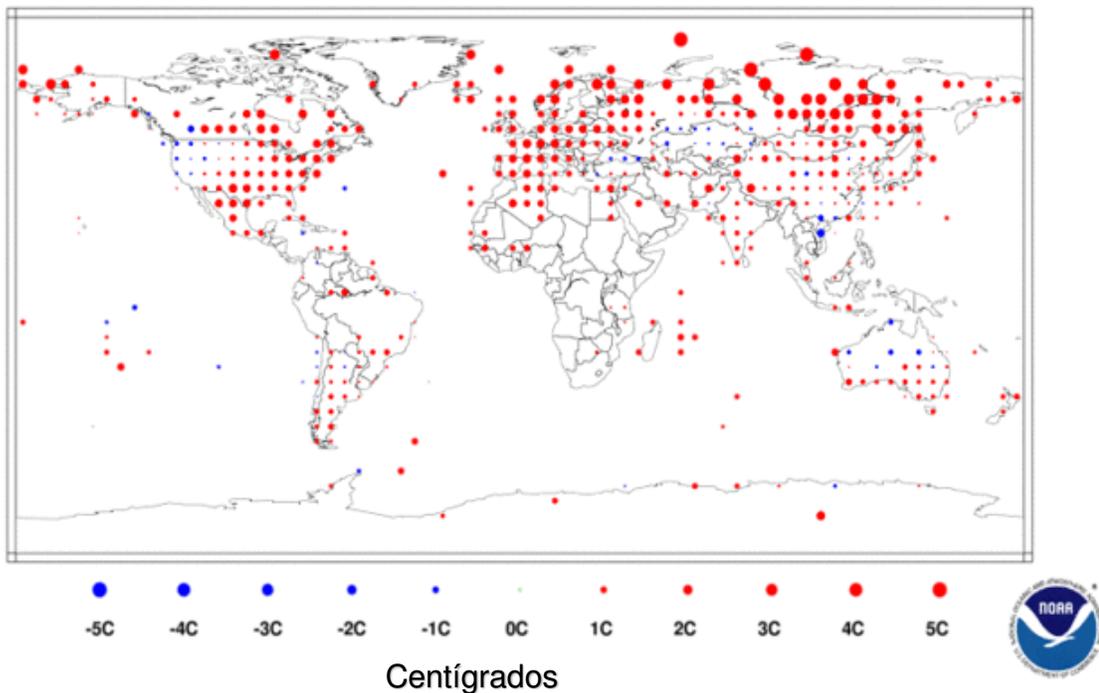


Figura 1.1 Anomalías de temperaturas mundial en la superficie terrestre y del océano con respecto al periodo promedio de 1961-1990 (NOAA, 2016)

En la siguiente tabla se muestran los eventos climáticos más relevantes del año 2011, entre los cuales afectaron a gran cantidad de poblaciones tanto humana como animal, así mismo de manera económica. Esta tabla, da una idea de la

## 1. INTRODUCCIÓN

variabilidad de clima en cada región, dando a conocer el efecto que tiene  $0.40^{\circ}\text{C}$  sobre la media normal. Dentro de los 10 eventos de tiempo/clima más relevante del año, México se encuentra ocupando el noveno lugar con una sequía excepcional (véase en el capítulo 2- 2.3.2), mostrando que fue un evento de largo plazo comenzando a finales del 2010, culminado el 2011, surgiendo ciertas preguntas como: ¿Por qué no se actuó a tiempo? ¿Cómo saber si la sequía nos va afectar? ¿En qué momento será la sequía un problema grave? (Tabla 1.2).

Según el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC) de los Estados Unidos, el promedio mundial de precipitaciones terrestres del 2011, fue el segundo más elevado que se tenga registro con 46 mm, por encima del promedio de 1961-1990, el único año que arrojó con valor superior fue el 2010 con 52mm por encima de lo normal. A pesar de esto se observaron fuertes contrastes entre las regiones húmedas y secas (Figura 1.2).

Entre los territorios afectados por fuertes lluvias fueron partes de Australia, Japón, Filipinas, Indonesia, África meridional, zonas de Brasil, Colombia y Pakistán e India occidental, centro-norte y noreste de EU y el noroeste de Europa; sufrieron graves inundaciones. De lo contrario los territorios que padecieron de lluvias fueron Texas y el norte de México, grandes zonas de Europa y la mayor parte de China meridional. En general la precipitación varió enormemente en todo el mundo (Figura 1.2; NOAA, 2016; OMM, 2012).

En México, la sequía ha afectado en gran manera, teniendo como consecuencias la migración de la población humana y ganadera o en caso extrema hasta la muerte. Los estados territoriales más afectados en México están ubicados en el norte, en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala (CENAPRED, 2001).

## 1. INTRODUCCIÓN

### Anomalías de Precipitación de Enero-Diciembre 2011

(Con respecto a periodo promedio de 1961-1990)

National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA

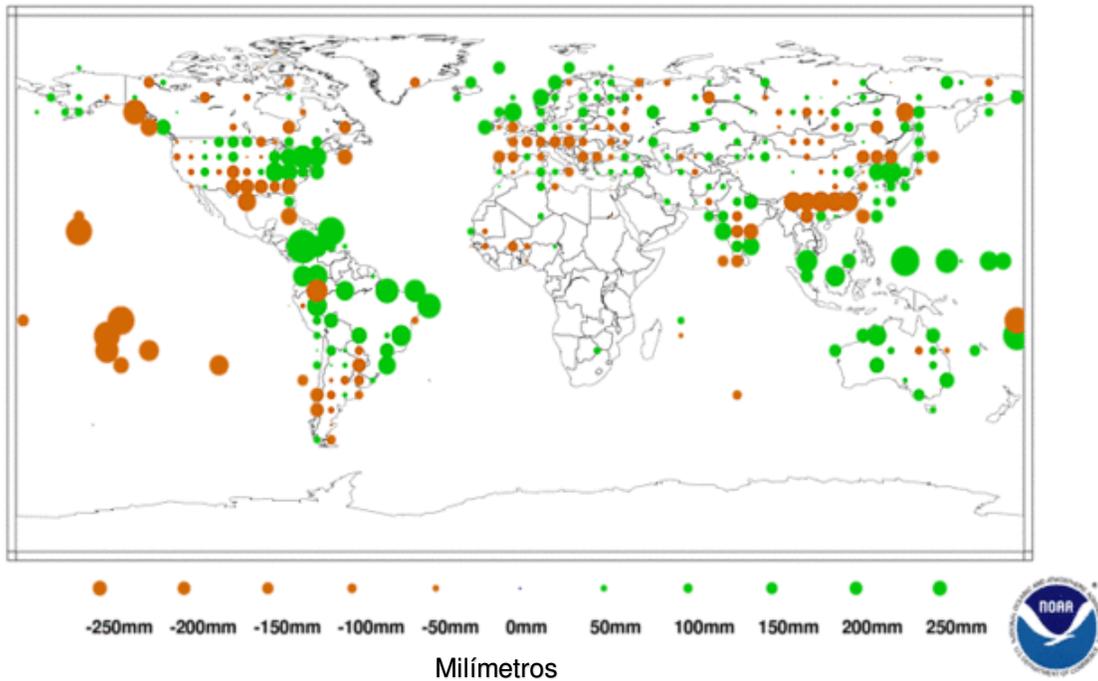


Figura 1.2 Anomalías de precipitación de Enero-Diciembre, 2011, con respecto al promedio base de 1991-1990 (NOAA 2015)

Desde tiempos antiguos han ocurrido sequías de gran magnitud en México; así lo indican algunos códices aztecas y las narraciones coloniales. En los últimos años, se han registrado en México cuatro grandes periodos de sequías, estos son: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996 (CENAPRED, 2001). En la Tabla 1.3 muestra la sequía de los estados de México durante los periodos antes mencionados, en donde se puede observar a Nuevo León con sequía severa (véase en el capítulo 2- 2.3.2), haciendo a zonas de este estado, áreas vulnerables.

Los historiadores dividen a las sequías por épocas y puntos geográficos, entre más se remonten al pasado los datos serán menos confiable. Aquellas áreas que se encontraban cerca de la civilización, se tomaban en cuenta, mientras que las áreas más alejadas de esta no. A pesar de sus limitaciones, su valor cronológico es de importancia, debido a que nos permite saber la recurrencia del evento (Florescano & Swan, 1995).

## 1. INTRODUCCIÓN

Tabla de los 10 principales eventos globales tiempo/clima del 2011			
Rango	Evento	Tiempo	Descripción del evento Global
1	Sequia, este de África	A lo largo del 2011	Sequia en África incluyendo Somalia, Etiopía, Eritrea, Kenia y Djibouti fue una de las peores en décadas. Se estimaron 10-11 millones de personas afectadas. Se declaró en zona de desastre por primera vez desde 1992.
2	Inundación, Tailandia	Julio-Octubre, 2011	De las peores inundaciones desde 1942, afectando a 9 millones de personas. La inundación comenzó desde el norte hasta el sur, llegando finalmente a Bangkok.
3	Inundación, hacia el este de Australia	Verano Austral (Diciembre 2010-Febrero 2011)	Fuertes lluvias frecuentes y persistentes condujeron a graves inundaciones a través del este de Australia. La inundación fue uno de los más significativos en la Australia.
4	Double-Dip La Niña	A lo largo del 2011	El 2011 comenzó en medio de una relativamente fuerte y duradera evento de La Niña. Se debilitó en un estado de ENSO-neutral (según la NOAA's) a mediados de año. Sin embargo, a finales del año, La Niña se había restablecido. Muchos cambios climáticos fueron consistentes con La Niña.
5	Inundación repentina, Brasil	Enero 6-12, 2011	Las fuertes lluvias causaron inundaciones y deslizamientos a través del sureste de Brasil. Este fue uno de los peores desastres naturales en la historia de Brasil. Al menos 830 personas murieron.
6	Tormenta Tropical Washi (Sendong)	Diciembre 16-17, 2011	La tormenta tropical "Washi" golpeó el sur de la isla Filipina de Mindanao, y fallecieron por lo menos 1250 personas. Los daños iniciales se estimaron a \$23 millones de dólares. Entre 1978 y 2010, solo 15 ciclones tropicales ocurren (Oeste del Pacífico) en esta cuenca durante Diciembre y solo dos tocaron tierra.
7	Extensión del hielo marino Ártico	sep-11	La extensión mínima de hielo marino en el 2011 (9 de septiembre, 4.33 millones de kilómetros cuadrados) fue el segundo más pequeño (desde 2007) desde la era de los Satélites. Los 5 más pequeñas extensiones del hielo Ártico ocurrió en los últimos 5 años (2007- 2011). El volumen del hielo marino del Ártico de septiembre (incorpora extensión y espesor), fue el más pequeño de la historia.
8	Lluvia e Inundaciones, Colombia	Marzo-Mayo	Inusualmente fuertes lluvias dejaron al menos 425 personas muertas en toda Colombia y causaron daños de miles de millones de dólares. 3 millones de personas fueron afectadas. Colombia recibió al menos 5 veces el promedio de precipitaciones para la temporada.
9	Sequia en México	A lo largo del 2011	La sequía en México que comenzó a finales del 2010, empeoró a lo largo de 2011, en particular en el norte y centro de México. A finales de octubre más de la mitad del país estaba en sequía excepcional, considerada la peor sequía en México en 70 años. Inicialmente se estimaron: 2.2 millones de acres de tierra de cultivo destruidas y cientos de miles de ganados perdidos.
10	Sequia en Europa	Otoño (Septiembre- Noviembre)	Gran parte de Europa central y oriental, presentaron la mayor de las sequías en otoño. Alemania, Austria y la República Checa cada uno tuvieron el noviembre más seco en la historia. Muchos lugares en Danubio cayó a niveles sin precedentes. En algunas áreas no había envíos debido a las aguas poco profundas. Varias bombas sin explotar las bombas sin explotar resurgieron de varios ríos, después de estar bajo el agua desde la Segunda Guerra Mundial.

Tabla 1.2 Los 10 principales eventos globales climatológicos (NOAA 2012)

## 1. INTRODUCCIÓN

Ortega-Gaucin (2013) en la Tabla 1.4 de sequías registradas históricamente en Nuevo León (1868-2012), muestra la del 2011, siendo esta la peor de los últimos 50 años. Durante este año, se perdieron 40 mil hectáreas de cultivo temporal, maíz, trigo, frijol y sorgo, no se sembraron 50 mil hectáreas de cultivo básico de la región. Las pérdidas se concentraron en cuatros municipios: Galeana, Mier y Noriega, Zaragoza y Doctor Arroyo y entre otros puntos del estado. Así mismo la sequía excepcional ocasionó la muerte de más de 8 mil cabezas de ganado: 3 mil 700 bovinos, 3 mil 800 caprinos y 620 ovinos, afectando así la económica de Nuevo León.

De igual forma la población rural de estos lugares se vio afectada, teniendo efectos negativos como hambruna, por tal motivo el Gobierno del Estado declaró a Nuevo León en estado de emergencia, por el desastre natural de la sequía excepcional.

Una importante herramienta para la toma de acciones en relación a este fenómeno de sequía, es el *Monitor de Sequía de Norteamérica* (NADM con sus siglas en inglés), que se estableció desde 2002, el cual registró en el año 2011 una sequía Extrema (D3) y Excepcional (D4; Véase en el Capítulo 2-2.3.2)., como se muestra en la Figura 1.3, en donde las partes de color rojo intenso son las Sequías Excepcionales abarcando parte de Estados Unidos y el norte de México, y de color rojo más claro, pertenecen a la sequía extrema en la parte norte de México abarcando hasta el centro de este. Lo cual nos indica la gran extensión de áreas afectadas por la sequía de manera extrema. Así también esta herramienta nos ayuda a ver el avance que tenga la sequía de forma gradual en tiempo y espacio.

En el año 2009 se reconocen los primeros indicios de sequía, sin embargo, la afectación no fue de tanta relevancia, mientras tanto, en el 2010, se presentaron lluvias por encima de la precipitación media anual atribuido al paso del huracán "Alex" pero en el 2011 volvió a presentarse una sequía extrema la más grave de los últimos 50 años. Es de gran importancia mencionar que el estado de Nuevo León es uno de los estados que se ve constantemente afectado por las sequías extremas

## 1. INTRODUCCIÓN

debido principalmente a su ubicación geográfica, al noreste del país, en donde se caracteriza de un clima árido-semiárido (CONAGUA, 2011).

El campus Universitario de la Unidad Linares de la Universidad Autónoma de Nuevo León, U.A.N.L., se alberga las instalaciones del Centro de Producción Agropecuario (CPA) y Facultad de Ciencias Forestales (FCF; Figura 1.4). El CPA es una institución que está dedicada a las actividades agropecuarias, fue creada con la finalidad de generar recursos para apoyar a la educación e investigación. Las casi 950 hectáreas son destinadas a la producción de cultivos de grano, viñedos y otra parte de la superficie se emplea para pastizales e instalaciones para el ganado de alto registro como lo es la raza Simmental, así como ganado caprino y también se tienen zonas de reserva ecológica (Rangel-Rodríguez, 1989).

El campus Unidad Linares fue creada en 1982 para la educación especialmente en las ciencias naturales, como lo son las Geociencias y las Ciencias Forestales y así descentralizar la educación de la Cd. de Monterrey. El trabajo de exploración de agua subterránea se ocupó por parte del entonces Instituto de Geología, Dr. P. Meiburg, Dr. B.D. Anderson, Lic. V. Aguilera y el Ing B. Muñoz (Rangel-Rodríguez, 1989). Aquí, se encuentran ubicados más de 80 pozos, con profundidades hasta 120 m, perforados en la década de los 80, cuya finalidad es la de abastecer las actividades agrícolas, ganaderas y educativas de la FCF/ UANL. Actualmente están en funcionamiento solo 8 pozos para dichas actividades (Figura 1.4).

Es por eso que, en la actualidad, tomando en cuenta la sequía presente en los años, 2011-2012, se realizaron estudios hidrológicos-hidrogeológicos para conocer el estado actual de las condiciones dinámicas del agua subterránea afectadas por la sequía excepcionales (D4; véase en Capítulo 2, 2.3.2). Este estudio, hidrogeológico nos ayudara a implementar de manera sostenible el uso adecuado del vital líquido en el área de estudio.

En las mediciones del nivel freático realizados por De León-Gómez a solicitud del Director del CPA, realizando en el año 2011 y basados en el descenso dramático de las aguas subterráneas, estas llegaron a descender más de 30 m. Como

## 1. INTRODUCCIÓN

resultado de estos descensos algunos pozos (CPA 22, CPA 23 y CPA 19) de abasto llegaron a “secarse”. Debido a estas causas fue necesario estudiar el comportamiento de los niveles freáticos de las aguas subterráneas del CPA.

Estado	Periodos			
	1948-1954	1960-1964	1970-1978	1993-1996
Aguascalientes	No afectó	Severa	Regular	Severa
Baja California	Regular	Severa	Regular	Severa
Baja California Sur	Regular	Severa	Regular	Severa
Campeche	No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Chiapas	No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Chihuahua	Severa	Severa	Severa	Severa
Coahuila	Severa	Severa	Severa	Severa
Colima	No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Distrito Federal	No afectó	Regular	No afectó	Severa
Durango	Regular	Severa	Severa	Severa
Guanajuato	Regular	Severa	Regular	Severa
Guerrero	No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Hidalgo	Regular	Severa	Severa	Severa
Jalisco	No afectó	Regular	No afectó	Regular
México	No afectó	Regular	Regular	Severa
Michuacán	No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Morelos	No afectó	No afectó	No afectó	Severa
Nayarit	No afectó	Regular	No afectó	Regular
<b>Nuevo León</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>	<b>Severa</b>
Oaxaca	No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Puebla	No afectó	Regular	Regular	Severa
Querétaro	Regular	Severa	Severa	Severa
Quintana Roo	No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
San Luis Potosí	Severa	Severa	Regular	Severa
Sinaloa	Regular	Severa	Regular	Severa
Sonora	Severa	Severa	Regular	Severa
Tabasco	No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Tamaulipas	Severa	Severa	Regular	Severa
Tlaxcala	No afectó	Severa	Severa	Severa
Veracruz	No afectó	No afectó	No afectó	Regular
Yucatán	No afectó	No afectó	No afectó	No afectó
Zacatecas	Regular	Severa	Regular	Severa

Tabla 1.3 Grandes sequías en México destacando a Nuevo León con una sequía severa (CENAPRED, 2001)

1. INTRODUCCIÓN

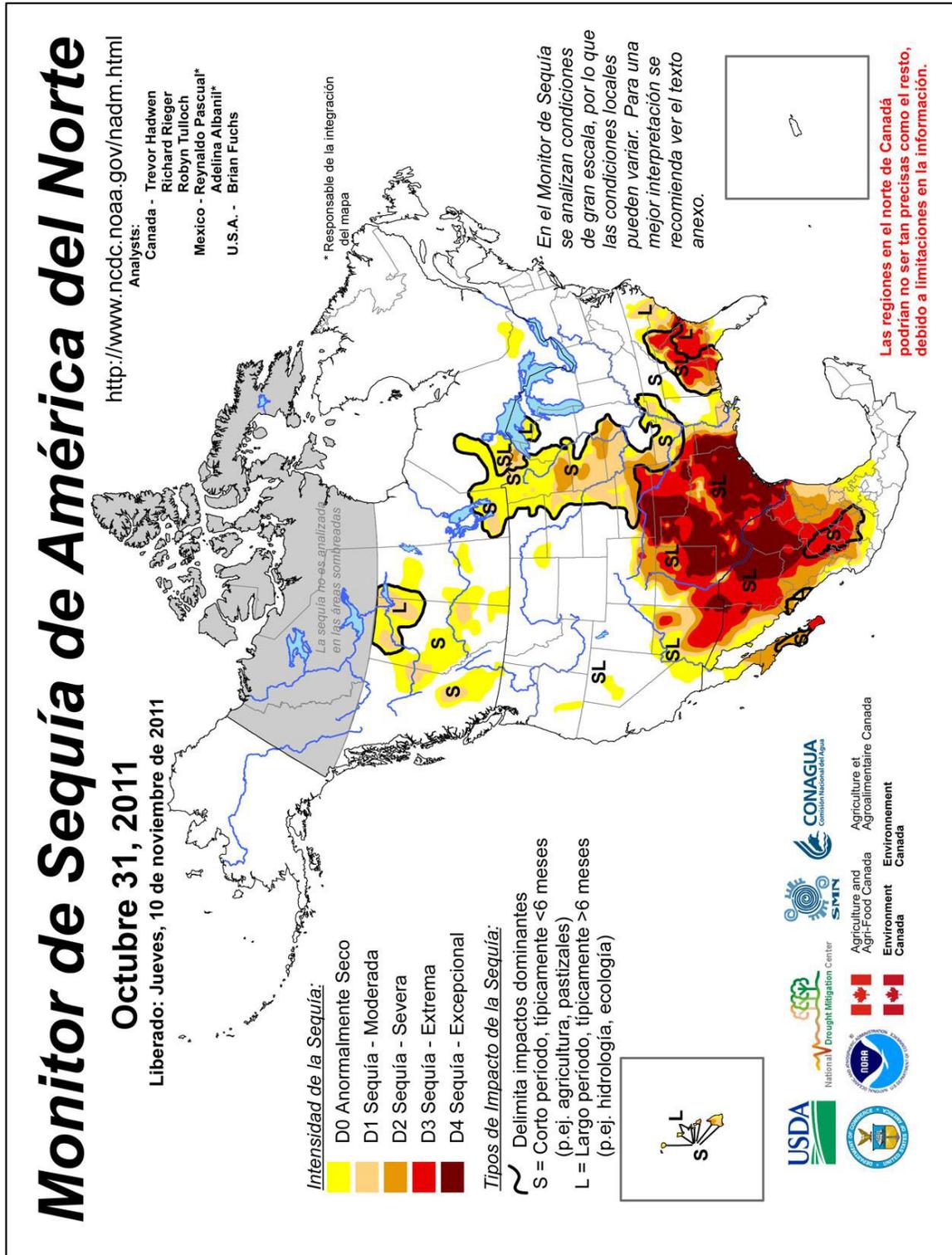


Figura 1.3 Mapa de Norteamérica mostrando las diferentes sequías, desde la sequía Excepcional (D4) hasta la Anormalmente Seco (D0), NOAA 2015

## 1. INTRODUCCIÓN

Sequías registradas históricamente en Nuevo León			
Año	Meses	Características	Efectos
1868	mayo-julio	Sequía	Pérdida de las cosechas. Los Precios del maíz y el zacate se ecarecieron.
1886-87	octubre-julio	Sequía contunia desde octubre 1886	Campos secos. Pérdidas de ganado mayor y menos. Aumento en el precio del maíz y del frijol.
1889	enero-julio	Falta de agua	Se secaron las norias. Pérdida de las cosechas de maíz y frijol. La gente emigro hacia el río Conchos y el río Norte.
1891		Escasez de lluvia	Malas cosechas. Milpas raquítticas. Muerte de ganado
1892		Sequía Extraordinaria	No hubo cosechas. La pobración padeció hambre. Mortandad de ganado.
1894	enero-julio	Sequía	Campos áridos. Hubo hambre entre la población.
1897		Falta abosulta de lluvias	Malas cosechas de trigo.
1905	agosto-septiembre	Falta de agua	Dismunuyeron las cosechas de maíz, frijol y cebada.
1906	mayo-agosto	Exceso de calor, Nada de lluvia	Se perdió la cosecha de fruta.
1907	enero-pasado	No llovió casi nada desde el año pasado	cosechas de maíz y frijol escasas por falta de agua. Las fuentes y los arroyos se secaron. Sedio que la sequía no tenía precedente.
1909	agosto	Escasez de lluvia	Presas y arroyos secos.
1917	noviembre	Presistía la sequía desde hacía meses	En caso de que llegaran las lluvias, se aseguranaa abundante cosecha.
1923	agosto	pocas lluvias	Cosechas pobres
1925	junio	Intensa sequía en la sierra	Temor de los agricultores. Incendios en los bosques
1927	junio	Prolongadas sequía azotaba el norte del país desde hacía ocho meses	Se calculó que murieron mas de 1,500 reses por falta de aguaen todo el norte del país. El ganado se llevó a E.EUU., donde se vendió a precios ínfimos.
1932	junio	Terrible sequía azotaba el norte del país	Se creía que las cosechas serían escasas.
1935	mayo	Intensa sequía	Se sufrieron pérdidas considerables en ganado. Hubo solicitud al gobierno para que pefroarara norios. Se afectaron los cultivos.
1937	julio	Terrible sequía azotaba el estado durante varios meses	Se perdieron las siembras de temporal. Los campesinos le exigieron al presidente de la república que construyera presas. El ganado se afectó seriamente. Huno crisis ecnómica al elevarse los precios y perderse los empleos
1943	agosto	Sequía generalizada	En el Norte se temía por las cosechas. Se tuvo que trasladar al ganado. En el resto del país las lluvias y siembrasfueron escasas.
1950-53	agosto-diciembre	Intensas sequía que afectaba al Norte y que se prolongaba desde hacía seis años	Las presas estaban secas. El ganado morían de sed. Huno grandes pérdidas económicas en la ganadería y la agricultura.
1960	junio	Intensa sequía	Peligraba los cultivos y la ganadería. De no llover se prevía en Nuevo Leónla emigración de miles de campesinos.
1962	agosto	Prolongada sequía desde hacía cuatro meses	81 personas murieron en Nuevo León. Grandes pérdidas económicas en la ganadería y agricultura (maíz, algodón, frijol y bosques, entre los mas afectados).
1972	julio	Sequía y onda cálida	Murieron 100 niños en Nuevo León, por deshidratación y más de 200 estaban hospitalizados.
1975	abril	La sequía se prolonga desde hacía un año	Murieron cerca 400 mil reses en Nuevo León.
1977	agosto	Intensas sequía	Pérdida de cosecha. Se depló el precio de ganado. Se dejaron de sembrar más de 25 mil hectáreas de cultivo en el estado
1993-95		Sequía	Grandes pérdidas económicas en la ganadería y agricultura. Trigo y maíz los cultivos más afectados.
1996		Intensa sequía	Se dejaron de sembrar más de 43 mil hectáreas de cultivo básicos y se siniestaron 23 mil hectáreas más, con una pérdida económca superior a los 134 millones de pesos. Se perdieron en total 1,013 cabezas de ganado bovino, caprino y equino.
2011-2012	todo el año	La sequía más severa de los últimos 50 años	Se perdieron más de 40 mil hectáreas de cultivo por falta de lluvias; además, se dejaron de sembrar otras 50 mil hectáreas de cultivo básico (maíz y trigo, principalmente); y se tuvo la muerte de mas de 8 mil cabezas de ganado. Todo lo anterior representó una merma total superior a los 400 millones de pesos, equivalentes a 5% del PIB que genera el sectori primario en el estado. Aunado a lo anterior, más de 17mil familias (alrededor de 60 mil personas) padecieron por la escasez y falta de agua para consumo humano, por lo que tuvieron que ser abastecidas del vital líquido mediante pipas.

Tabla 1.4 Sequías registradas históricamente en Nuevo León 1868-2012, indicando el año 2011-2012 como el más afectado (Ortega-Gaucin, 2013)

## 1.1 Antecedentes

Las condiciones geológicas y climatológicas que existen en el municipio de Linares, Nuevo León y sus alrededores, ha originado el interés de investigadores para realizar estudios hidrológicos para prospección de agua y el medio de la zona.

De manera regional al municipio de Linares, Navarro-Galindo (1959), realizó un reconocimiento geológico del área de Montemorelos, Linares, General Terán, Nuevo León. Padilla y Sánchez (1978), elaboró un estudio geológico/ estructural de la Sierra Madre Oriental en el área de Linares-San Roberto.

De manera local, Rojas-Ruiz y Méndez-Delgado (1986), realizaron un estudio del comportamiento del agua subterránea, en el que actualmente es el CPA. Así también, Rangel-Rodríguez (1989), realizó un estudio hidrogeológico en el CPA en Linares N.L., teniendo como objetivo principal la prospección de sitios de explotación para su aprovechamiento.

Rodríguez de Barbarín y Barbarín-Castillo (1993), realizaron una evaluación de los efectos que puede ejercer el ambiente geológico, el clima y los asentamientos humanos, en la calidad del agua transportada a través de los principales causes que atraviesan Linares (ríos Pablillo, Camacho, Hualahuises y Camachito). De León-Gómez (1993) desarrolló un estudio geológico / hidrogeológico en el área de la Presa Cerro Prieto en Linares, para determinar las filtraciones y su impacto en el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Monterrey, NL.

Galván- Mancillas (1996), elaboró una cartografía hidrogeológica de la terraza baja entre Hualahuises y Linares, N.L. Prado-Gómez E. (1997), aplicó método geofísico (SEV's, Sondeos Eléctricos Verticales) para investigar zonas de gravas en el área de Hualahuises-Linares, elaborando prospecciones geoeléctricas entre estas zonas.

De-León-Gutiérrez (1999), establece una estratigrafía del cuaternario en el cañón de Santa Rosa de la SMO. De la Garza-González (2000), realizó un estudio

## 1. INTRODUCCIÓN

geológico/hidrogeológico en el área Linares-Hualahuises, NL. Flores-González (2000), para la explotación moderada del acuífero, realizó un estudio geológico/hidrogeológico de la región citrícola de Montemorelos - Gral. Terán, N.L.

Lizárraga-Mendiola (2003), en su tesis de Maestría realizó un análisis y evaluación del agua subterránea en el tiradero municipal y la comunidad La Petaca de Linares, N.L. Montalvo-Arrieta *et al.*, (2005) realizaron una Microzonación de la región de Linares, N.L., basada en la geología y velocidades de propagación de ondas sísmicas. De León Gómez *et al.*, (2006), elaboraron una matriz de geoindicadores de impacto ambiental, con el fin de conocer el estado de la presa José López Portillo (Cerro Prieto), Linares, NL.

Lizárraga-Mendiola *et al.*, (2006) realizaron un análisis de la calidad que presenta el agua subterránea a las distintas fuentes de contaminación estudiadas, originadas por el tiradero municipal de Linares. Martínez-Vallejo (2007), elaboró un análisis de las Filtraciones Laterales de la Presa José López Portillo/Cerro Prieto; Linares. Izaguirre-Valdez (2008), realizó un estudio hidrogeofísico de la Presa José López Portillo (Cerro Prieto).

Moreno-Esparza, L. (2009), realizó un estudio sobre la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación en la región de Linares mediante el Método DRASTIC. El trabajo más actual es el de Dávila Porcel (2011), que aplicó la hidrogeología urbana como parámetro de planificación territorial para un desarrollo sostenible de usos de suelo en ciudades en crecimiento, caso Linares.

### **1.2 Hipótesis**

En el área del CPA se han observado descensos significativos en el nivel freático por más de 30 m, como consecuencia del periodo de sequía de los años 2011; para comprobar lo anterior se quiere llevar a cabo estudios con metodologías hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas, en donde se podrán estudiar los cambios que ha sufrido el acuífero, su impacto en las actividades agrícolas y

## 1. INTRODUCCIÓN

ganaderas del CPA, y finalmente proponer medidas de sostenibilidad del agua subterránea del CPA-UANL.

### 1.3 Objetivo general

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto que produce la sequía del 2011, en el acuífero de grietas del Centro de Producción Agropecuaria (CPA) / UANL, con lo cual se podría determinar un manejo sostenible del uso de agua subterránea y así garantizar las actividades agrícolas y ganaderas.

### 1.4 Objetivos particulares y metas

Los objetivos particulares y metas del presente trabajo se enumeran en, tres puntos esenciales:

1. Hidrología: se recolectaron datos de las estaciones climatológicas del área de estudio, para el análisis de la precipitación, temperatura y determinar los períodos de sequía presentes en los últimos años (1989, 2006, 2011, 2014).
2. Hidrogeología: se realizaron estudios piezométricos en tres periodos del año (lluvia, ordinarios y sequía), para compararlo con las sequias anteriores y el estado actual de los acuíferos y así observar los cambios en el régimen hidrodinámico de los acuíferos que se ha generado; a partir de esto se obtiene la carta piezométrica actual de tres periodos y la hidrodinámica del agua subterránea.
3. Manejo sostenible: con fines de un buen aprovechamiento del agua subterránea se observarán los datos climatológicos y la carta piezométrica para saber cuándo se puede explotar el acuífero sin generar una sobre-explotación o agotamiento; llegando a establecer un plan de manejo sostenible de agua subterránea del acuífero en el área.

## **1.5 Localización y vías de acceso**

El área de estudio se localiza en la Carretera Nacional 85, Villagrán – Linares, kilómetro 145, enmarcada entre las coordenadas en UTM 14 R 444606 E; 2742227 N con una elevación de 400 msnm. El estudio se llevará a cabo dentro de las instalaciones del Centro de Producción Agropecuaria (CPA) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL; Figura 1.4).

# 1. INTRODUCCIÓN

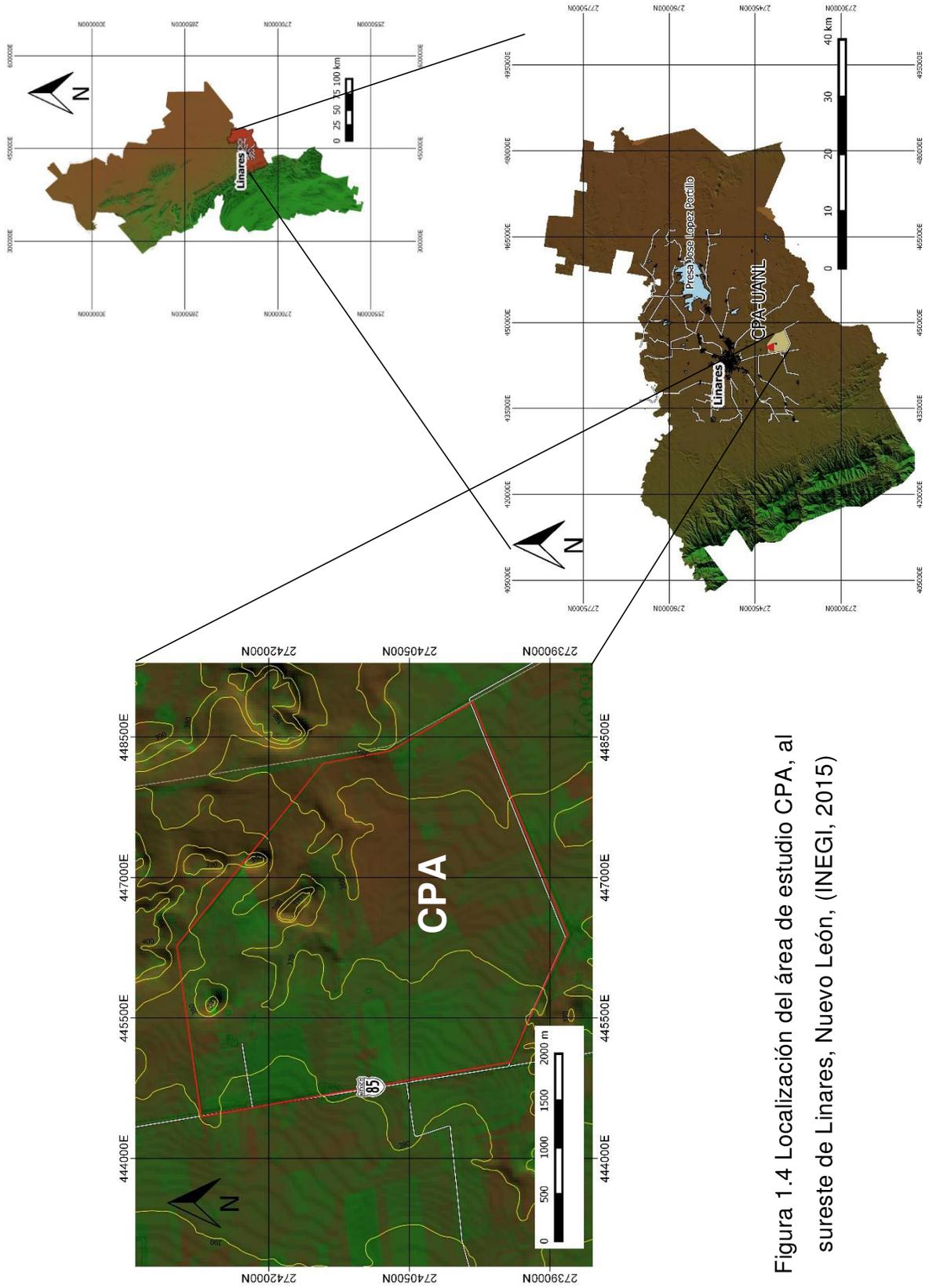


Figura 1.4 Localización del área de estudio CPA, al sureste de Linares, Nuevo León, (INEGI, 2015)

## 1.6 Fisiografía

Nuevo León, cuenta con tres partes de las provincias fisiograficas, descritas por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2008, las cuales son Sierra Madre Oriental (SMO), en la region abarca la mayor parte de Nuevo León en la parte oeste, en la parte media del estado se encuentra la Provincia ó Llanura Costera del Golfo Norte (PCGN), asi nombrada por INEGI, que abarca los estados de Tamaulipas, Nuevo León San Luis Potosí y Veracruz, dentro de esta se encuentra el área de estudios y para la parte este se ubica la provincia Grandes Llanuras de Norteamérica que se extiende desde México hasta Canadá, donde su mayor parte se localiza en Estados Unidos de América.

El área de estudio se localiza dentro de una transición entre dos provincias: La Sierra Madre Oriental caracterizado como un rasgo orográfico, formado por un macizo montañoso, angosto y alargado, situado al este de México, emerge en la Planicie Costera del Golfo de México (PCGM), tiene alturas que sobre pasan los 2500 msnm con una longitud de 600km y una amplitud de 80km y la PCGM (Figura 1.5; Eguiluz de Antuaño, *et al*, 2000).

Por otro lado, la PCGM, se limita al Noreste por la Provincia Norteamericana y al Noroeste por la SMO. La PCGM, se puede dividir según su altura respecto al nivel del mar, que fluctuan desde 0-50m; siguiendo alturas de 50-250m que confirman lomeríos, formados durante el Terciario y en zonas de pie de monte las autlruas estan dentro de los 200-500m (Rangel-Rodríguez, 1989).

La zona de estudio, está ubicada dentro de la zona de piedemonte debido a sus alturas de entre 360 y 400 msnm, zona ubicada al suroeste del municipio de Linares. Conformados por lomeríos, constituidos por rocas lutíticas de la *Formación Méndez*. Debido al gran acercamiento que se tiene con la SMO, se puede decir que los intensos fracturamientos que se encuentran en la *Formación Méndez* son producto de estos eventos compresivos de la SMO.

## 1. INTRODUCCIÓN

Sobre los valles se depositan sedimentos de origen aluvial en diferentes terrazas o niveles de edad cuaternaria, producto de la erosión de rocas consolidadas (Lizárraga-Mendiola, 2003).

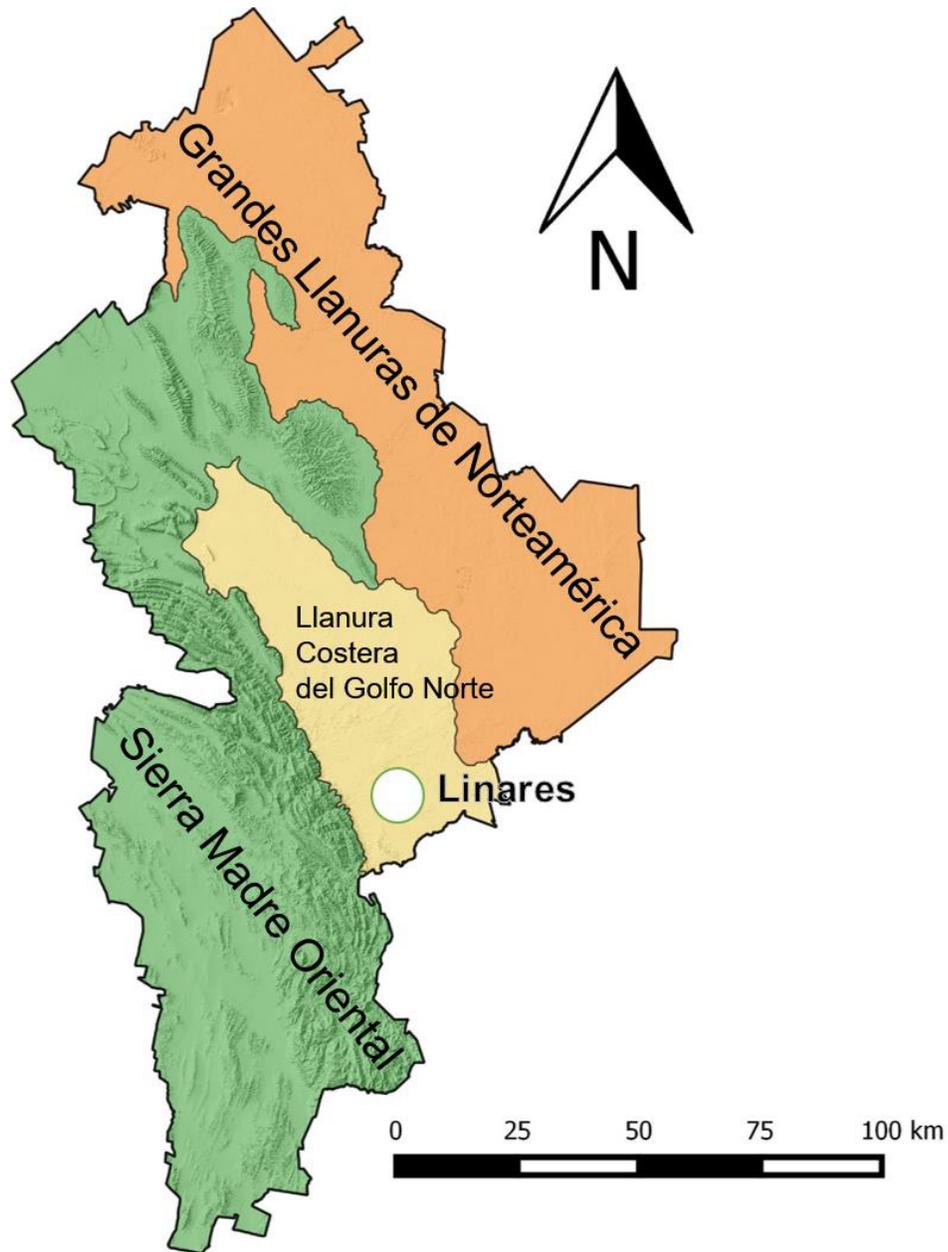


Figura 1.5 Provincias Fisiográficas de Nuevo León (INEGI, 2015)

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 Clima y Vegetación

El área se encuentra dentro de la zona de transición de un clima seco a un clima húmedo. Según algunas clasificaciones como Köppen, 2004, el área de Linares presenta un clima subhúmedo a moderadamente cálido, ya que la temperatura media anual es mayor que los 18° C (García, 2004).

La clasificación de Thornthwaite 1948, el clima en la región es seco, sin estación bien definida, cálido con invierno benigno y temperaturas medias anuales de 21° C, siendo los meses de diciembre, enero y febrero los que experimentan las mínimas temperaturas que en ocasiones descienden a 10° C bajo cero. Por otra parte, las temperaturas máximas se presentan en los meses de junio, julio y agosto y alcanzan hasta 45° C en el período llamado “Canícula” (evento climático, que se presenta con el déficit de precipitaciones y el incremento de temperaturas en una temporada de lluvia). La temporada de lluvia, comprende los meses de mayo a octubre, siendo los meses de agosto, septiembre y octubre en que se registran las máximas precipitaciones. El régimen pluvial medio anual es de 770 mm (CONAGUA, 2015).

En la Figura 2.1, la gráfica está representando las temperaturas de la estación climatológica Camacho de Linares, en la cual enmarca la principal de la región. La temperatura media anual de los años 1985-2014 es de 23.2°C, en donde la máxima media es en el mes de junio con 29.5 °C, que es uno de los meses en donde se presentan las grandes sequías y en donde se presenta el fenómeno le llamado “Canícula” y la temperatura mínima media es 15.2°C en el mes de noviembre que está dentro de los meses donde se presentan las mínimas temperaturas.

## 2. GENERALIDADES

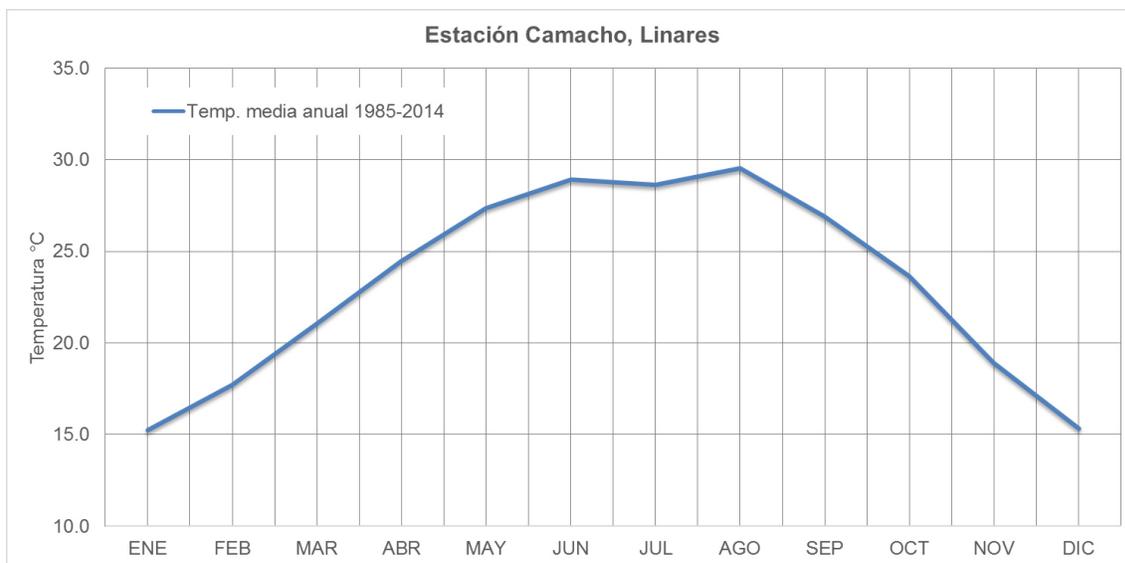


Figura 2.1 Temperatura media anual de la Estación climatológica, Camacho del municipio de Linares, 1985-2014, CONAGUA, 2015

Dentro del área de estudio se toma en cuenta la estación climatológica Benítez- FCF, en donde se observa en la Figura 2.2 la gráfica, en donde la temperatura media anual es de 23°C, así mismo cuenta con una temperatura media máxima de 30.26 °C en el mes de julio, que se asocia a los meses donde se presentan las altas temperaturas, para las temperatura media mínima 15.06 °C, en el mes de diciembre igualmente está dentro de los meses con temperaturas mínimas en donde se puede observas que no se varía tanto con la gráfica anterior (Figura 2.1).

A pesar de las similitudes entre las gráficas, las temperaturas varían debido a la ubicación geográfica en la que se encuentre, entre más alejados de la SMO la temperatura es más cálida, mientras que más cerca de la SMO la temperatura es más fresca, como lo es el CPA que se encuentra en el piedemonte de la SMO presentado temperaturas más frescas, que en áreas lejos de la SMO, siendo esta una observación muy local.

## 2. GENERALIDADES

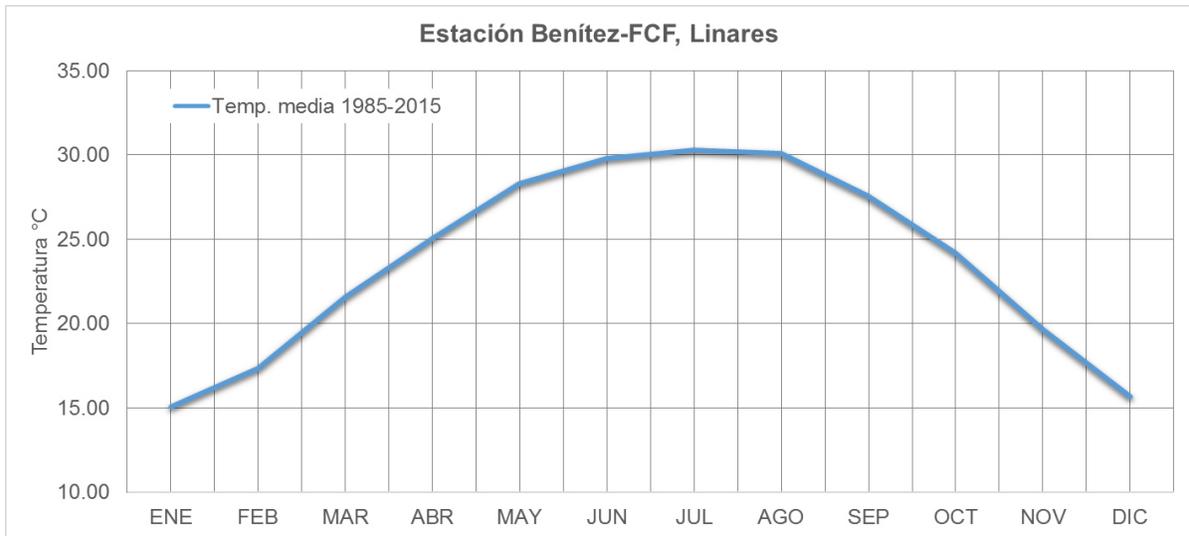


Figura 2.2. Temperatura media anual de la Estación climatológica Benítez - FCF de los años 1985-2015, CONAGUA, 2015

El tipo de vegetación predominante en el área de estudio, son los matorrales altos espinosos y subinermes, caracterizados por arbustos altos y árboles bajos, característicos de climas subtropicales o semi-áridos del Nordeste de México. Se caracteriza por la presencia de arbustos medianos de 1 a 2 m de altura, compuestos predominantemente por especies inermes y caducifolias, combinadas con especies espinosas. Entre las primeras, las más comunes son: *Leucophyllum texanum* (cenizo), *Cordia boisieri* (anacahuíta), *Porlieria angustifolia* (guayacán). Entre las segundas especies se encuentran: *Acacia rigidula* (chaparro prieto), *Pithecellobium brevifolium* (tenaza), *Lycium Carolinianum* (cruqueta) (González-Elizondo, 1996, citado por Lizárraga-Mendiola 2003).

### 2.2 Precipitación

Para realizar el estudio de sequía y su impacto, hay que tomar en cuenta la precipitación que es uno de los principales factores que inciden en el problema. Se realizaron gráficas para diferentes escalas, nacionales, estatal y local para poder comparar y observar el comportamiento de las precipitaciones tanto a gran

## 2. GENERALIDADES

y pequeña escala. Las gráficas que se realizaron, fueron a partir de una base de datos colectados por Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de las precipitaciones nacionales, estatales y locales.

En la Figura 2.3, se realizó una gráfica nacional mexicana y del estado de Nuevo León del periodo 1984-2015. La grafica muestra el reflejo de dos diferentes líneas continuas las cuales en algunos de los casos coinciden su punto más alto y viceversa, destacando los eventos de mayor relevancia

La gráfica Nacional-Estatal (Figura 2.3), se cuenta con un promedio anual de precipitación 644mm, teniendo un comportamiento variable a lo largo de los 30 años, en donde se observan los fenómenos extraordinarios que han acontecido a lo largo de este tiempo como lo son los huracanes en este caso, Gilberto (1988), Emily (2005), Alex (2010), los cuales fueron huracanes, que causaron daños en infraestructuras, económicos y pérdidas humanas; desde otro punto de vista se observan periodos de déficit de precipitación, como lo son 1994-2001 y 1989, a pesar de estar por debajo del promedio estatal se destaca el fenómeno de sequía del 2011, el cual hace referencia a la gran sequía de los últimos 50 años antes mencionados, teniendo un descenso de precipitaciones de 370 mm por debajo del promedio anual.

En la Figura 2.4, se realizó una gráfica con diferentes estaciones climatológicas para Linares, en base a datos proporcionados por CONAGUA 2015. Para realizar el análisis de las precipitaciones pluviales se toman 5 estaciones climatológicas las cuales son: Camacho (19035), San Francisco (19100), FCF-Benítez (19112), Las Crucitas (19147) y La Granja (19149), (Figura 2.5); se tomaron en cuenta estas estaciones, debido a la proximidad que tienen con el área de estudio o como es el caso de una de la estación climatología FCF-Benítez que se encuentra dentro del área, para obtener confiables y precisos para la zona de estudio.

## 2. GENERALIDADES

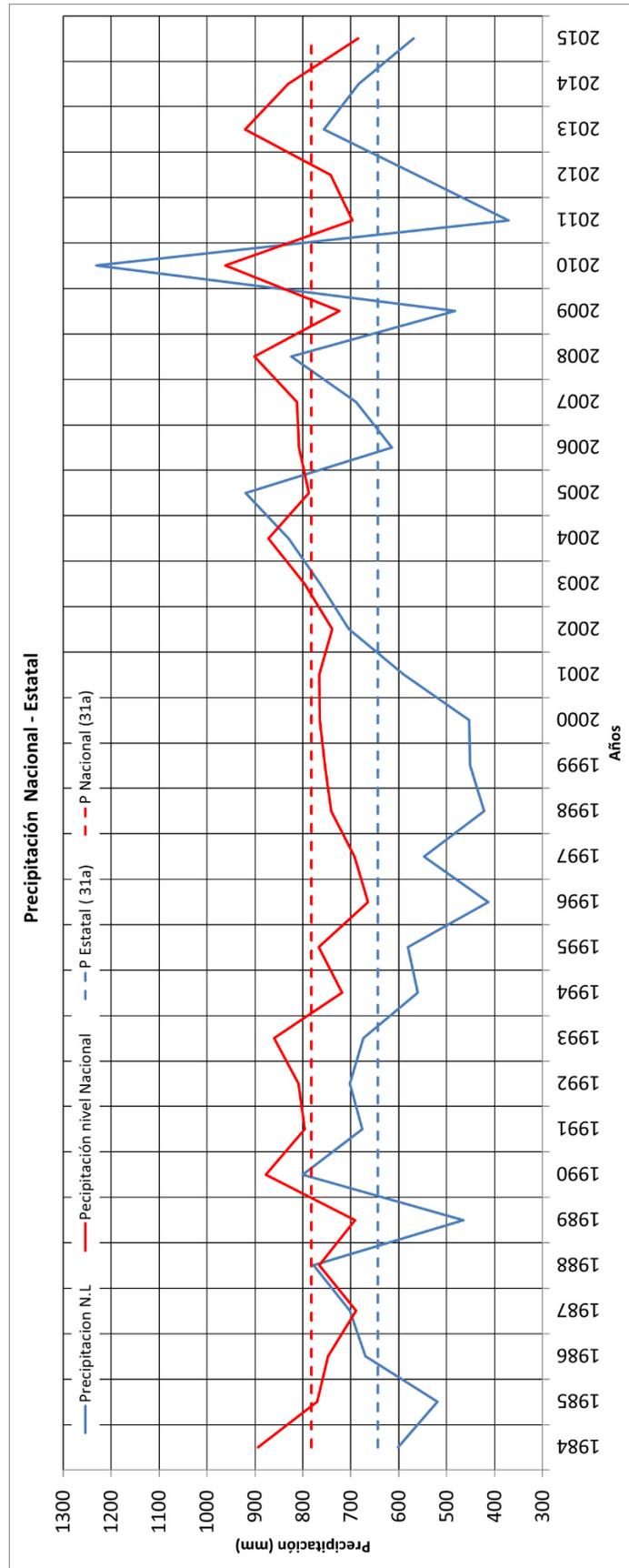


Figura 2.3 Gráfica de precipitación Nacional y Estatal de Nuevo León (CONAGUA, 2015)

## 2. GENERALIDADES

Los datos que se trabajaron son desde 1985-2015, (periodo de 30 años). En este lapso de tiempo, se encuentran los datos analizados de los diferentes trabajos, presentados en el Capítulo 5. Las estaciones climatológicas presentan un promedio de precipitación anual de 801 mm, aunque los valores del área fluctúen en precipitaciones de 200 y 1600 mm. Se pueden observar que a través los años han existido diversas sequías parciales, marcados con color amarillo las sequías y de color celeste las precipitaciones.

Iniciando cronológicamente en 1988, se observan precipitaciones por encima del promedio anual, relacionado al huracán “Gilberto”, que coinciden en todas las estaciones climatológicas. Para el año 1989, se presenta un descenso de precipitaciones por debajo del promedio al igual que en el año 1996, las estaciones concuerdan con una baja precipitación considerada como sequía. El 2005, las estaciones climatológicas muestran precipitaciones de hasta 1200mm, que contrasta al siguiente año presentando una sequía de hasta 540 mm por debajo del promedio anual. Así también en el 2010 muestra un gran pico de precipitación, debido al evento del huracán “Alex”. Por ultimo en el 2011, “el año de la gran sequía” se tiene que todas las estaciones coinciden con precipitaciones menores a 400mm.

En la Figura 2.6, se muestra la precipitación en meses del mismo periodo de años 1985 a 2015 de las cinco estaciones climatológicas antes mencionadas, las cuales son de acuerdo con el clima del área, en donde la precipitación concuerda en las cinco estaciones, siendo el mes de septiembre el mas lluvioso o con mayor precipitación media anual de 224 mm y de menor precipitación son los meses de Noviembre a Febrero con lluvia en promedios anuales de 17 mm.

## 2. GENERALIDADES

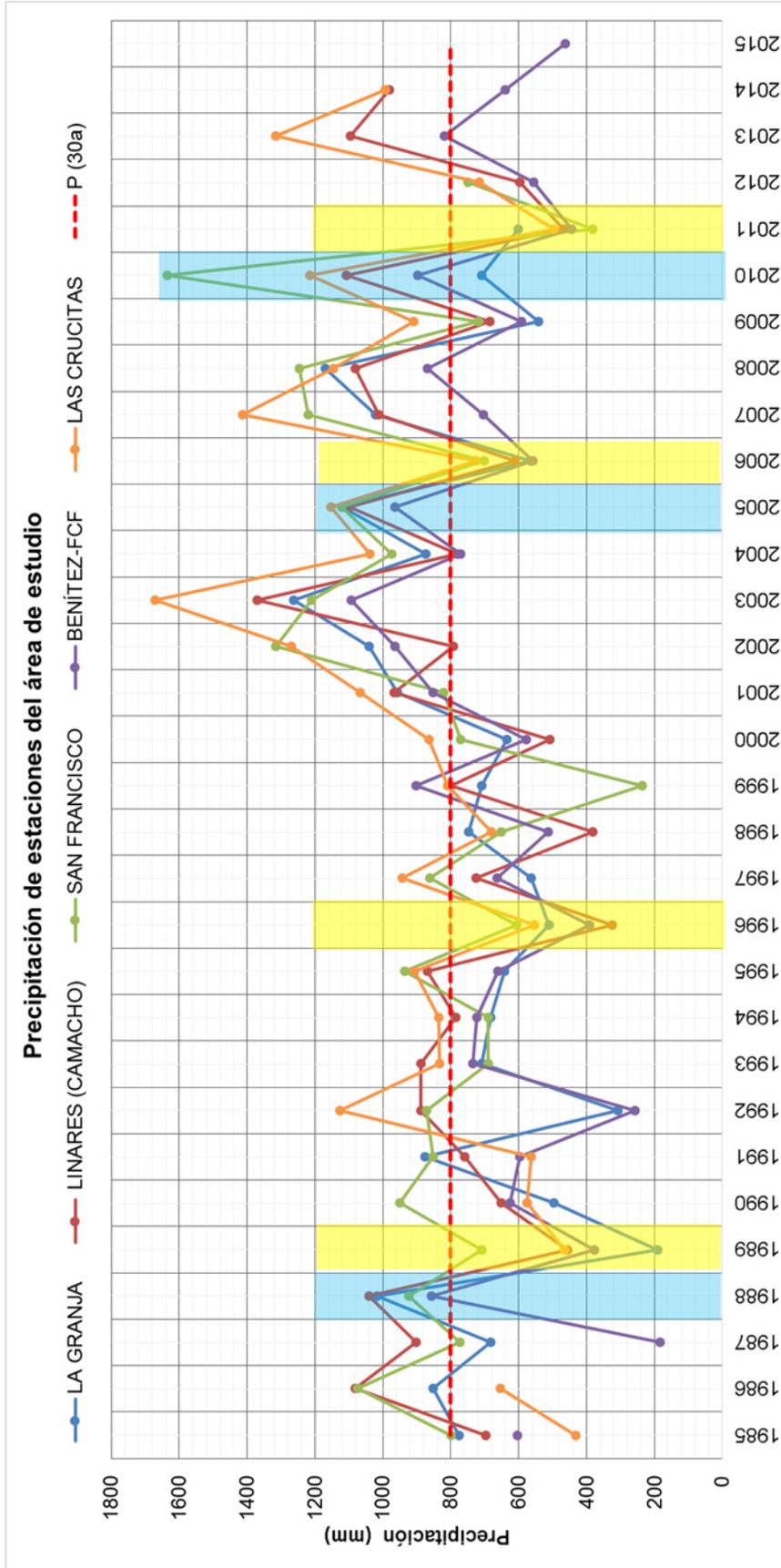


Figura 2.4 Diagrama de Precipitación de las estaciones Camacho (19035), San Francisco (19100), FCF-Benítez (19112), Las Crucitas (19147) y La Granja (19149), en un periodo de 30 años. Las franjas color celeste son los años con altas precipitaciones, mientras que, las franjas color amarillo, son en años de precipitaciones por debajo del promedio

## 2. GENERALIDADES

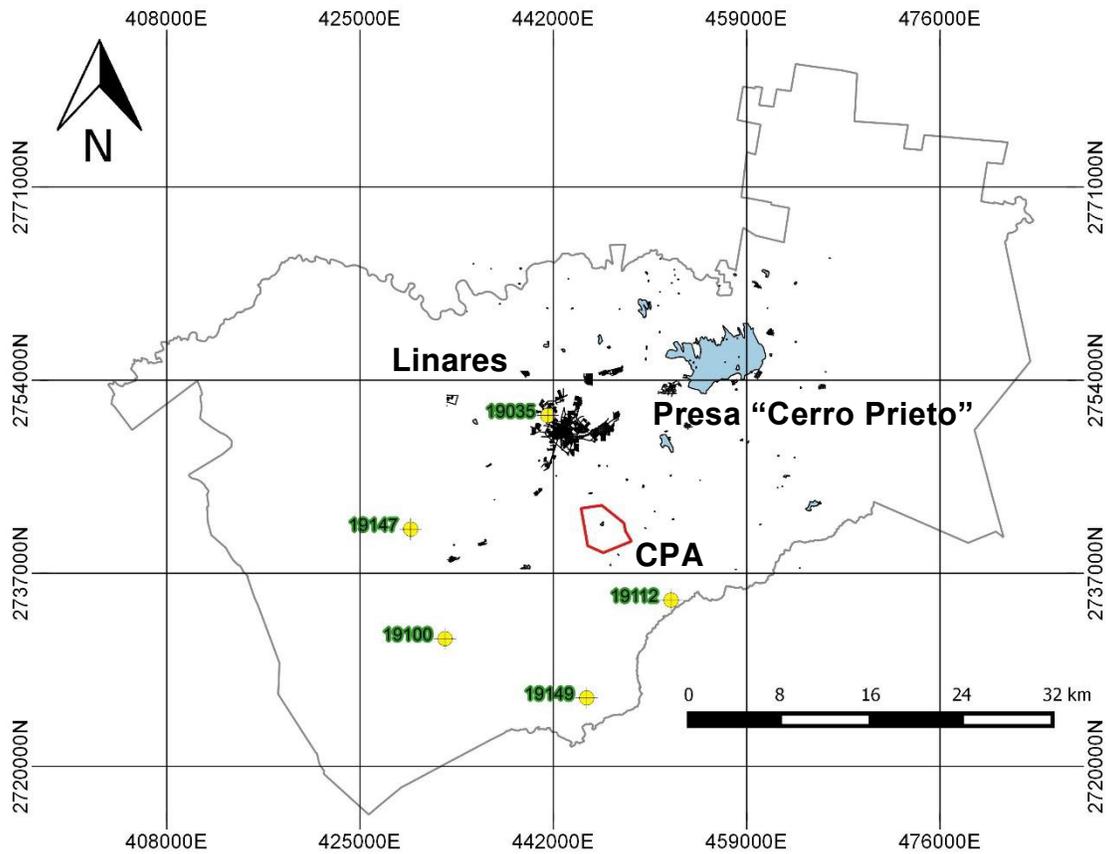


Figura 2.5 Ubicación de estaciones climatológicas por su clave Camacho (19035), San Francisco (19100), FCF-Benítez (19112), Las Crucitas (19147) y La Granja (19149; INEGI, 2015)

### 2.3 Sequía

La sequía es un fenómeno atmosférico en la cual la precipitación disminuye severamente por debajo de su valor medio histórico, se asocia con la duración que se tenga en las regiones. Afecta de manera indirecta y directa a las actividades económicas en una región de manera adversa. La sequía en México representa un fenómeno recurrente en algunas zonas, como lo son el norte y noreste del país (CONAGUA, 2013).

2. GENERALIDADES

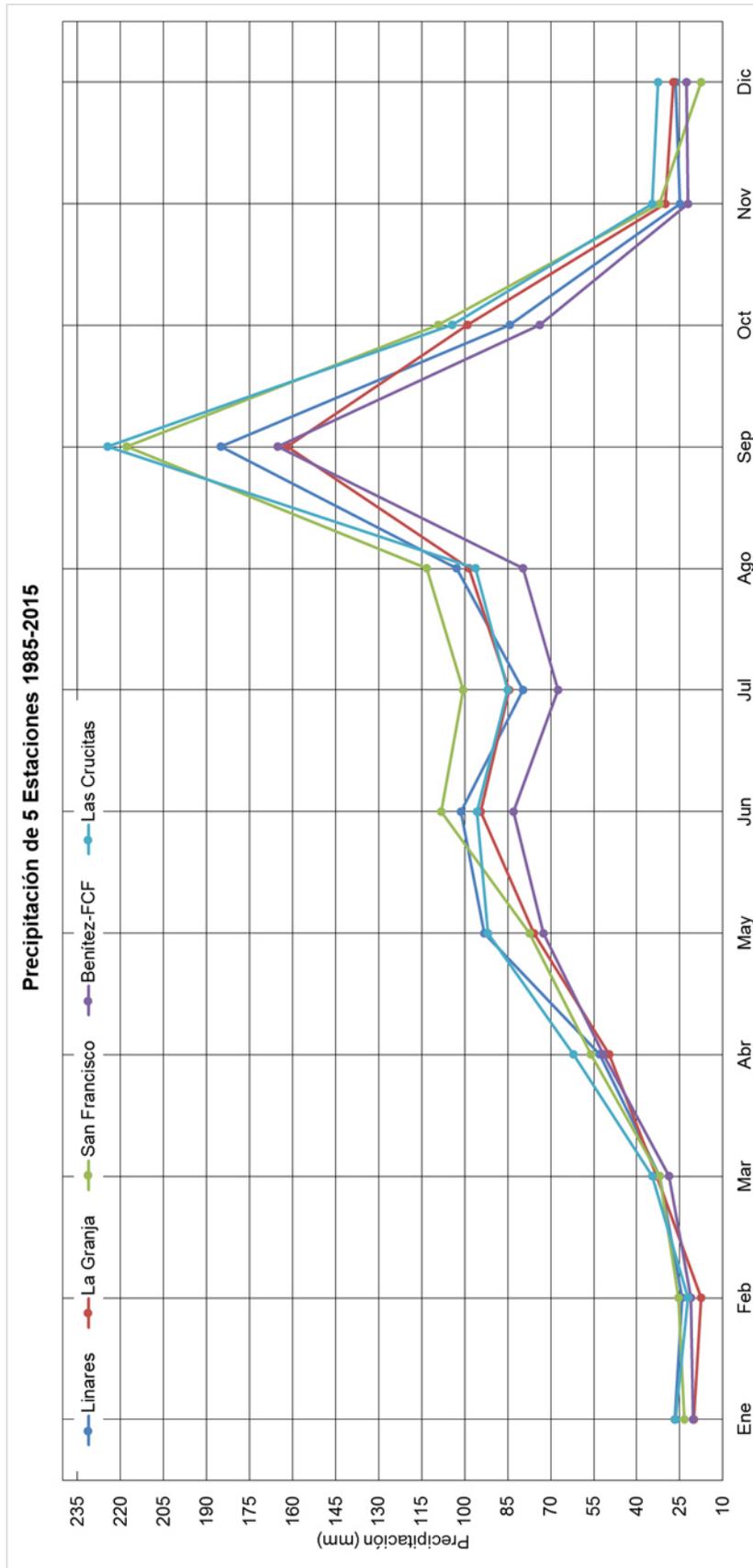


Figura 2.6 Precipitación mensual de los años 1985-2015 de 5 estaciones climatológicas. Información de CONAGUA 2015

### **2. 3.1 Tipos de sequía**

Valiente (2001), explica los tipos de sequías tomando en cuenta sus características, el impacto que tenga como consecuencia el fenómeno desde el punto de vista meteorológico, agrícola, hidrológico y socioeconómico, que a continuación se explican:

#### *2.3.1.1 Sequía meteorológica:*

La sequía se define como una condición anormal y periódica, del clima que se presentan en cada región particular de la Tierra, que varía en función de las características del clima regional, se define por una ausencia prolongada de precipitaciones en relación con la precipitación normal, causando así desbalance hidrológico (NDMC, 2002, citado por Ortega-Gaucin, 2012).

#### *2.3.1.2 Sequía agrícola:*

Se define en términos de disponibilidad de agua en los suelos para el sostenimiento de áreas de cultivo. Es ocasionada por un déficit marcado y permanente de lluvia que reduce a la deficiencia de humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo en cualquier fase de crecimiento. Se debe de saber que se tiene que tomar en cuenta el tipo de suelo, la pendiente, y la intensidad de precipitación pues estos difieren en la capacidad de retención de humedad (Ortega- Gaucin, 2012).

#### *2.3.1.3 Sequía hidrológica:*

Hace referencia a una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneos, acuíferos, con respecto a los niveles que se consideran como normales. Hay un desfase considerable entre el cambio de comportamiento de las precipitaciones y el momento en el que el déficit hídrico se hace presente en las corrientes superficiales. Estas corrientes superficiales se recuperan lentamente. Esta sequía es de largo plazo, pudiendo durar desde meses a varios

## 2. GENERALIDADES

años. La capacidad de gestionar los recursos hídricos hace que la sequía no dependa únicamente de agua que existe ya sea en lagos o presas, sino también de la forma de utilizarla (Ortega- Gaucin, 2012).

### *2.3.1.4 Sequía socio-económica:*

Esta sequía incorpora las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas, cuando la disponibilidad del agua disminuye hasta el punto en que la población comienza a presentar daños debido a la escasez de agua. Toman en relación igualmente el suministro de bienes económicos como a la oferta y demanda de mercancías básicas como lo son los cultivos y forrajes para el alimento de ganado, industrias hidroeléctricas (Ortega- Gaucin, 2012).

Resumiendo, la sequía meteorológica hace énfasis en donde el fenómeno responde naturalmente a muy diversas causas tomando en cuenta la región, mientras que las sequías agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas toman interés en la vulnerabilidad humana.

### **2.3.2 Intensidad de sequía**

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2015, tiene una clasificación de la intensidad de sequía, para delimitar las zonas de sequía anormal hasta sequía excepcional. A continuación, se darán la definición de cada una de ellas:

Clasificación de la Intensidad de la Sequía de acuerdo al Monitor de Sequía de América del Norte (NADM):

- **Anormalmente Seco (D0):** Es una condición de sequedad, no es una categoría de sequía. Solo se presenta al inicio o final de un periodo de sequía. Al inicio, debido a la sequedad de corto plazo puede ocasionar el retraso de la siembra de los cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y existe el riesgo de incendios. Al final, puede persistir déficit de agua, los pastos o cultivos pueden no recuperarse completamente.

## 2. GENERALIDADES

- **Sequía Moderada (D1):** Los daños que se presentan son en cultivos y pastos; con altos riesgos de incendios, bajas en el nivel de ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, lo que se recomienda es una restricción voluntaria en el uso del agua.
- **Sequía Severa (D2):** Probables pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios, es común la escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso del agua.
- **Sequía Extrema (D3):** Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso del agua debido a su escasez.
- **Sequía Excepcional (D4):** Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos o pastos, riesgo excepcional de incendios, escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

La Figura 2.7, muestra la sequía de los años desde el 2003 y parte del 2015, del mismo modo varias categorías de sequía según la clasificación mencionada. Se puede observar como en los años 2011 y 2012 parte del 2013 se presentó períodos de sequía de clasificación D4 (Sequía Excepcional).

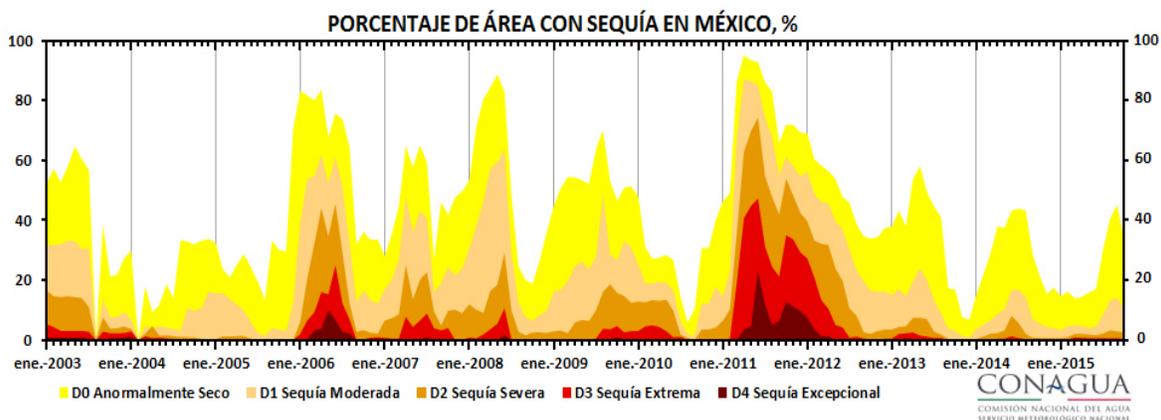


Figura 2.7 Gráfica de la sequía nacional en el país con su respectiva clasificación de intensidad de sequía y su evolución a través de los años (CONAGUA, 2015)

## **2.4 Causas de la sequía**

Dentro de las causas de la sequía, se pueden englobar dos grandes conceptos de origen natural, el cual está relacionado con el fenómeno de “El Niño”, la ubicación geográfica en la que se encuentra la región a estudiar, y el origen antropogénico originado por la deforestación, desgaste del suelo, entre otros.

### **2.4.1 Origen Natural**

#### **2.4.1.1 Oscilaciones de “El Niño”**

El término “El Niño” originalmente se aplicó a un débil calentamiento en la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a lo largo de costas de Perú y Ecuador, que se observaba cercano al periodo Navideño (de ahí el nombre del “El Niño” asociado a El Niño Jesús). En las últimas décadas, se ha observado que este calentamiento de la TSM se presenta en una región mucho más extensa que se extiende desde el Pacífico, hacia el Pacífico tropical del este, a lo largo de la línea ecuatorial modificando patrones climáticos globales. El calentamiento del TSM en una fase de “El Niño”, es cuando los vientos del este o alisios en el Pacífico se debilitan y el agua cálida del Pacífico oeste recorre hacia el este a lo largo de la línea ecuatorial, genera calor en la atmósfera y nubes de convección, por eso llueve en lugares donde normalmente llueve poco y sequías en lugares donde es normal la lluvia (CONAGUA, 2010; Trenberth, 1997).

Actualmente, este fenómeno natural se conoce como El Niño-Oscilación del Sur, o ENOS, siendo parte fundamental del sistema global climático, resultado de una fluctuación interanual del sistema Océano-Atmósfera en el Océano Pacífico Ecuatorial (CONAGUA, 2010).

#### **2.4.1.2 Ubicación geográfica**

Existen factores que determinan el clima de nuestro país. La sequía puede presentarse en cualquier tiempo y lugar, sin embargo, la ubicación geográfica es

## 2. GENERALIDADES

un factor físico clave para la determinación de la sequía que se puede presentar eventualmente en Nuevo León y los otros estados. La dinámica de la circulación general de la atmósfera, que en conjunto forman dos cinturones de alta presión atmosférica localizados en latitudes cercanas a los 30° Norte y Sur, ocasionado grandes desiertos del mundo. Por su ubicación geográfica, la porción sur de México se encuentra en la zona intertropical de la Tierra, la parte norte se localiza en la zona templada. Nuestro país se halla a la misma latitud que los desiertos del Sahara y Árabe (Figura 2.8; CONAGUA, 2013).

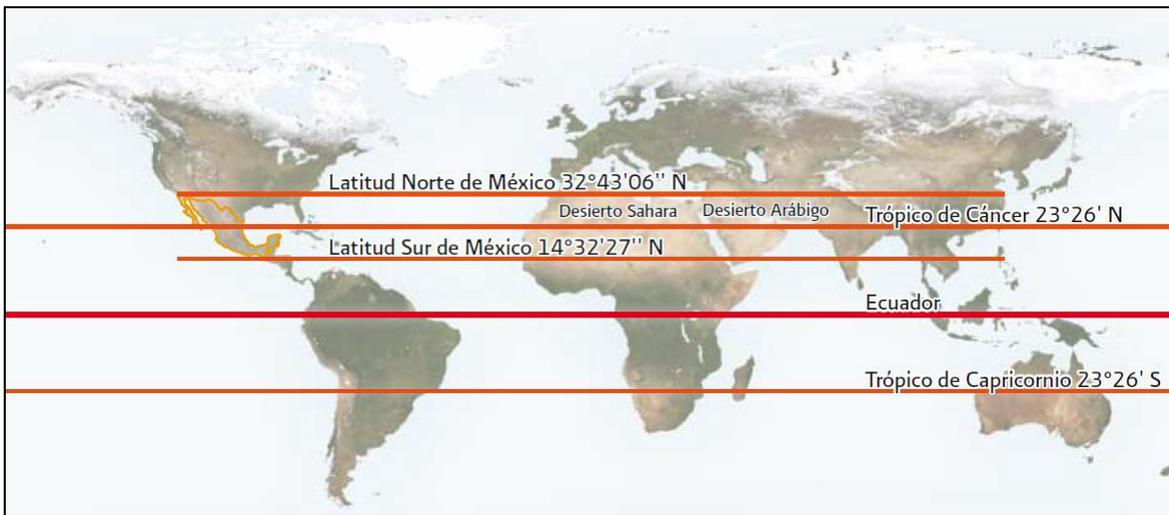


Figura 2.8 Trópicos de Cáncer que pasa por la República Mexicana, a la altura de los desiertos de Sahara, Árabe (CONAGUA, 2011)

Dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial (CONAGUA, 2011).

### 2.4.2 Origen antropogénico

Dentro del proceso que puede generar las actividades humanas y que influyen en la sequía, así como en otros fenómenos hidrometeorológicos son la quema de combustibles fósiles, la tala excesiva de bosques, generando tal vez en

## 2. GENERALIDADES

pequeña escala o acelerando el cambio climático, el deshielo de los glaciales que conlleva un aumento de nivel de mar, la frecuencia de sequías, tornados y huracanes (Ortega-Gaucin, 2012).

De manera local la deforestación en áreas determinadas genera cambio del suelo, haciendo más susceptibles y vulnerables por la falta de agua y generando áreas de grandes erosiones eólicas (desertificación).

### **2.5 Hidrología**

El área de estudio, se encuentra dentro de la Región Hidrológica del Río San Fernando-Soto La Marina (RH-25), dentro de esta se encuentra la Cuenca del Río San Fernando, abarcando una superficie de 1708 km<sup>2</sup> (INEGI, 2015) y al interior de esta, la subcuenca el arroyo Camacho. Su principal colector es el arroyo El Anegado, en el cual confluyen otros arroyos pequeños, como: El Huizache, El Rosario, Bolaños, La Rosita, El Indio, El Saucito, La Reforma, La Lajilla, y El Bagre (Figura 2.9) (Cruz-Vega, 2008).

El drenaje es de tipo dendrítico espaciado y en él se reconoce como principal flujo superficial el arroyo La Castaña. En este confluye un conjunto de pequeños tributarios, así como también el arroyo El Jabalí que es el principal colector de la Presa El Cinco y el Arroyo El Jardín, con direcciones S y SW del área (Cruz- Vega, 2008).

Las corrientes principales de la zona son, el Río Pablillo que nace entre los cerros Pablillo e Infiernillo (3,167 m.s.n.m.). Su dirección principal de flujo es SW-NE, el patrón de drenaje es de tipo rectangular enrejado en el área de la Sierra Madre Oriental desembocando en la presa José López Portillo (Cerro-Prieto), después de atravesar la ciudad de Linares (Dávila-Porcel, 2011).

El acuífero en el área de estudio, recibe el nombre de Citrícola Sur, el cual tiene una recarga media anual de 75.1 Mm<sup>3</sup>/año, con una extracción de bombeo de aproximadamente 28 Mm<sup>3</sup>/año, descarga natural comprometida (suma de

## 2. GENERALIDADES

volúmenes de agua concesionados de los manantiales y el caudal base de los ríos) corresponde a 47 Mm<sup>3</sup>/año , volumen concesionado de agua subterránea es de 57.1 Mm<sup>3</sup>/año y una disponibilidad de agua subterránea de -29.1 Mm<sup>3</sup>/año, indicando que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad Zona Citrícola Sur (CONAGUA, 2015).

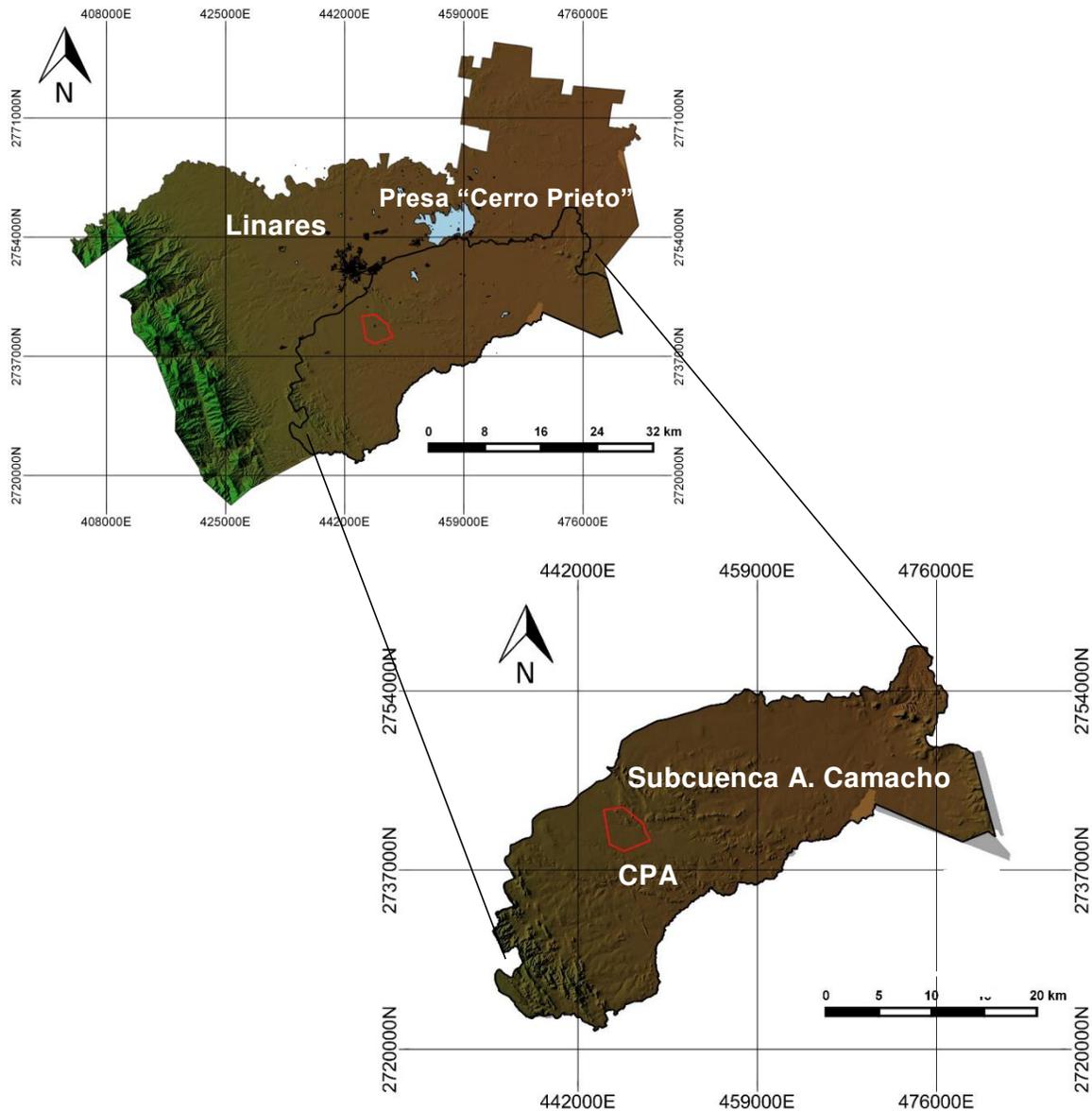


Figura 2.9 Localización de la subcuenca Arroyo. Camacho en donde se encuentra el área de estudio, marcada como referencia se tiene la Cd. de Linares (INEGI 2015)

## 3. GEOLOGÍA

### 3.1 Geología Regional

#### 3.1.1 Sierra Madre Oriental y su estratigrafía

La Sierra Madre Oriental (SMO), es una cadena montañosa descrita como un macizo montañoso rugoso, angosto y alargado, situado al E de la República Mexicana, es una unidad fisiográfica, con más de 800 Km de longitud y de 80 a 100 Km de amplitud, Se extiende desde Parral, Chihuahua hasta Zongolítica, Veracruz, en la parte de Parral la SMO sufre una flexión con orientación E-W. (López-Ramos, 1980).

En términos geológicos, la SMO es el producto del levantamiento y la deformación de las rocas principalmente mesozóicas, incluidos su basamento heterogéneo; de igual manera corresponde a una franja del frente plegado y cabalgado durante la deformación Laramide, también denominada Hidalguense por De Cserna en 1960 (Eguiluz *et al.*, 2000; Padilla y Sánchez, 1978). Esta cadena montañosa originada por el plegamiento y fallamiento intenso de rocas sedimentarias marinas de edad Mesozoica se debió a los movimientos tectónicos orogénicos que culminaron en la Orogenia Laramide con etapas de deformaciones discontinuas y prolongas durante el Terciarios Inferior y Medio, con una estructura formada por plegamientos alargados orientados NNW-SSE con transporte tectónico ENE (López- Ramos, 1980; Padilla y Sánchez, 1982; Chávez *et al.*,2011).

La estratigrafía de la SMO esta compuesta por paquetes sedimentarios que fueron depositados en una margen pasiva relacionados al desarrollo de la apertura del Golfo de México (Figura 3.1).

### 3. GEOLOGÍA

La apertura y evolución del Golfo de México, está asociado con la separación del supercontinente denominado Pangea, este continente se fue rompiendo con extensos sistemas de *rift*, a causa del movimiento de las placas tectónicas. A finales del Triásico y principios del Jurásico, cuando Norteamérica empezó a separarse de Sudamérica, fuerzas tensionales dieron lugar a fosas tectónicas que fueron rellenadas por capas rojas y rocas volcánicas (López-Ramos, 1981). Durante el Jurásico Medio, se produce una invasión por aguas marinas provenientes del Pacífico, rellenando las áreas dejadas por las fosas tectónicas favoreciendo el depósito de grandes volúmenes de sal en la zona central de la cuenca.

Para el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Tardío la sedimentación estuvo dominada por carbonatos, cambiando a clásticos a principios del Paleógeno. Durante el Cenozoico predominó la depositación de sedimentos terrígenos clásticos en el Golfo de México. Los depositos evaporíticos y la subducción de bajo angulo de la placas Farallón por debajo de la Falla Nortamerciana, dispararon el Inicio de la Orogenia Laramide (Chávez *et al.*, 2011; González *et al.*, 2007 Padilla y Sánchez, 2007)

#### **3.1.2 Planicie Costera del Golfo de México y su estratigrafía**

Dentro de las provincias fisiográficas que tiene el área es la PCGM, el cambio topográfico más imponente de la SMO, está limitada al norte con el Río Bravo, Oeste con la SMO, al sur con el Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) y al este con el Golfo de México. Su significativo cambio topográfico con la SMO, consiste de lomeríos suaves que predominan el área (Figura 3.2; Lizárraga- Mendiola, 2003.

Geológicamente, la PCGM se encuentran las *Formaciones San Felipe y Méndez* por depósitos más recientes como lo son conglomerados y sedimentos aluviales. En tanto las *Formaciones San Felipe y Méndez* tienen edades del Cretácico Tardío descritas anteriormente mientras que los conglomerados y aluviones tienen edades del Paleógeno, Neógeno y Cuaternario. Diferentes

### 3. GEOLOGÍA

gradaciones de gravas de distinta composición provenientes de boleos de caliza, pedernal, arenisca y lutita, tienen alto grado de redondez evidenciando su origen y transporte desde la SMO (Dávila-Porcel, 2011).

Se produjeron depósitos de sedimentos continentales de tipo deltáico y lagunares, por la regresión marina en el Golfo de México. Consecuente se genera un cambio en el relieve topográfico y en la dirección de los flujos, los cuales pudieron provocar cambios en las facies de depositación (Galván-Mancilla, 1996).

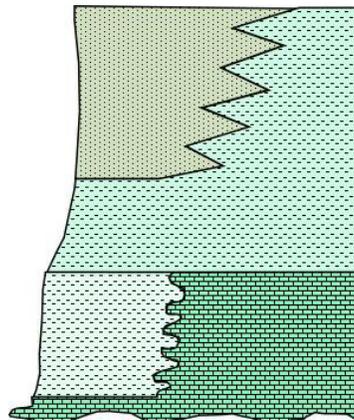
La *Formación San Felipe* de edad Coniaciano - Santoniano está compuesta por calizas intercaladas con lutitas compactada de color grisáceo y su color intemperizado es marrón amarillento. Como una cualidad que más destaca es que se exhibe horizontes bentónicos de color verde y areniscas de grano fino. Su contacto con la *Formación Méndez* es concordante y transicional (Padilla y Sánchez 1978, Dávila-Porcel 2011). Esta formación es identificada por De León-Gómez (1993) en la presa José López Portillo (Cerro-Prieto), se compone de secuencias de calizas silicificadas con bioturbación (capas blancas), areniscas nodulares, margas, rocas arcillosas sobrepuestas, areniscas verdes de grano fino a medio, limonitas verdosas de grano medio, lutitas arcillosas y capas de bentonita (Figura 3.1; De León-Gómez, 1993 tomado de Galván Mancilla 2013).

La *Formación Méndez*, con edad más reciente de Campaniano-Maastrichtiano, siendo esta de mayor importancia debido que se encuentra en el área de estudio, descrita por varios autores como Jeffreys 1910, Dumble 1915, Palmer 1927, Padilla y Sánchez 1982, la cual la describen como una unidad de depósitos uniformes de lutita gris-azul de varios metros de espesores, con borde interno arcilloso a semi-margoso; toda la secuencia consiste de capas irregulares de arenisca y caliza, con un color de intemperismo café, amarillento o blanco, con espesores de mínimo, 1458 m según pozo Linares 1 de PEMEX, a 3.5 km sureste de Lucio Blanco, Tamaulipas, son sedimentos que rellenan la mayoría de los sinclinales de la SMO, su relación estratigráfica superior es transicional y

### 3. GEOLOGÍA

concordante con los depósitos más recientes de aluviones o conglomerados (SGM, 2006). La *Formación Méndez*, cubre la mayor área en la zona estudio, los mayores afloramientos se localizan en el centro y en el noreste de la superficie de estudio sobre la Planicie Costera del Golfo de México. En las cercanías a los cursos fluviales se encuentra cubierta por conglomerados y aluviones. En la margen sur de la presa Cerro Prieto, De León-Gómez (1993), realizó la descripción de esta unidad, donde observó que la Formación Méndez subyace discordantemente por conglomerados cementados y en ella se pueden identificar vetas de fractura rellenas de calcita (Figura 3.1; De León-Gómez, 1993; tomado de Galván-Macilla 2013).

Grandes terrazas aluviales que se originan en las bocas de los cañones de la Sierra Madre Oriental cubren una gran parte de la Planicie Costera del Golfo de México. Estas terrazas están compuestas por gravas, arenas, limos y arcillas. Ruiz en 1990 describió y clasificó estas terrazas en la SMO y PCGM, distinguiendo cinco niveles diferentes que van desde la terraza más antigua (T5), hasta la terraza de inundaciones recientes (T1). Estos sedimentos aluviales fueron depositados sobre la Formación Méndez, que consisten en lutitas del Cretácico Superior. (Ruiz y Werner, 1997; Galván- Mancilla 2013).



Unidades estratigráficas		Piso	Tiempo
Fm. Parras + Grpo. Difunta	Fm. Méndez	Maestrichtiano	Cretácico Superior
		Campañiano	
	Fm. San Felipe	Santaniano	
	Coniaciano		
Fm. Agua Nueva		Turoniano	

Figura 3.1 Formaciones que afloran en el área (Michalzik, 1988)

### 3. GEOLOGÍA

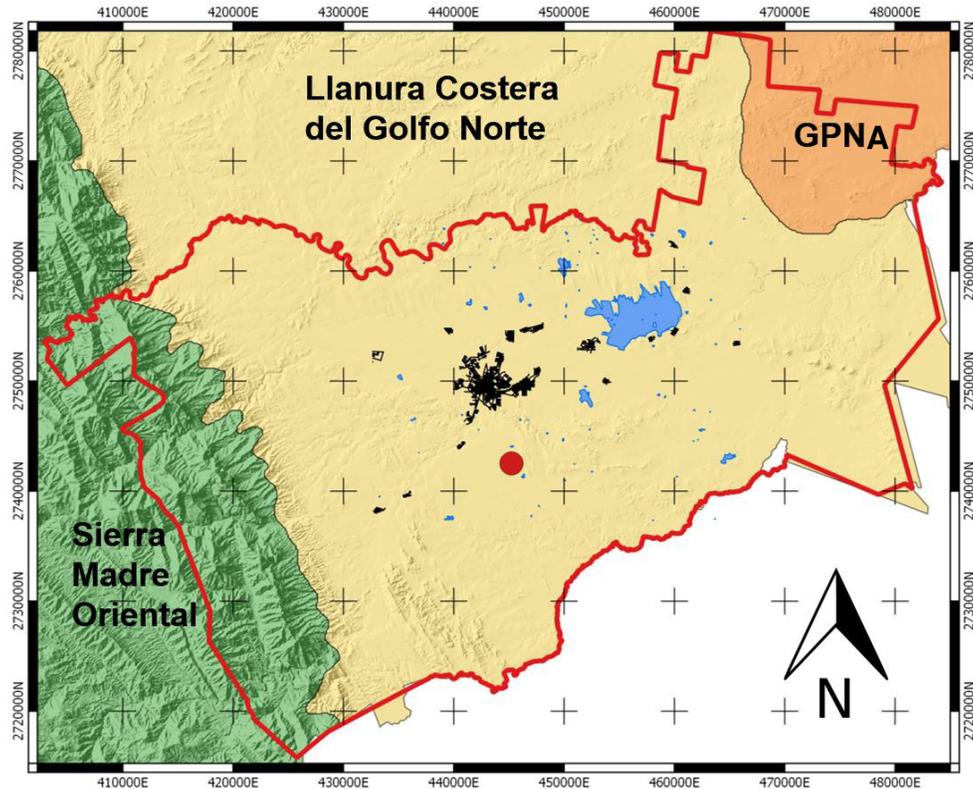


Figura 3.2 Provincias fisiográficas que rodean el área del municipio de Linares remarcada con rojo, abarcando la SMO, PCGM y la Gran Llanura o Planicie Norteamericana (GPNA; INEGI, 2015)

### 3.2 Geología Local

La geología del Sureste de Nuevo León, esta principalmente remarcada por las rocas más antiguas como lo son Margas de la Formación Méndez del Cretácico Superior, que en algunas partes aflora de manera natural, en otras está en contacto con aluviones con edades Cuaternarias, conglomerados y depósitos de terrazas de diferentes niveles que son el producto del transporte de antiguos cauces de ríos o arroyos (Lizárraga-Mendiola, 2003; Figura 3.3).

#### 3.2.1 Estratigrafía

##### 3.2.1.1 Formación Méndez

La *Formación Méndez* sobreyace a la *Formación San Felipe* de manera concordante y su contacto con la formación es transicional. De edad Campaniano al Maastrichtiano aflora en toda la PCGM y sus lomeríos. Esta formación está constituida por lutitas calcáreas de color gris, que se intemperizan a café amarillento y presentan algunas intercalaciones de margas de color gris verdoso. Algunos autores aproximan el espesor de la Lutita Méndez en el área de Linares-Galeana, como lo son T. Díaz, 1953, calcula el espesor de 550 m al S de la Cd. Victoria, el pozo Linares 1, PEMEX 1977, se encuentra a 3.5 km al SE de Lucio Blanco, Tamaulipas., tiene un espesor de 1458 m, esta formación constituye a la unidad más basal del área de estudio (Figura 3.2; Padilla y Sánchez, 1978; Carrillo-Bravo, 1961).

Generalmente la *Formación Méndez*, se encuentra muy intemperizada, en algunas ocasiones quedando en forma de agujas, en otras formando suelos. En gran parte del área estudiada se encuentra altamente fracturada y presenta vetas de calcita. El tipo de fracturamiento de esta formación es muy característico, de tipo concoidal, variando desde una estructura de laminillas, que cambian de una coloración gris en la roca sana a café amarillento, hasta suelos. En las inmediaciones de la ciudad de Linares, se distribuye principalmente en el lomerío El Tepeyac-San Pablo, El Cerrito y el Cerro La Tortuga. En el Cerrito, se presenta en forma de material suelto o suelo arcilloso semiconsolidado, presenta un intenso fracturamiento, con extensión intra-fracturas desde pocos milímetros hasta ~2 cm, algunas de ellas con rellenos de calcita, mostrando en algunas zonas una cubierta de caliche en su superficie. Existen intercalaciones con estratos de areniscas masivas, cuyos espesores varían desde 0.4 hasta 1.5 m. Estas rocas presentan un fracturamiento alto y la extensión entre fracturas varía en ocasiones desde 1 hasta 10 cm (Figura 3.4; Galván-Mancilla ,2013).

### 3. GEOLOGÍA

Según Rangel-Rodríguez (1989), la *Formación Méndez* presenta poca estratificación y esta es posible reconocerla cuando se encuentran capas de arenisca intercaladas; sobre todo hacia la parte superior de la formación, donde se encuentran capas de areniscas calcáreas con espesores de delgados a gruesos. Se encuentra casi horizontal, presenta alto fracturamiento, es una característica muy importante para el almacenamiento de agua, aflora ampliamente en la PCGM y es visible en los costados de los lomeríos. Por otra parte, una de las características que se observan en esta formación, es que a partir de la homogeneidad de los materiales que la componen, intemperiza típicamente formando nódulos, que al resquebrajarse forman partícula alargadas o almendras; de ahí viene el nombre en el cual se le conoce como “almendrilla”.

#### **3.2.1.2 Conglomerados del Plioceno**

En el área de estudio aflora el conglomerado Reynosa, comprendido por un conglomerado polimíctico de clastos de diferentes diámetros y con una matriz arcillosa, que aflora en gran parte de la zona. Sobreyace discordantemente a la Formación Méndez. Los más antiguos conglomerados consisten de cantos rodados, de forma subredoneadas a redondeadas. La composición es principalmente calcárea.

Los tamaños de las gravas varían de 25 a 10cm. Rellenando los valles se encuentra depósitos compuestos por limos, arcillas ocasionalmente gravas y arenas, estos forman parte del suelo. (Figura 3.5; Rangel-Rodríguez, 1989).

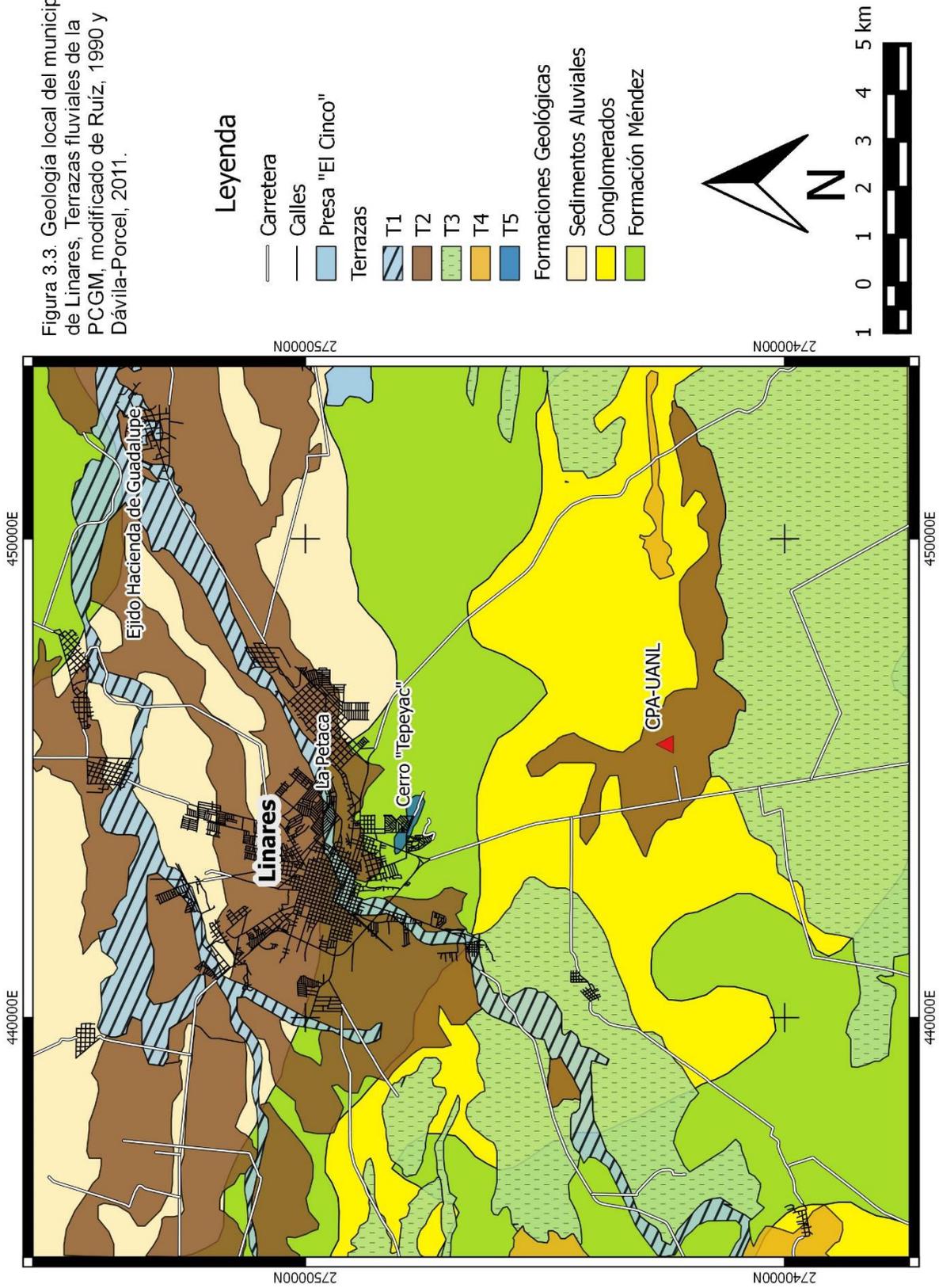
#### **3.2.1.3 Cuaternario**

##### *3.2.1.3.1 Los suelos aluviales*

La geología del cuaternario en el NE de México de la PCGM, así como también en el área de Linares, está compuesta por aluviones del Cuaternario, las terrazas, estos depósitos son compuestos por el material aluvial que fue transportado a través de antiguos cauces, como resultado del intemperismo, así

### 3. GEOLOGÍA

Figura 3.3. Geología local del municipio de Linares, Terrazas fluviales de la PCGM, modificado de Ruíz, 1990 y Dávila-Portel, 2011.



### 3. GEOLOGÍA



Figura 3.4 Afloramiento, coordenadas 14R 446959 E / 2741582 N al noreste del CPA de la *Formación Méndez*, altamente fracturada

como la erosión de las rocas que conforman la SMO y Sierra de San Carlos. Estos conglomerados se depositaron formando planicies, que posteriormente se vieron modificadas en distintos niveles como respuesta a un levantamiento de la región por efectos tectónicos, formándose las terrazas fluviales que se localizan topográficamente en distintos niveles (Figura 3.6; Galván- Mancilla 2013; Ruiz, 1990 citado por Lizárraga-Mendiola, 2003).

### 3. GEOLOGÍA

Las terrazas se originan por la depositación de materiales erosionados que forman planicies cerca de los ríos, los cuales son deformados por movimientos tectónicos originando niveles diferentes en el proceso de depositación, los que permiten realizar el estudio de antiguos cauces de agua superficial (Galván - Mancilla, 2013).

Estas generalmente muestran superficies planas y con pocas irregularidades, van desde la más antigua (T5) a la más joven (T1), las cuales se describen a continuación:

*Terraza (T5).*- Es considerada la más antigua, se encuentra en el NE en las partes alta de algunas colinas (Cerro del Tepeyac), en su cima el conglomerado está muy bien cementado por caliche. Se compone por gravas de caliza, lutita, materiales que provienen de la erosión de las rocas de la SMO. Tiene separaciones de hasta 1 cm entre gravas, que pueden encontrarse total o parcialmente rellenos de cristales de calcita (Dávila- Porcel, 2011, Lizárraga-Mendiola, 2003).

*Terraza (T4).*- Es un conglomerado compuesto por bloques, gravas y arenas con un cemento calcáreo; también, presenta lentes de arenas, arcillas y limos; en su parte superior se ha desarrollado una capa de humus de espesor variable y de color amarillento y amarillo rojizo con espesor variable (Dávila- Porcel, 2011).

*Terraza (T3).*- Presenta distribución aislada, su espesor puede variar entre 2 y 5 m, es un conglomerado formado por cantos rodados, gravas y bloques cementados por caliche. Al igual que la T4 contiene lentes de sedimentos más finos como: arenas, arcillas y limos. En su coronamiento, presenta un color café rojizo, producto de la alteración química de minerales de fierro, por contacto con la humedad del clima, en algunos sectores es parte del acuífero de gravas (Dávila- Porcel, 2011; Lizárraga-Mendiola, 2003).

*Terraza (T2).*- Son depósitos aluviales que principalmente se encuentran en las márgenes de los cauces de los ríos y arroyos. La T2 consta de material

### 3. GEOLOGÍA

poco consolidado con espesores que van desde 3 a 6 m. Los sedimentos más finos se presentan en forma de lentes de arena, limos y arcilla, la velocidad de flujo (capacidad de transporte de sedimentos) define el tamaño de los mismos. Esta unidad se constituye en parte del acuífero de gravas (Dávila- Porcel, 2011; Lizárraga-Mendiola, 2003).

*Terraza (T1).*- Los lechos de los ríos y arroyos constituyen directamente la T1, se trata de material que hoy en día es depositado en las márgenes o en los meandros de los ríos principales de la zona. La T1 está formada por una alternancia de horizontes de grava, arena y lentes de limo y arcilla. Posee alta permeabilidad al igual que la T2, por lo tanto, la conectividad hidráulica entre ríos-acuíferos es muy factible (Dávila- Porcel, 2011; Lizárraga-Mendiola, 2003).

En el área de estudio, afloran los tipos de Terrazas 2 y 3, considerando la ubicación que se tiene, presentado un acuífero de gravas, se ubica en una transición de la PCGM a la SMO (Figura 3.3).

#### *3.2.1.3.2 Caliche*

El caliche se presenta en el área sobre los depósitos de conglomerados y diaclasa de la Formación Méndez se encuentran “costras” de caliche color blanco, los espesores varían desde milímetros hasta centímetros. Se presentan en forma de costra ya sea alrededor de un canto rodado o entre una fractura. En zonas como el área de estudio que es de árido a semiárido, la poca precipitación y la gran evaporación se forman estas “costras” calcáreas o caliches las cuales llegan a construir capas de hasta 30cm de espesor (Rangel-Rodríguez, 1989).

### **3.3 Geología estructural del área de estudio y sus alrededores**

A pesar de que no fue necesario realizar una cartografía en el área de estudio, por los estudios de este tipo ya realizados por otros autores, se tienen

### 3. GEOLOGÍA

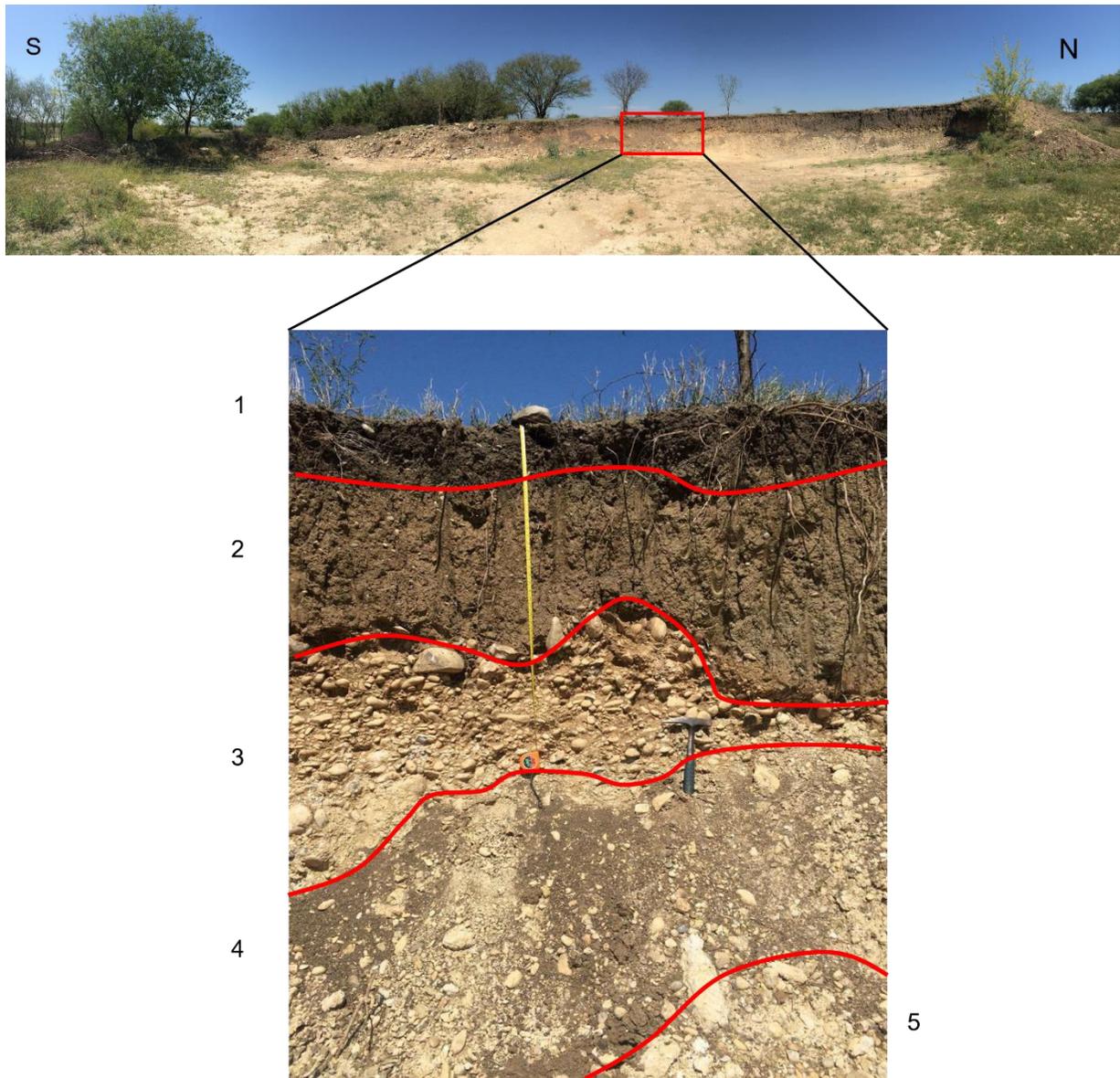


Figura 3.6 Depósitos de material aluvial proveniente de la SMO. 1) Capa vegetal (humus); 2) Suelo reciclado; 3) Aluviones (Canal de Gravas y conglomerados); 4) Lutita intemperizada de la Fm. *Méndez*; 5) Lutita del Fm. *Méndez*, en el área del CPA, con coordenadas 14R 445949 / 2741923

### 3. GEOLOGÍA

antecedentes claros que nos pueden definir la geología estructural del área de estudio y sus alrededores.

La geología escultural en el área de Linares, esta generalmente influenciada por la deformación de la SMO. El estudio de la geología estructural en el área es de gran importancia, esto debido a que se pueden representar direcciones del flujo de agua subterránea, así como también vías de transporte de lixiviados y contaminantes.

La *Formación Méndez*, esta densamente fracturada, mas no se segura que este fracturamiento se pueda proyectar a más profundidad. Los trabajos realizados por Rangel-Rodríguez, 1989, Lizárraga–Mendiola, 2003, Cruz-Vega, 2008 y De León-Gómez, 2015, dentro y en áreas circundantes, cerca del área de estudio, en donde se encontraban afloramientos de las lutitas de la Formación Méndez, como lo son: Cerro de la Tortuga, Cerro Tepeyac, El Cerrito, Loma la Luz y dentro del CPA.

Todos ellos concluyeron a una dirección preferencial en todos los afloramientos, determinaron dos grupos de familias de fracturamiento, del tipo *ac* el cual se origina en durante los procesos de deformación compresionales de la roca y se presenta en forma perpendicular al eje de la estructura tectónica y *bc*, estas se formaron en un estado de relajamiento después de la deformación tensional siendo paralelas al eje de las mismas estructuras tectónicas (pliegues). Las familias tipo *ac*: tienen orientaciones en general de 147°/89° y el tipo *bc*: con una orientación 67°/72°, fueron medidas en todos los trabajos con la brújula tipo *Clar*. (De León-Gómez, 2015).

En el área de estudio Rangel- Rodríguez (1989) encuentra fallas inversas y con alto grado de fracturamiento. Estas fallas se reconocen por estar mineralizadas con calicitas, también tienen cuarzo y algo de siderita. Los espesores que muestran son desde centímetros hasta 50 cm de espesor, en ocasiones pueden presentar ondulamientos. Se pueden reconocer hasta dos espejos de fallas que varían entre los 60°-70° NE. La clasifica como una falla inversa sintética por la concordancia que tienen con la estratificación.

## 4. HIDROGEOLOGÍA

### 4.1 Introducción

La hidrogeología se define como la ciencia que estudia la distribución y movimiento del agua subterránea abarcando la relación entre los materiales geológicos y los procesos con el agua. La evaluación de los recursos del agua subterránea, su comportamiento hidrodinámico y su disponibilidad para cubrir las necesidades de una población, deben formar parte esencial en la planeación de la administración actual y futura de los recursos hidrogeológicos de la zona (Lizárraga- Mendiola, 2003).

En la hidrogeología, hay varias formas de clasificar las formaciones geológicas según su comportamiento hidrológico, tomando en cuenta sus parámetros esenciales como: litología, permeabilidad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, transmisividad y porosidad. Dentro de la clasificación, los aspectos del material geológico y sus parámetros esenciales mencionados anteriormente, se puede determinar si es o no un buen conductor, almacenador de agua (Custodio & Llamas, 2001).

Según Custodio & Llamas, 2001, se describirán cada uno de ellos; el acuífero (derivado del latín *aqua*=agua y *fero*= llevar) está definido por unidad geológica que puede llevar, almacenar y transmitir agua, son económicamente explotables y buenos conductores.

De ahí se puede definir otros de menos importancia económica o según el uso que se le quiera dar. El acuitardo (derivado del latín *tardare*= retardar), está definido por aquella formación geológica en el cual su contenido de agua se transmite de una forma muy lenta, no son aptos para el emplazamiento de captaciones; al menos que se encuentre bajo condiciones especiales que permitan una recarga vertical llegan a hacer muy importantes.

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

El acuicludo (derivado del latín *claudere*= encerrar), está definido por una litología que contiene agua en sus poros incluso hasta la saturación, no la transmite por tanto no es posible la explotación. Por último, el acuífugo (derivado del latín *fugere* = huir), la litología es muy compacta que no contiene agua o no son capaces de transmitirla (Custodio, *et al.*, 2001).

### 4.2 Tipos de acuífero y su litología en el área

En el área de estudio se encuentra el sistema hidrogeológico el acuífero en el cual se mencionarán los tipos y su litología. Los acuíferos se pueden dividir dependiendo de sus propiedades litológicas de esta manera según su clasificación, los acuíferos tienen la facilidad de transmitir y almacenar agua, a pesar de que no todas las litologías tienen la misma cantidad de agua explotable. Según Werner (1996), se dividen en tres tipos de acuíferos (Figura 4.1):

1. **Acuífero de poros:** se trata de sedimentos sueltos en donde la conexión de estos son separadas, como lo son las gravas o arenas
2. **Acuífero de grietas:** son rocas consolidadas como areniscas calizas no karstificadas, basaltos y otras rocas extrusivas e intrusivas sin fracturas.
3. **Acuífero kárstico:** son las rocas que tiene disolución por agua y sufren de karstificación, calizas, dolomías, yeso.

Los acuíferos que se encuentran en el área son los de poros y grietas principalmente, esto debido a la litología que se presenta en el área de estudio y del mismo modo, se observaran hasta, donde llega cada uno y cuales su límite, para poder saber en qué lugares donde se aprovecha más agua. Además, los niveles freáticos del agua subterránea se localizan en el acuífero de grietas de las lutitas de la *Formación Méndez*.

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

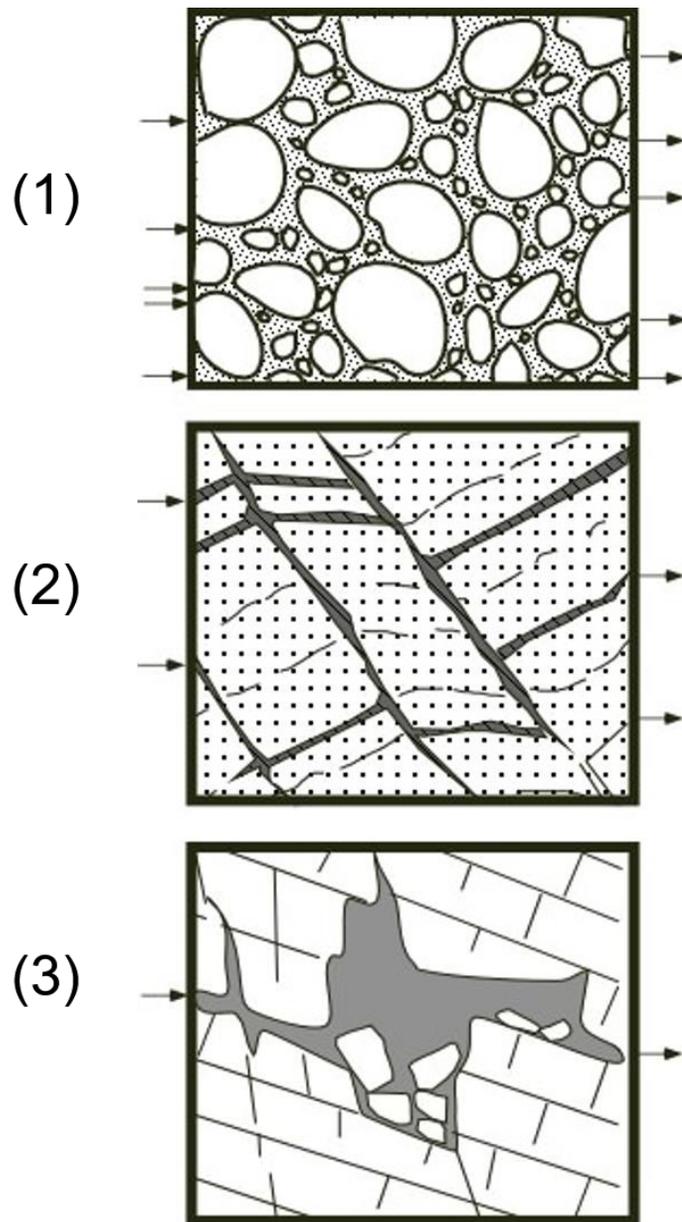


Figura. 4.1 Descripción de cada uno de los tipos de acuíferos, (1) Acuífero de poros; (2) Acuífero de grietas; (3) Acuífero Kárstico, la cantidad de agua que entra y sale está representada por la cantidad de flechas que se presentan en el inicio y fin (Werner, 1996)

### 4.3 Hidrogeología del área de estudio

En el área de estudio no se encuentran corrientes superficiales perennes, de lo cual el abastecimiento del agua, es a partir de la explotación de las aguas subterráneas, teniendo como fuente de agua un acuífero de grietas y poros. El CPA, se localiza en una zona de lomeríos con condiciones hidrogeológicas típicas y fenómenos naturales asociados a sistemas de flujo de que funciona como una zona de flujo intermedio y que tiene su zona de recarga en la SMO, siendo esta parte de la zona de transición del área (Lizárraga-Mendiola, 2003).

Los acuíferos de interés hidrogeológico en la zona de estudio, son los de gravas calcáreas o suelos arcillosos, ya que por su transmisividad alta, aportan gastos considerables, en general mayores que los 20 lps, siendo el principal interés la localización de estos, ya que en un solo aprovechamiento se puede obtener lo que en 4 o 5, pozos. Principalmente las aguas se obtienen del acuífero que conforman las Lutitas de la Formación Méndez (Galván-Mancilla, 2013).

La hidrogeoquímica del agua subterránea del CPA, refleja la fuente del agua, la litología del acuífero, y las condiciones químicas locales tales como temperatura, presión y potencial de óxido-reducción. Aunque no se realizó un estudio hidrogeoquímico, anteceden trabajos por Rangel-Rodríguez (1989) y el Proyecto PAICYT-(2006) dentro de los cuales se pueden ver reflejado la química del agua subterránea.

Según Rangel-Rodríguez (1989), realizaron un análisis físico-químico en distintos lugares de muestreo, distribuidos estratégicamente en el área. La clasificación que se encuentran en el área de estudios es en su mayoría calcáreo-bicarbonatadas con influencia de Sodio, excepcionalmente se encuentran en combinación con aguas bicarbonatadas-cloruradas y menos frecuentes con aguas cloruradas (Figura 4.3).

Para los años 2006 en el proyecto PAICYT se obtuvieron muestras de agua para igualmente caracterizar químicamente el agua subterránea del CPA que son del tipo Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl. Dentro de los años 1989-2006 las aguas no

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

han cambiado su características químicas a pesar de la cierta influencia de contaminantes debido a la actividades de ganadería y agricultura que se realizan, de igual manera concuerda con el tipo de litología que se tiene en el área consistente de un material arcilloso y carbonatado (Figura 4.2).

Las unidades hidroestratigráficas de la región, comprenden acuíferos con una unidad de gravas de edad cuaternaria, compuesta por canales de gravas aluviales, mientras que el área de estudio se identificó dos unidades, una de poros que pertenecen a las terrazas T2 y T3 como se había mencionada anteriormente y la perteneciente a el acuífero de fracturas, que consiste en las rocas altamente fracturadas debido a la deformación de la SMO, que pertenecientes a la Formación Méndez antes descrita. Aunque sus parámetros hidráulicos son diferentes, estos dos tipos de acuíferos están hidráulicamente conectados por el flujo del agua subterránea (Lizárraga- Mendiola, 2003).

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

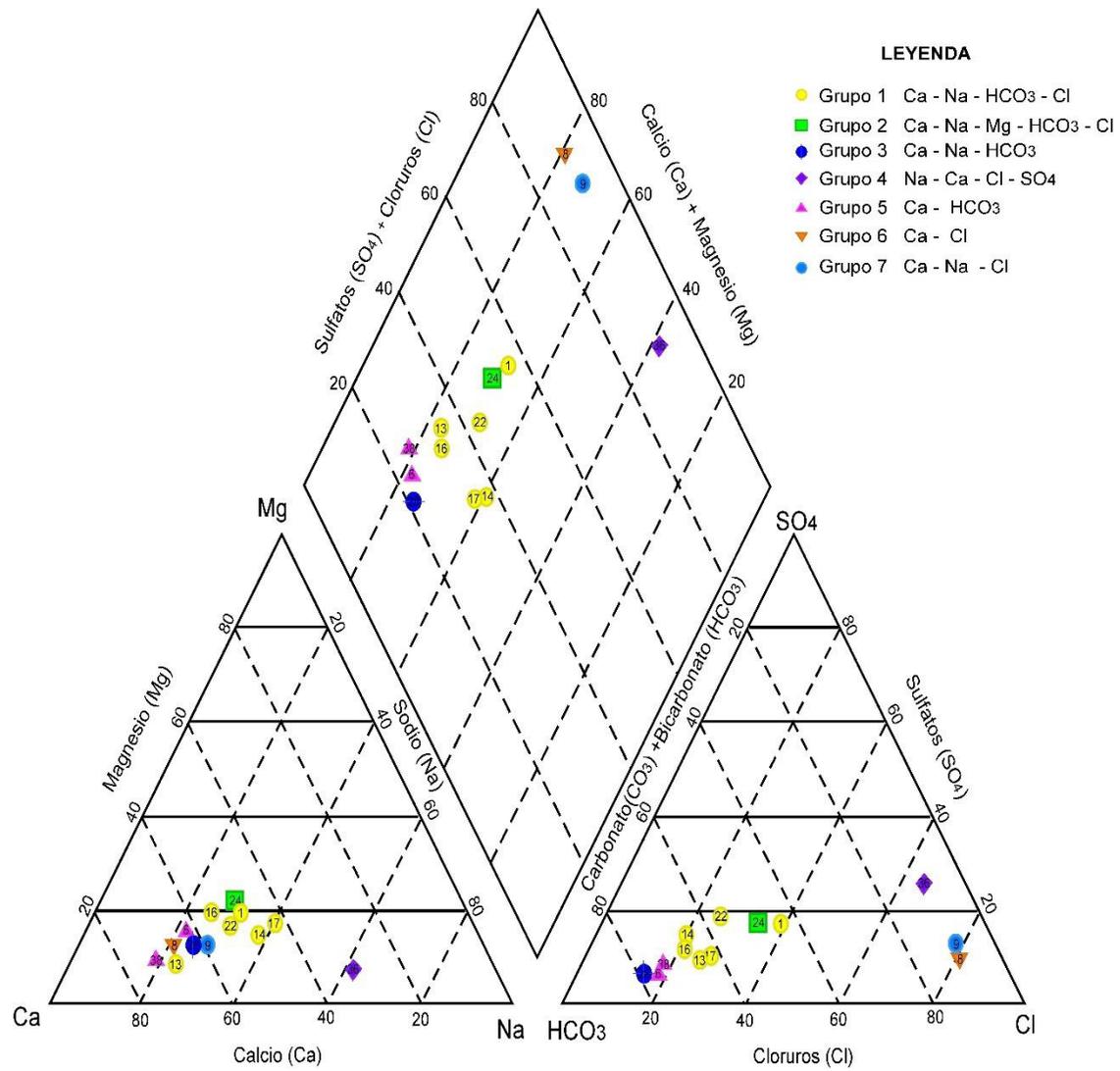


Figura 4.2 Diagrama de Piper elaborado por los datos del proyecto PAICYT- CT1202-05 (2006), del carácter químico de las aguas subterráneas en el CPA

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

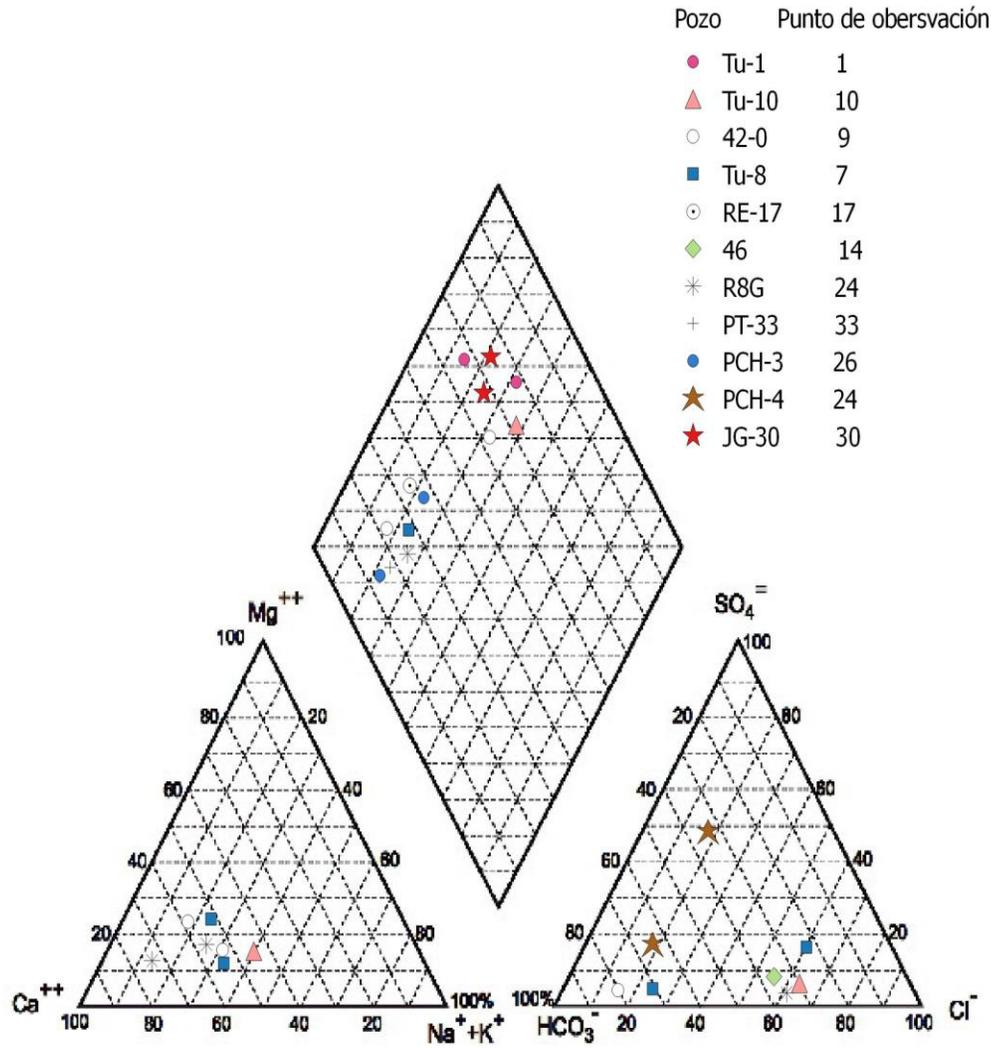


Figura 4.3 Diagrama de Piper, elaborado por Rangel-Rodríguez,1989, del carácter químico de las aguas subterráneas del CPA

## 4.4 Metodología hidrogeológica

En el área de estudio se llevó el control de 29 pozos, tomando en cuenta su distribución, buscando cubrir la mayor parte del área, así mismo se consideró su accesibilidad para la medición y su geología. Se realizaron tres campañas de monitoreo en diferentes aprovechamientos hidráulicos (pozos, norias) registrando información como la clave (CPA o CPA-FCF), tipo de aprovechamiento, localización, elevación en el terreno (msnm), y la profundidad del nivel freático. Los trabajos de campo, se vaciaron en Tabla 4 y 5.

En el trabajo de campo se utilizó, diferentes herramientas para las mediciones que fueron, un GPS (Magellan), Altímetro (SOKIA) (Figura 4.4) y Sonda hidrogeológica (SOLINST; Figura 4.5). Proporcionado por el laboratorio de Ingeniería de Geología e Hidrogeológica de la Facultad de Ciencias de la Tierra.



Figura 4.4. Instrumentos utilizando en campo para la medición de pozos a) GPS (Magellan), b) Altímetro de precisión (SOKIA)

#### 4. HIDROGEOLOGÍA



Figura 4.5 Sonda hidrogeológica Solinst de 100 m del Laboratorio de Ingeniería Geológica e Hidrogeología

La metodología utilizada durante el desarrollo de este estudio consistió primeramente en ubicar los pozos del CPA, utilizando el GPS y el altímetro, los cuales se sitúan en un lugar fijo, para que estos se nivelen y tener una medida exacta. Mientras se establecen las medidas, se prepara la sonda, una vez que tenemos la sonda en función, pasamos a verificar si el pozo posee agua, así mismo verificar, si no hay algún tipo de peligro al alrededor del pozo, para después introducir la sonda al pozo con precaución, para que de este modo no se tengan problemas como sería, la pérdida del instrumento; al momento de que esta toca el agua la sonda emitirá un sonido, que nos indica que la punta de la sonda llegue al espejo de agua, de esta manera se registra la medida que da la sonda, a partir de la cinta de esta misma (Figura 4.6).

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

Tabla 4.1 Localización de los aprovechamientos hidráulicos de los datos medidos en campo.

Clave	COORD X	COORD Y	M.S.N. M (m)	Tipo de pozo	Referencia
CPA1	446157	2742436	375.2	no equipado	Pozo enfrente de la pila azul
CPA2	446134	2742552	377.8	no equipado	Cerca del que no se puede medir que era el CPA1 (CIENPIES)
CPA3	446128	2742621	378.5	no equipado	Tanque de presión de agua (Negro)
CPA4	446318	2742097	372.6	no equipado	Pivote, ORILLA DEL CAMINO INICIO DEL PIVOTE
CPA5	446387	2741944	371.9	no equipado	Casa de venado, tapado con bloque de piedra
CPA6	446436	2741874	370.2	equipado con tanque de presión	casa de venado 2, caja toshiba houston
CPA-FCF-7	445148	2742703	376.4	no equipado	vivero FCF
CPA8	445886	2742032	371.3	no equipado	atrás de maquinaria antiguo papalote
CPA9	446082	2741947	370.0	no equipado	PIVOTE FINAL
CPA10	446484	2741092	364.1	semi-equipado	bomba de los chapotes
CPA11	446498	2741026	367.1	no equipado	sur del CPA10
CPA12	446020	2740528	369.4	no equipado	Reyes 2
CPA13	445642	2741080	373.3	equipado	carpintería
CPA14	445707	2742503	385.8	EQUIPADO	Establos la loma
CPA15	444610	2742220	381.4	equipado	Oficinas CPA
CPA16	445211	2742261	377.3	no equipado	Puente galvanizlo
CPA17	445166	2742167	377.8	no equipado	casas de residencia (Enfrente)
CPA18	445243	2742180	377.2	NORIA	NORIA
CPA19	445346	2742157	376.5	equipado	pozo pelado
CPA20	445376	2741774	374.0	no equipado	atrás de recidencias y a un lado del pozo vacío
CPA21	445440	2741396	373.1	no equipado	lab. De veterinaria derecha
CPA22	447465	2741349	359.6	no equipado	(tercer poste, garrapatas, caminata larga)
CPA23	447201	2741426	362.8	no equipado	corral de venados cerca de caballos
CPA24	446963	2741691	370.0	no equipado	camino de regreso del corral de los venados
CPA-FCF-25	445230	2742513	376.0	no equipado	atrás de cafetería
CPA26	446115	2741876	369.9	no equipado	pivote 2
CPA27	444500	2740573	377.8	equipado sin funcionar	carretera (panoramico)
CPA28	444866	2739856	378.1	no equipado	Los Ebanos , antigua papalote
CPA29	444957	2739904	377.7	no equipado	carretera enfrente de "Los Ebanos"

4. HIDROGEOLOGÍA

RANGEL-RODRÍGUEZ, 1989				PAICYT 2006										
Seqüía				Lluvia				Seqüía						
COORD X	COORD Y	M.S.N.M (m)	CLAVE	Nivel Freático		Nivel Piezométrico	CLAVE	Nivel Freático		Nivel Piezométrico	Nivel Freático	Nivel Piezométrico		
				Nivel Freático	Piezométrico			Nivel Freático	Piezométrico			Nivel Freático	Piezométrico	
446157	2742436	375.20	P9	23.00	352.20		CPA1	24.14	351.06		17.46	357.74	28.31	346.89
446134	2742552	377.80	P36	32.00	345.80		CPA2	S/D	S/D		S/D	S/D	S/D	S/D
446128	2742621	378.50	P34	30.00	348.50		CPA4	27.82	350.68		20.21	358.29	31.87	346.63
446318	2742097	372.60	7A	23.00	349.60		CPA23	21.40	351.20		14.51	358.09	21.63	350.97
446387	2741944	371.90	6A	23.00	348.90		CPA24	21.44	350.46		14.55	357.35	21.91	349.99
446437	2741874	370.24	4A	24.00	346.24		CPA26	22.11	348.13		15.29	354.95	22.32	347.92
445148	2742703	376.41	SECO	SECO	SECO		CPA18	SECO	SECO		SECO	SECO	SECO	SECO
445886	2742032	371.25	10A	27.00	344.25			S/D	S/D		S/D	S/D	S/D	S/D
446082	2741947	370.00	8A	23.00	347.00		CPA22	20.27	349.73		12.55	357.45	19.52	350.48
446484	2741092	364.14	14A	16.00	348.14		CPA28	S/D	S/D		S/D	S/D	S/D	S/D
446498	2741026	367.10	17A	15.00	352.10		CPA29	12.81	354.29		5.64	361.46	S/D	S/D
446020	2740528	369.39	46D	21.00	348.39		CPA7	16.36	353.03		12.33	357.06	16.35	353.04
445642	2741080	373.34	10	S/D	S/D		CPA9	19.10	354.24		16.29	357.05	18.39	354.95
445707	2742503	385.80	3	27.00	358.80		CPA16	42.94	342.86		39.71	346.09	42.90	342.90
444610	2742220	381.40	FG1	21.00	360.40		CPA31	23.90	357.50		22.42	358.98	23.42	357.98
445211	2742261	377.30	P21	19.00	358.30		CPA13	18.20	359.10		12.43	364.87	18.35	358.95
445243	2742180	377.23	PN9	21.00	356.23		CPA11	18.83	358.40		13.45	363.78	S/D	S/D
445346	2742157	376.48	P20	19.00	357.48		CPA10	18.27	358.21		11.50	364.98	17.41	359.07
445376	2741774	374.00	P2	30.00	344.00		CPA32	S/D	S/D		S/D	S/D	S/D	S/D
447465	2741349	359.60	29C	20.00	339.60		CPA5	12.80	346.80		10.73	348.87	12.14	347.46
447201	2741426	362.80	27A	21.00	341.80			S/D	S/D		S/D	S/D	S/D	S/D
445230	2742513	376.00	P32	22.00	354.00		CPA17	20.16	355.84		14.83	361.17	S/D	S/D
446115	2741876	369.93	S/D	S/D	S/D			S/D	S/D		S/D	S/D	S/D	S/D
444500	2740573	377.84	1B	21.00	356.84		CPA35	19.20	358.64		16.62	361.22	18.10	359.74
444866	2739856	378.14	PAPALOTE	25.00	353.14		CPA34	21.57	356.57		19.30	358.84	20.61	357.53
444957	2739904	377.71	21	24.00	353.71		CPA36	21.78	355.93		19.36	358.35	20.70	357.01

Tabla 4.2 Datos hidrogeológicos de cuatro trabajos analizados (1989,2006, 2011 y 2004)



#### 4. HIDROGEOLOGÍA

Por último, se registra en una base de datos las mediciones que dan el GPS y el altímetro, se finaliza con la limpia de la sonda con agua destilada, para que en los siguientes pozos no provoquen errores al momento de hacer la medición. De esta manera se pondrá en práctica con el resto de los pozos medidos.

En lo que correspondió al trabajo de gabinete, se realizó el estudio y análisis de los datos hidrológicos que se obtuvieron a Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Dentro de lo cual fue la recolección de datos hidrológicos de diferentes estaciones climatológicas más próximas al área de estudio (Figura 4.7), como lo son: Linares, Las Crucitas, La Granja, San Francisco, Benítez/ FCT.

Así del mismo, se vaciaron los datos levantados en campo y se obtuvieron los datos de diferentes trabajos (1989, 2006, 2011 y 2014) para el análisis y generación de las cartas piezométricas, Tabla 4. El resultado de esta metodología, fue la localización de los aprovechamientos hidráulicos del CPA, para poder a partir de esta generar el levantamiento de datos en un periodo de tiempo, teniendo ya establecido un patrón, localización de pozos y con ello un registro fotográfico del pozo, para su referencia (Figura 4.8 y 4.9 ; ANEXO 1).

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

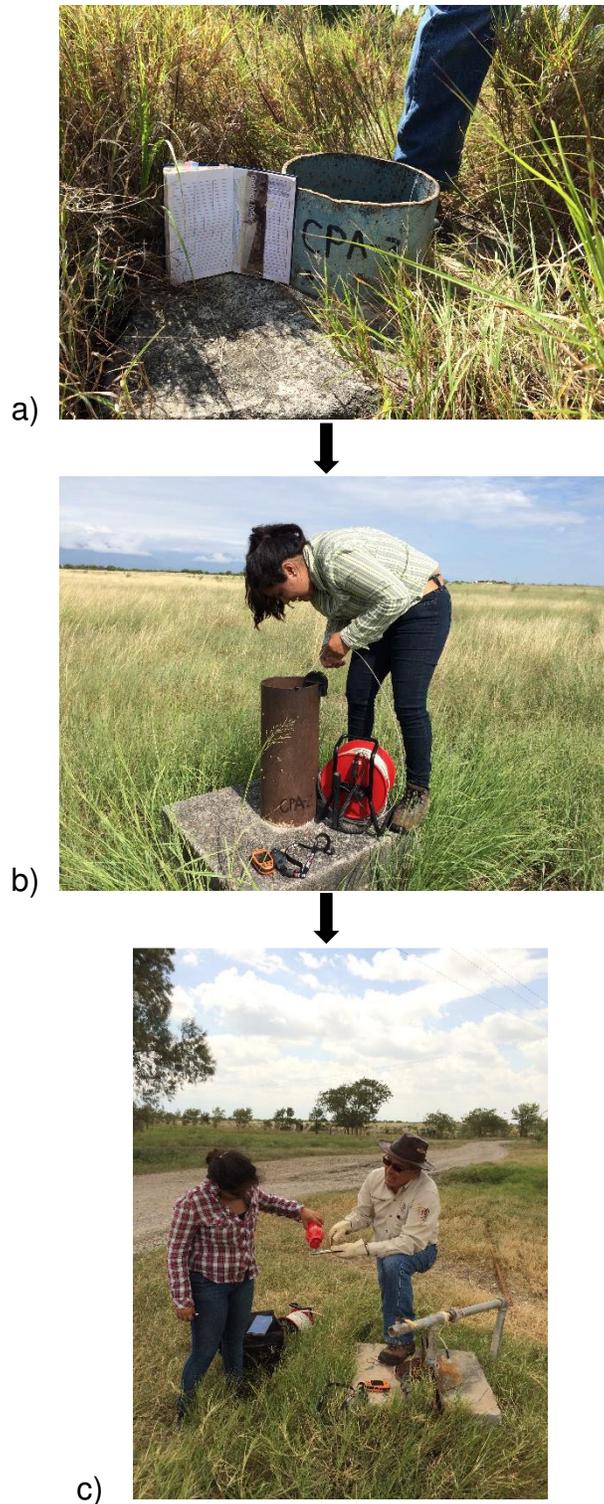


Figura 4.6 Proceso para la medición de los pozos. a) Se verifica que no exista riesgo y tenga agua el pozo, b) se introduce la sonda esta emitirá un sonido al tocar el espejo del agua, c) limpiar la sonda, para que no genere ruidos en los siguientes pozos

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

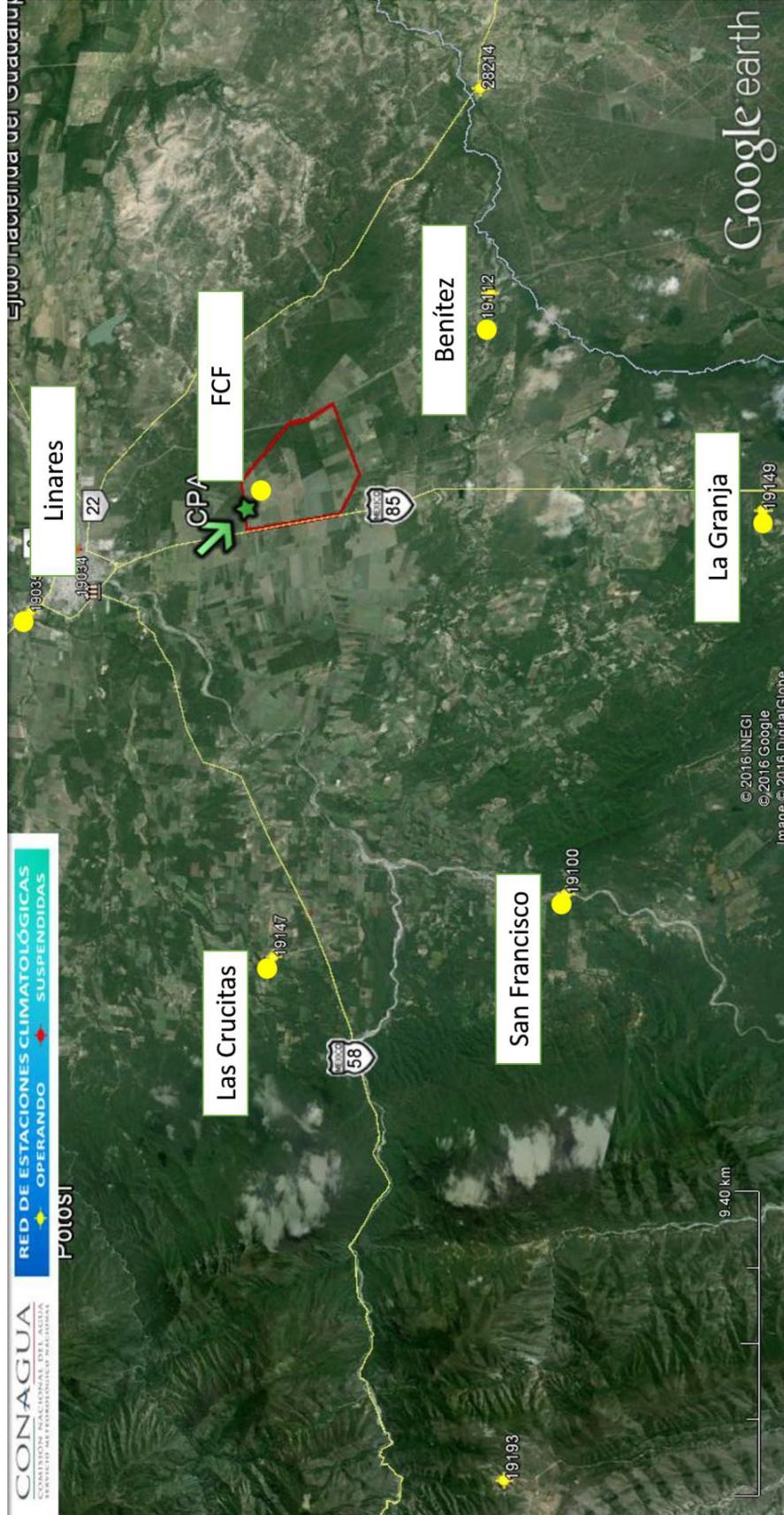
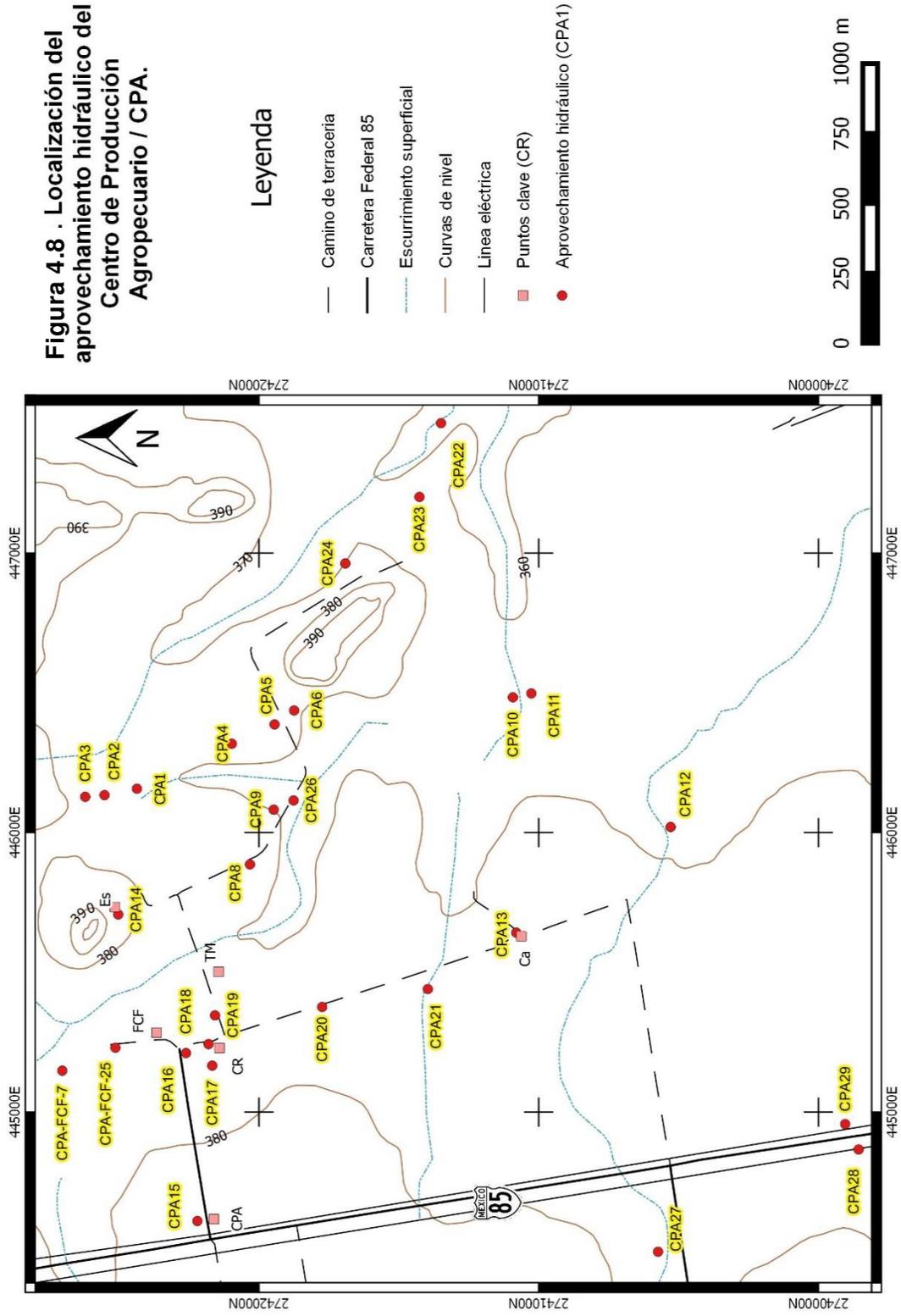


Figura 4.7 Imagen satelital de la ubicación de las estaciones climatológicas circundantes en el área de estudio (marcado con verde). Tomada de Google Earth 2015 e INEGI 2015

**Figura 4.8 . Localización del aprovechamiento hidráulico del Centro de Producción Agropecuario / CPA.**



## **5. RESULTADOS Y ANALISIS DE LA PIEZOMETRIA**

### **5.1 Piezométrica**

Para la evaluación de los recursos del agua subterránea, el comportamiento hidrodinámico y la disponibilidad para cubrir las necesidades del CPA, es necesario realizar de forma periódica un análisis de la zona, debido a que el acuífero de esta área presenta grandes presiones en cuestión agropecuaria, así como de asentamientos humanos.

Las presiones se ven influenciadas por los fenómenos de temporada como lo son la sequía, siendo esta la que más afecta, la temporada de lluvia, que es la que más favorece debido a las actividades que se realizan en el área, y la temporada ordinaria que, pertenece a un ambiente ideal para la zona. Debido a estos cambios de máxima y mínima precipitación que ocurren durante un año es necesarios conocer la vulnerabilidad del acuífero.

Como herramienta de mayor importancia en la preservación de los acuíferos, se tiene como implementación el monitoreo de redes piezométricas, en donde se obtienen base de datos en campo para así identificar las áreas o pozo de mayor vulnerabilidad y mantener un control de dichos pozos.

En este capítulo se analizaron las condiciones hidrogeológicas, la relación que tiene en diferentes periodos de tiempo, así como temporadas tanto de sequía, lluvia y ordinario, relacionando la influencia que tiene los periodos y temporada en las actividades agropecuarias que aumentan año con año.

### **5.2 Configuración Piezométrica**

Con base a la información recolectada en el periodo 2014-2015 y los datos obtenidos por Rangel-Rodríguez (1989), PAICYT (2006) y de la sequía (2011),

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

se elaboró las cartas piezométrica, cuyo principal objetivo consiste en representar la configuración espacial en 2D del nivel piezométrico del acuífero, identificar las direcciones principales de flujo subterráneo, el gradiente hidráulico, las condiciones de permeabilidad (Figuras 5.2-5.10).

Para realizar la construcción de la carta piezométrica se utilizó el método del triángulo hidrológico, el cual consiste en la interpolación lineal de los niveles piezométrica entre los diferentes puntos de elevación que va ligado con puntos adyacentes, lo que permite el trazo de las curvas piezométrica. En este caso se utilizó el software SURFER 10 y la digitalización de la carta fue realizada con el software QGIS 6.

### **5.3 Monitoreo temporal**

Para conocer y observar las variaciones en el nivel piezométrico y su relación con la precipitación se creó una base de datos mensual de las precipitaciones, del periodo de tiempo en el cual se estuvo midiendo. Estos datos fueron obtenidos a partir de CONAGUA, con el objetivo de determinar si afecta o no la sequía en el área, la vulnerabilidad del acuífero en un tiempo determinado y si el suelo es capaz de soportar este fenómeno sequía, sin afectar sus manejos.

En la Figura 5.1, se graficaron tres estaciones climatológicas (Camacho, Las Crucitas y FCF), que presentan datos hidrológicos completos de los años 2014-2015, esto con el fin de abarcar el tiempo en el que se trabajó en campo. Dentro de la primera campaña realizada en el mes de julio 2014, muestra una precipitación media mensual de 43 mm entre las estaciones, dando énfasis a la estación climatológica que se encuentra dentro del área (estación climatológica FCF) se presentan precipitaciones medias mensuales de 13.5 mm.

Después en la segunda campaña, realizada en diciembre del 2014, se presenta una estabilidad de precipitaciones, por la cual se tomó como época ordinaria, teniendo precipitación media mensual de 54 mm, mientras que en la estación climatológica FCF, cuenta con precipitaciones promedio de 46 mm.

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

Finalmente, en la tercera campaña, fue realizada en el mes de agosto del año 2015, tomándose como época de lluvia, consecuentemente por la acumulación de precipitaciones de los meses anteriores marzo, mayo; se ve reflejada en la carta piezométrica. Cuenta con una precipitación media mensual de 48 mm.

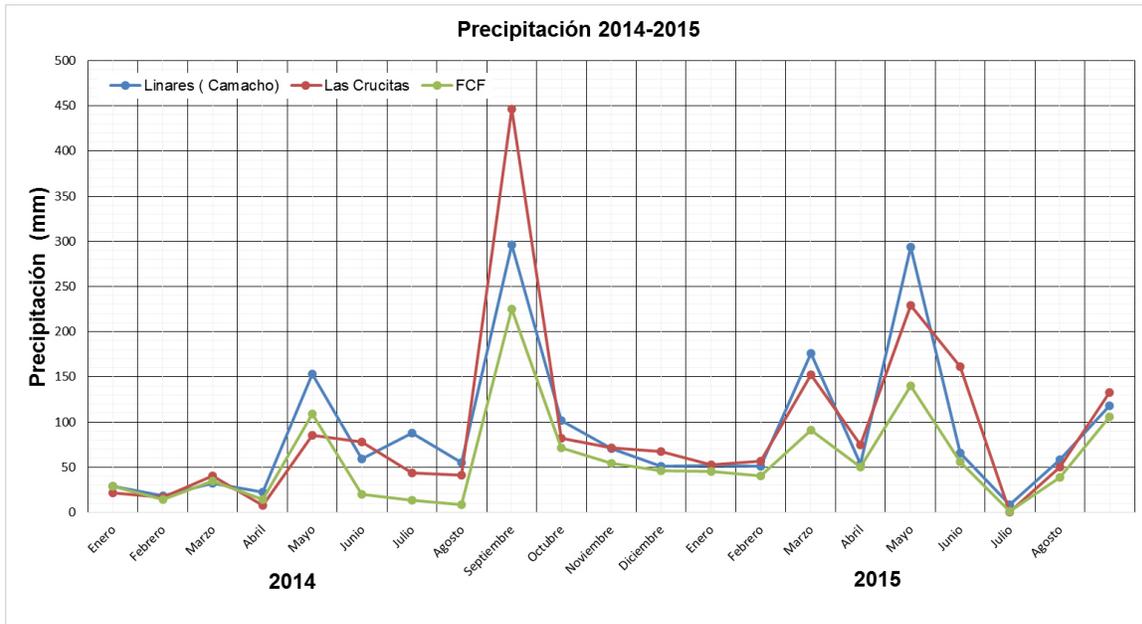


Figura 5.1 Grafica precipitaciones de los años 2014-2015 de 3 estaciones climatológicas (CONAGUA, 2015)

### 5.4 Piezometría de los 5 periodos de sequía del periodo 1989, 2006, 2011 y 2014.

Para conocer las variaciones hidrodinámicas del agua subterránea, es necesario conocer a través del tiempo su comportamiento, es por eso que se tomaron principalmente épocas de sequía de diferentes trabajos y con ello diferentes años para analizar los cambios a través del trabajo. En este caso se analizarán 4 diferentes cartas piezométrica realizadas a partir de los datos de diversos trabajos (Figuras 5.2-5.5), como el de 1989 de Rangel, el proyecto PAICYT, 2006, así como también los datos tomados el año de sequía del 2011 por el Dr.

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

Héctor de León en el área de estudio y por último los datos de sequía de los años 2014-2015.

Para realizar las cartas piezométricas se tomaron en cuenta los pozos que coincidieran con los del trabajo actual, de igual manera a estas se le asignó paletas de color azul, en donde los más claros los de nivel piezométricos somero y los colores azules oscuros son los niveles piezométricos profundos. Algunas de las cartas se repetirán contando con diferentes intervalos del nivel piezométrico arrojando diferentes tonos de azules el cual se ve reflejada en las cartas.

En el trabajo de Rangel-Rodríguez 1989, se realizó una carta en agosto de 1987 de época de sequía (Figura 5.2), en donde se muestra una dirección de flujo general de W-E, se observan dos altos piezométricos en los pozos 3, 17A y 14A que aportan a los pozos adyacentes, así también se encuentran pozos de bajo nivel piezométrico como los P36, P32 y 29.

En la parte N-O del mapa se observa un gradiente hidráulico alto que indica que existe una menor permeabilidad, en el S y SE del mapa existe un gradiente moderado–alto (26%-5%).

Para la época de sequía del proyecto PAICYT de mayo, 2006, (Figura 5.3) se puede observar que los colores que predominan son claros, tomando en cuenta el cambio de intervalos en el nivel piezométrico, de igual manera en la parte noroeste del mapa un gradiente hidráulico alto (28%) causado por el bombeo del pozo CPA 16, para el S el mapa el gradiente hidráulico es menor, reflejando así una permeabilidad alta.

La siguiente carta son datos tomados por el Dr. Héctor de León en el área del año 2011 (Figura 5.4), atendiendo a la solicitud del personal del CPA, en donde informan que los pozos de abasto actuales de manera general se están agotando, inclusive algunos de ellos ya no presentaban rasgos del nivel freático. Coincidiendo estos descensos del agua subterránea con el año de la gran sequía

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

del 2011 y marcando una diferencia en la hidrodinámica del acuífero. Se observa una dirección general SW-ENE.

Los colores que predominan son de tonalidad azul oscuro lo que refleja que el nivel piezométrico es sumamente bajo, siendo el CPA 22 con un espejo de agua de hasta 53m. Se muestra las isolíneas con gradientes hidráulicos altos en la mayor parte del mapa (120%), lo cual indica una permeabilidad baja. A excepción del NW del mapa las isolíneas se encuentran más separadas mostrando un gradiente hidráulico moderado–alto. Pozos de mayor altura Piezometría son el CPA 15 y CPA 14, este mapa nos muestra como afectó en el área esta sequía del 2011.

Para la época de sequía de julio del 2014 (Figura 5.5) la situación es diferente se tiene colores más claros, tiene una dirección general principalmente de SW-NE. Los pozos que presentan descenso en el área son CPA-FCF 25, CPA 8, CPA 23, mientras que los pozos altos en el área son CPA 18, que suele presentar su dirección hacia los pozos adyacentes.

En la parte NW del área se tiene un gradiente hidráulico alto por lo tanto una permeabilidad baja, contrario al resto del mapa presenta un gradiente hidráulico moderado-bajo.

### **5.4.1 Análisis del periodo de sequías: 1989, 2006, 2011 y 2015**

Las cuatro cartas piezométricas presentadas y descritas anteriormente tienen como objetivo de obtener variaciones hidrodinámicas del acuífero a través del tiempo. En este caso 27 años tomando en cuenta el gradiente hidráulico, permeabilidad, los pozos de mayor y menos nivel piezométrico, las direcciones de flujo tanto general como local y como un dato extra las tonalidades de color azul en el mapa, ayudando a saber que tan profundo o somero está el nivel piezométrico, descritas en cada una anteriormente.

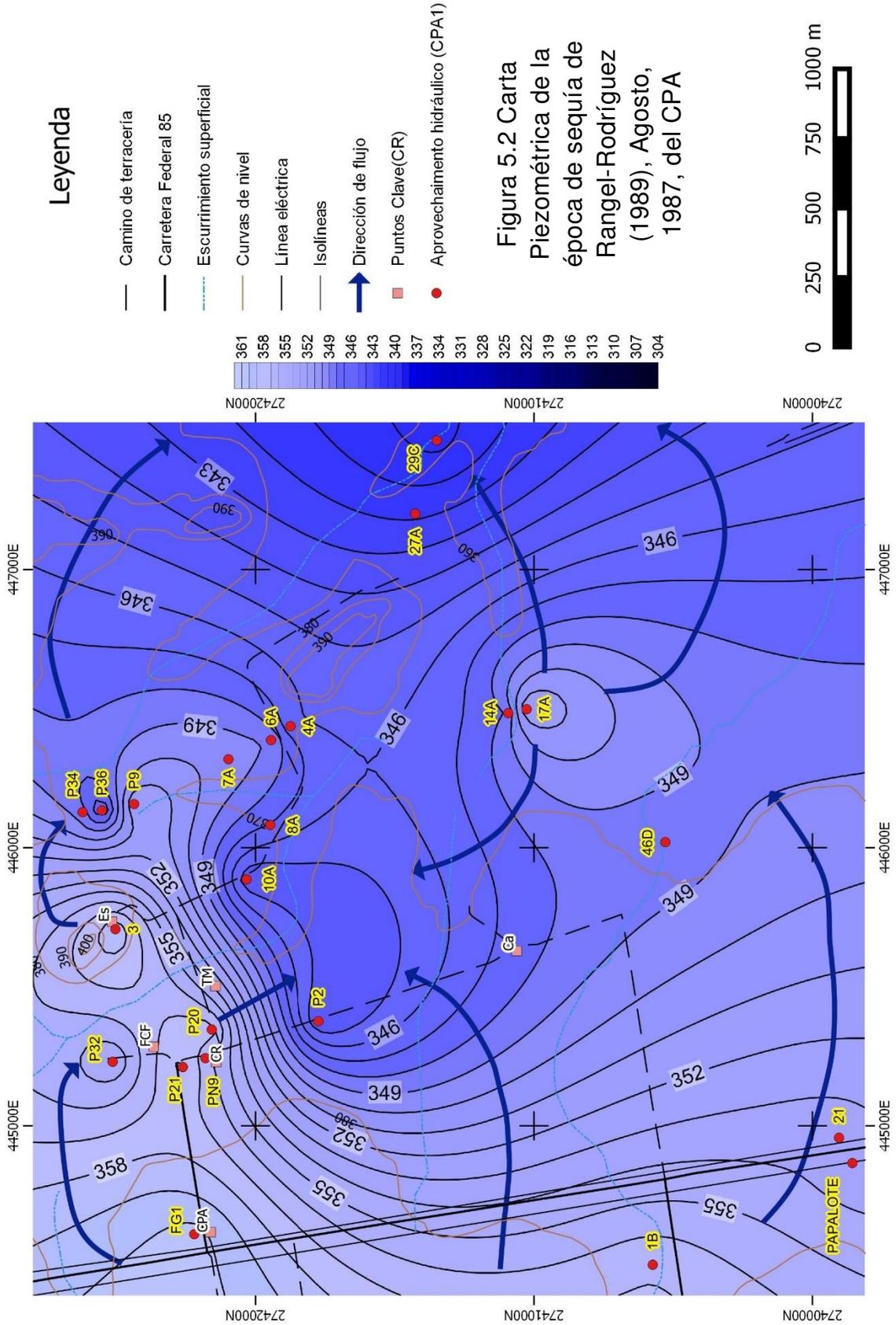
Se verán los cambios de forma general de los cuatro mapas, en donde se puede observar un gradiente hidráulico diferente entre ellos (el pozo de agosto de 1987)

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

que es moderado-alto, en general teniendo una permeabilidad moderada-baja con tonalidades intermedias.

Para mayo 2006 el gradiente hidráulico es moderado-bajo en la mayor parte del mapa, mientras que la permeabilidad es moderada-alta, con dominando tonalidades claras, marcando diferencia la carta piezométrica del año 2011 se tiene un gradiente hidráulico alto y una permeabilidad baja, tonalidades oscuras en todo el mapa y por último la carta del 2014 en donde se tiene un gradiente hidráulico moderado-alto y una permeabilidad moderada-baja, con tonalidades intermedias. Se puede concluir que, en cuestión de direcciones generales de flujo, no hubo un cambio extraordinario, en general es de W-E, las direcciones de flujo van acorde al bombeo o uso de los pozos.

5. RESULTADOS Y ANALISIS



## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

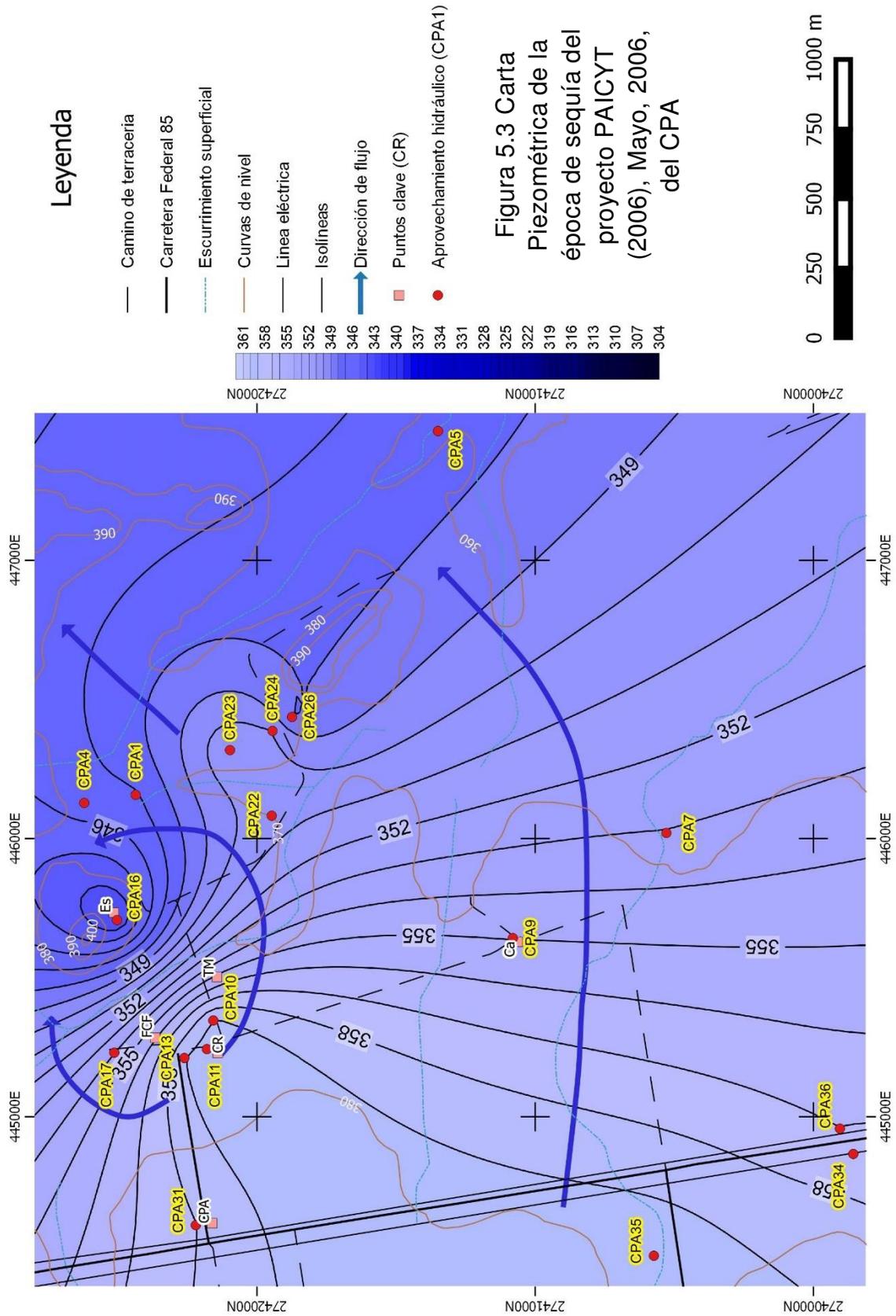
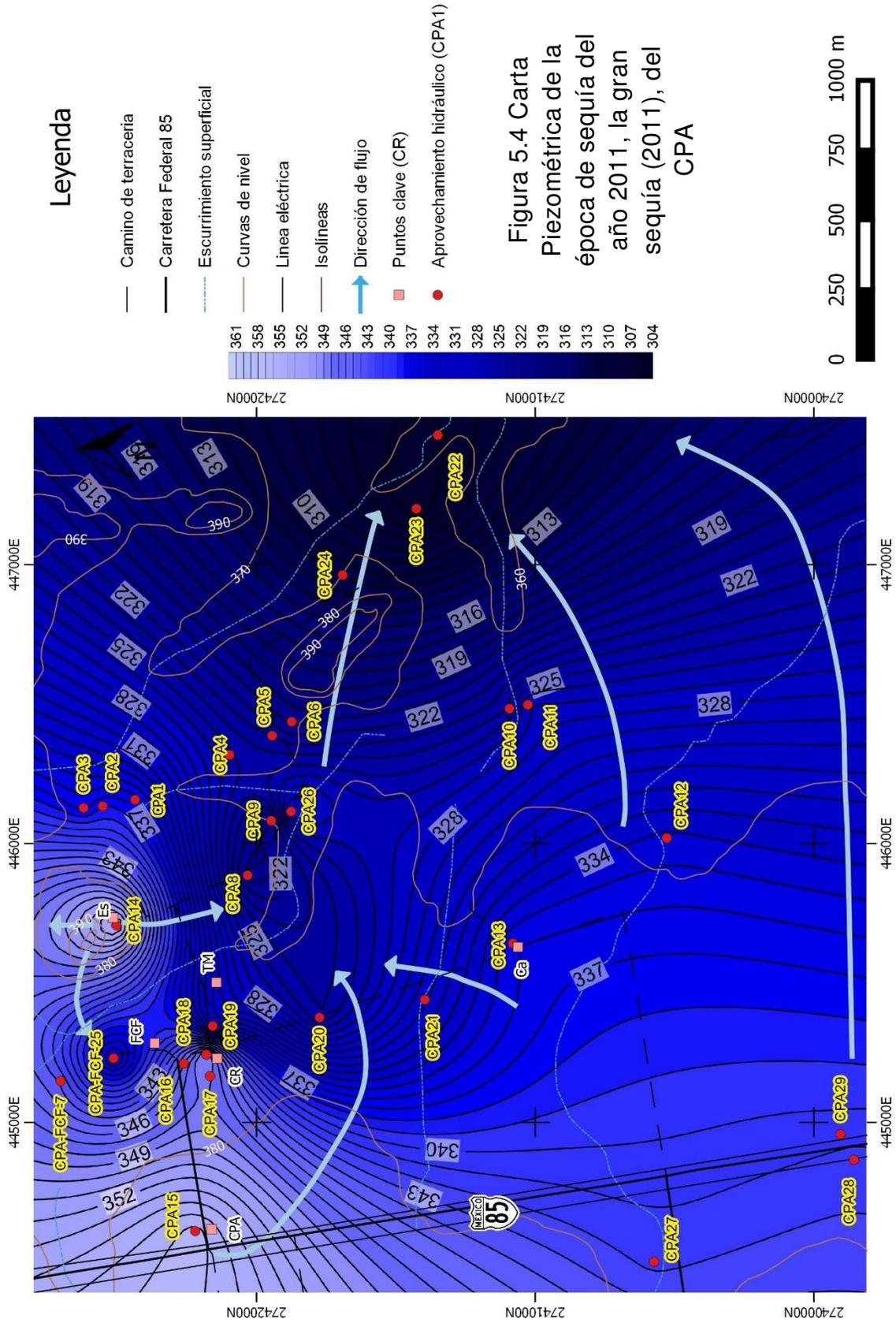
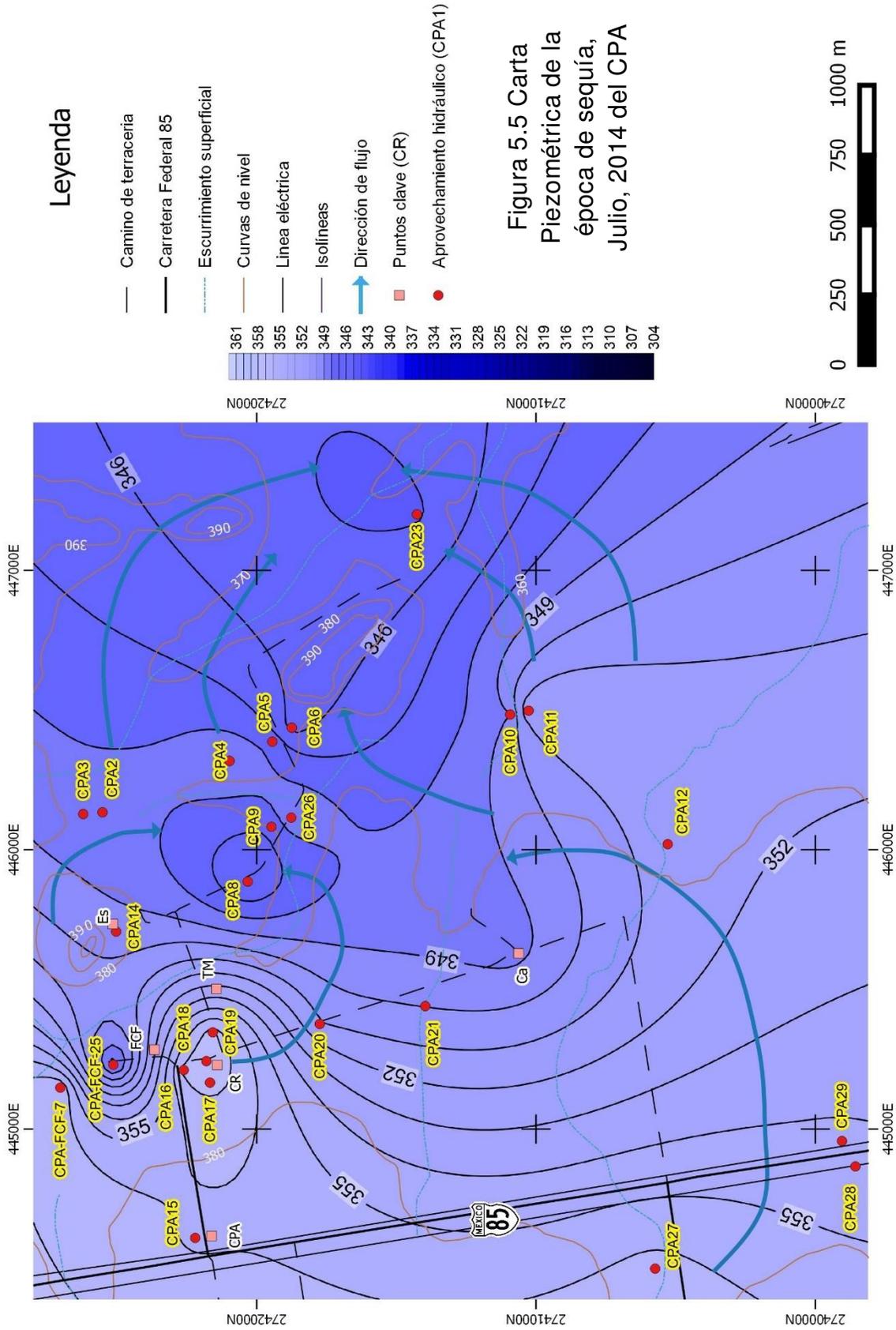


Figura 5.3 Carta Piezométrica de la época de sequía del proyecto PAICYT (2006), Mayo, 2006, del CPA

5. RESULTADOS Y ANALISIS



5. RESULTADOS Y ANALISIS



## 5.5 Piezometría del proyecto PAICYT 2006 / CT1202-06

Este proyecto se realizó en el año 2006 por parte del Dr. Héctor de León Gómez, se encuentra en la misma área del CPA, de igual manera se realizaron en tres etapas en el mes de marzo del 2005 una época ordinaria, el mes de agosto del mismo año época de lluvia y el mes de mayo del 2006 en la época de sequía, abarcando así un periodo de 15 meses, con un censo de 31 pozos en total.

Se tomaron los datos de los pozos que coincidieran con los pozos medidos en campo del presente trabajo, para poder así hacer la comparación y analizar las variaciones a través del tiempo, al igual que como se realizó con los datos tomados en campo, en este caso también se construyeron las cartas piezométrica a partir de los datos del proyecto PAICYT (Figuras 5.6-5.8).

El 4 de marzo del 2005 se llevó a cabo la medición de pozos en el CPA, en donde se describen como una época ordinaria (Figura 5.6). La dirección de flujo general, es NW-ESE. Los pozos que muestran un bombeo que son el CPA16 que se encuentra en los establos de la CPA, esto nos dice que este pozos está teniendo una extracción de agua el cual cuenta con un espejo de agua de 42.94m el más bajo de todas mediciones realizadas y con un nivel piezométrico de 346 msnm; afectado así a los pozos adyacentes, para el área de los pozos 11, 13, 17 en conjunto del pozo CPA 16 las isolíneas se encuentran con una separación corta, lo cual nos indica un gradiente hidráulico alto y una permeabilidad baja. Se tiene un alto del NE, en el pozo CPA 29 con un nivel piezométrico de 354 msnm, en donde se observan la dirección de flujo en dirección hacia el pozo CPA 5, al igual que en el pozo CPA 1 es un alto del NE en el cual las direcciones de flujo se dirigen tanto al oriente como al occidente del pozo.

En época de lluvia (Figura 5.7) del día 19 de agosto 2005 se tiene una dirección preferencial de W-E, predominado colores de azul claro en el área con un nivel piezométrico alto en varias zonas del área, coincidiendo así con la época de lluvia. Se encuentran altos en los pozos CPA 29, 11,10, 13, 35, 4, 1, que aportan a las zonas bajas, así también se tienen zonas bajas como lo son CPA16,

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

ya que debido a su actividad muestra un bombeo con un espejo de agua de hasta 42 m, siendo el más bajo de las mediciones, afectando así los pozos adyacentes, en esta área se tiene un gradiente alto causado por esta explotación de agua y con esto una permeabilidad baja, que puede ser porque las fracturas están más cerradas.

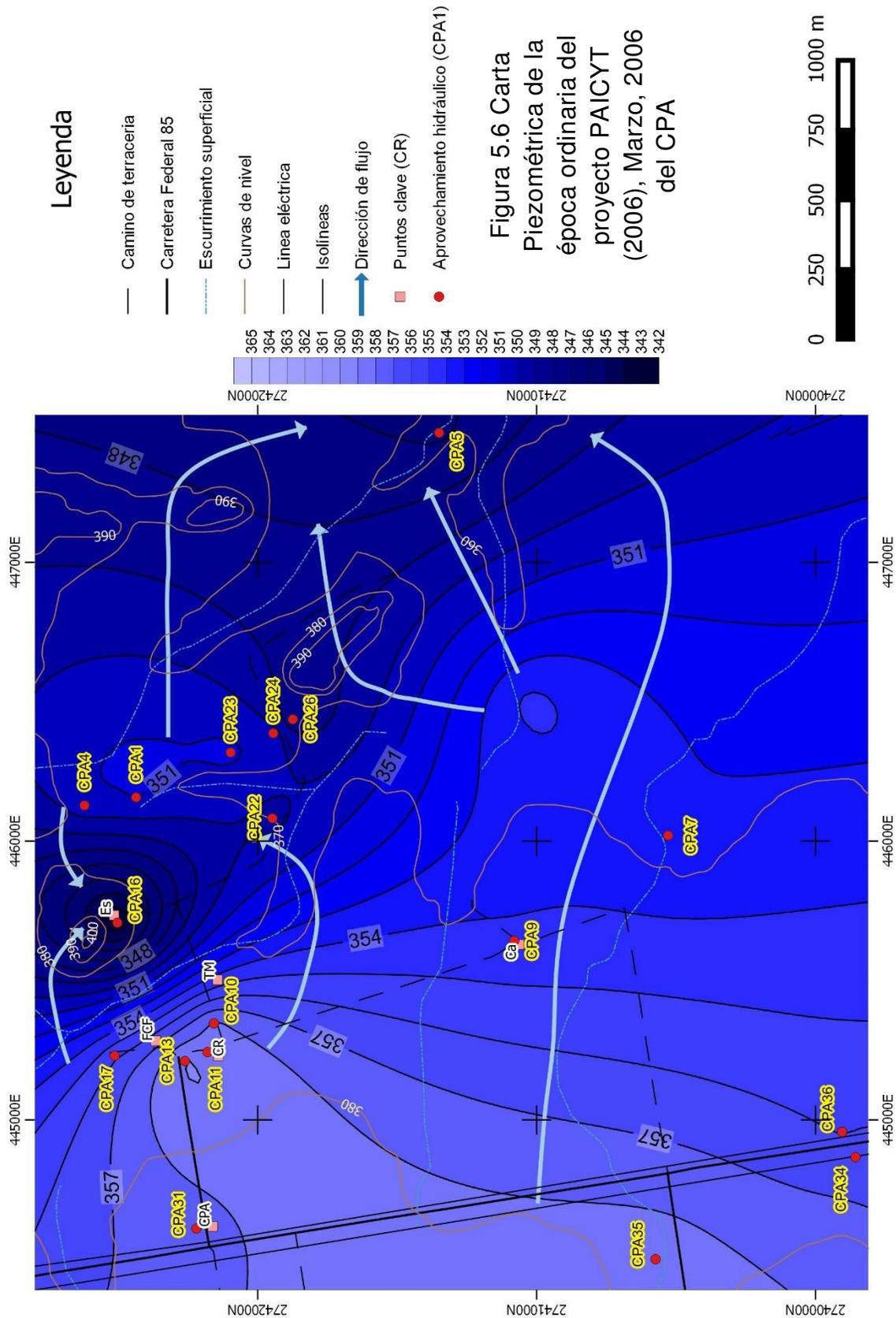
Para el 13 de mayo 2006 se tiene la época de sequía (Figura 5.8) en donde tenemos una dirección de flujo W-ENE, en la parte sur del área las isolíneas presentan un gradiente bajo de aproximadamente 3%, esto debido a la poca explotación que se realiza siendo esta parte el área de cultivo. En la parte norte se tiene un gradiente alto de 28% debido a la explotación de agua, en este lugar se encuentra el establo, lo cual indica una permeabilidad reducida en esta parte. Predominan los colores azul oscuro, denotando que en la mayor parte del área se tiene un nivel piezométrico bajo.

### **5.5.1 Análisis Piezométrico proyecto PAICYT 2006 CT1202-06**

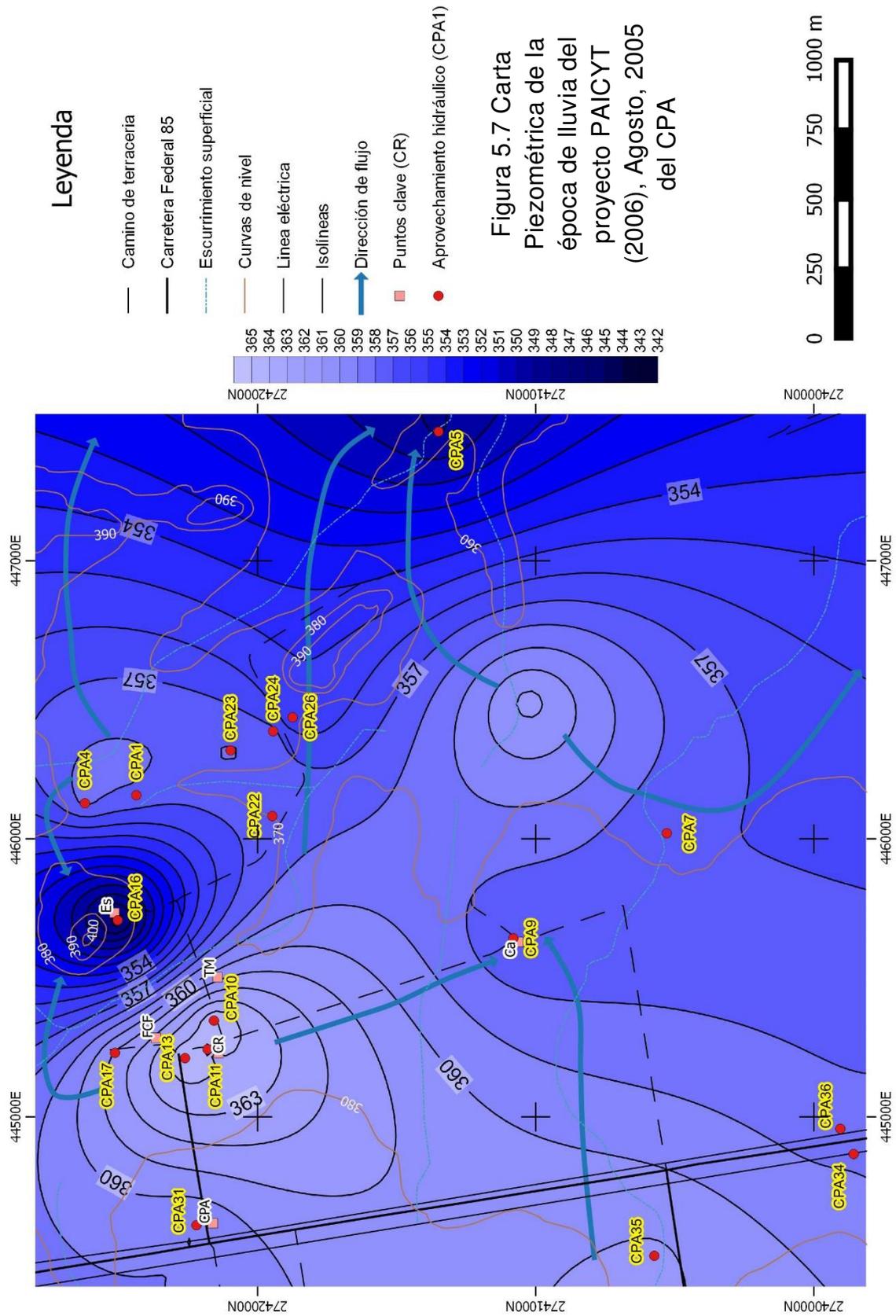
El proyecto PAICYT realizado en el 2006 tuvo como propósito conocer las condiciones tanto del acuífero, su hidrodinámica y la química de este, con esto se pudo determinar el tipo de agua que se tiene mencionado en el capítulo 4, en este caso se verán las condiciones del acuífero a partir de las cartas generadas con los datos de este proyecto. Como se mencionó anteriormente se realizaron en 3 épocas, en las cuales las tres destacó el pozo CPA16 mostrando desde el primer censo en la época ordinaria, un espejo de agua bajo de 42 m, recuperándose en la época de lluvia más de 3 m con 39.71m y descendió de nuevo 3 metros a 42m de espejo de agua.

El régimen de flujo presenta cambios en cada carta, reflejando la cantidad de precipitación. Presenta gradientes diferentes en cada carta descrita anteriormente en donde generalmente en la parte norte del área se observa gradientes alto causados por el pozo CPA 16 y al sur del área son gradientes bajos.

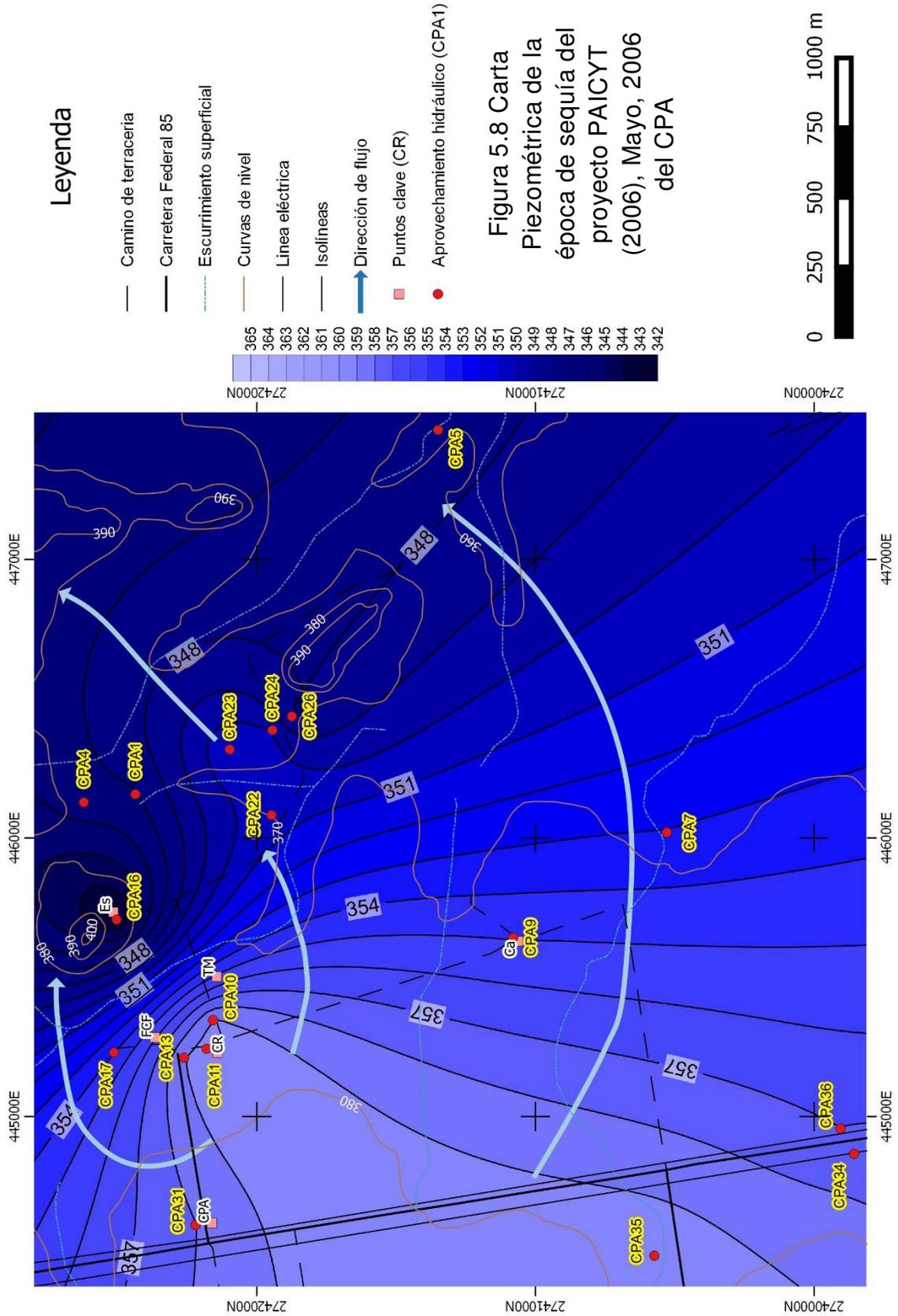
## 5. RESULTADOS Y ANALISIS



5. RESULTADOS Y ANALISIS



## 5. RESULTADOS Y ANALISIS



## **5.4 Piezometría del periodo de mediciones de tesis**

### **(2014-2015)**

El monitoreo del agua subterráneo se realizó dentro del periodo de 2014-2015, en donde se realizaron tres campañas iniciando en la época de sequía del mes de julio del 2014, época ordinaria del mes de diciembre del 2014 y época de lluvia de agosto del 2015, siendo todas ellas en un periodo de 1 año. En el área de estudio se llevó el control de 29 pozos con la metodología que se mencionó en el capítulo 4.

En base a las mediciones del nivel del agua subterránea se realizaron tres cartas piezométricas (Figura 5.9-5.11) para observar el estado del nivel freático del área de investigación tanto general como particular, para hacer más clara la interpretación se les dio un tono de coloración al nivel piezométrico siendo el azul claro o celeste el más somero y el azul marino u oscuro el más profundo.

Para el 2 de julio del 2014 se realizó la carta piezométrica (Figura 5.9) en donde la dirección de flujo general es SW-NE, teniendo como el nivel piezométrico más somero de 356 m al poniente del área y al oriente el más profundo de 345 m. De manera local los pozos CPA-FCF- 25 tiene un nivel piezométrico bajo, lo cual nos dice que el pozo está siendo explotado, es un pozo equipado que se utiliza para la cafetería de la FCF, que eso puede explicar ese color azul oscuro; de igual manera se observa que las isolíneas están muy juntas que nos muestra una permeabilidad baja y un graifente hidráulico alto (28%) que puede significar que el acuífero de grietas está entrando a una zona impermeable, de baja permeabilidad.

Más al E del área, el nivel piezométrico va disminuyendo, esto debido a que la dirección de flujo se ubica al oriente tomando en cuenta los pozos CPA 8, 9,26, 23,22. Principalmente se puede observar que las isolíneas son más separadas, lo que nos dice que la permeabilidad del área es mayor, teniendo un gradiente hidráulico bajo (5%). Otro de los pozos de interés son el CPA 18,19 y 16 en

## 5. RESULTADOS Y ANALISIS

donde se tiene un nivel piezométrico somero, localizando en la parte poniente del área que también tiene isolíneas cercanas unas de otras que puede pertenecer al mismo patrón del pozo CPA-FCF-25 con una permeabilidad baja.

En la época ordinaria del 20 de diciembre del 2014, (Figura 5.10) ubicando esta época con las precipitaciones estable que se mantuvo la precipitación del mes, se tiene una dirección preferencial de área suroeste-noreste, teniendo un nivel piezométrico de 359msnm y 344msnm, teniendo colores intermedios entre celeste y azul marino.

Pozos de interés son el pozo CPA 18 que presenta una separación de isolíneas muy corta lo cual nos puedes decir que tiene un gradiente hidráulico alto (19%) y al mismo tiempo nos muestra una permeabilidad baja del área, el CPA 8 muestra un cono de abatimiento mostrando las isolíneas de manera circular y con una separación moderada que nos puedes decir de un gradiente hidráulico de medio-alto (11-6%) y una permeabilidad media-baja.

Para la época de lluvia en el mes de agosto 2015 (Figura 5.11), presenta una dirección general de suroeste-noreste en el área, predominando colores claros, lo cual nos señala que el nivel piezométrico es somero. En este caso es la última campaña que se realizó en donde tenemos varios puntos de concentración de isolíneas como lo son en el pozo de CPA-FCF-25 que como habíamos mencionado ese pozo está en función, siendo utilizado por la cafetería de la Facultad; el pozo CPA18, presenta isolíneas con separación corta que nos puede decir que se tiene un gradiente hidráulico alto (40%) y una permeabilidad baja, para el pozo CPA 8, que es un pozo no equipado por lo que existe una concentración de isolíneas un tanto separadas que muestra que tenemos un gradiente hidráulico a alto-medio (40-9%) y una permeabilidad media-baja, el pozo CPA 11 tiene esta adjunto el pozo CPA 10, el cual no se pudo medir debido a que se equipó, se puede inferir que existe una extracción de bombeo que afecta al pozo CPA 11.

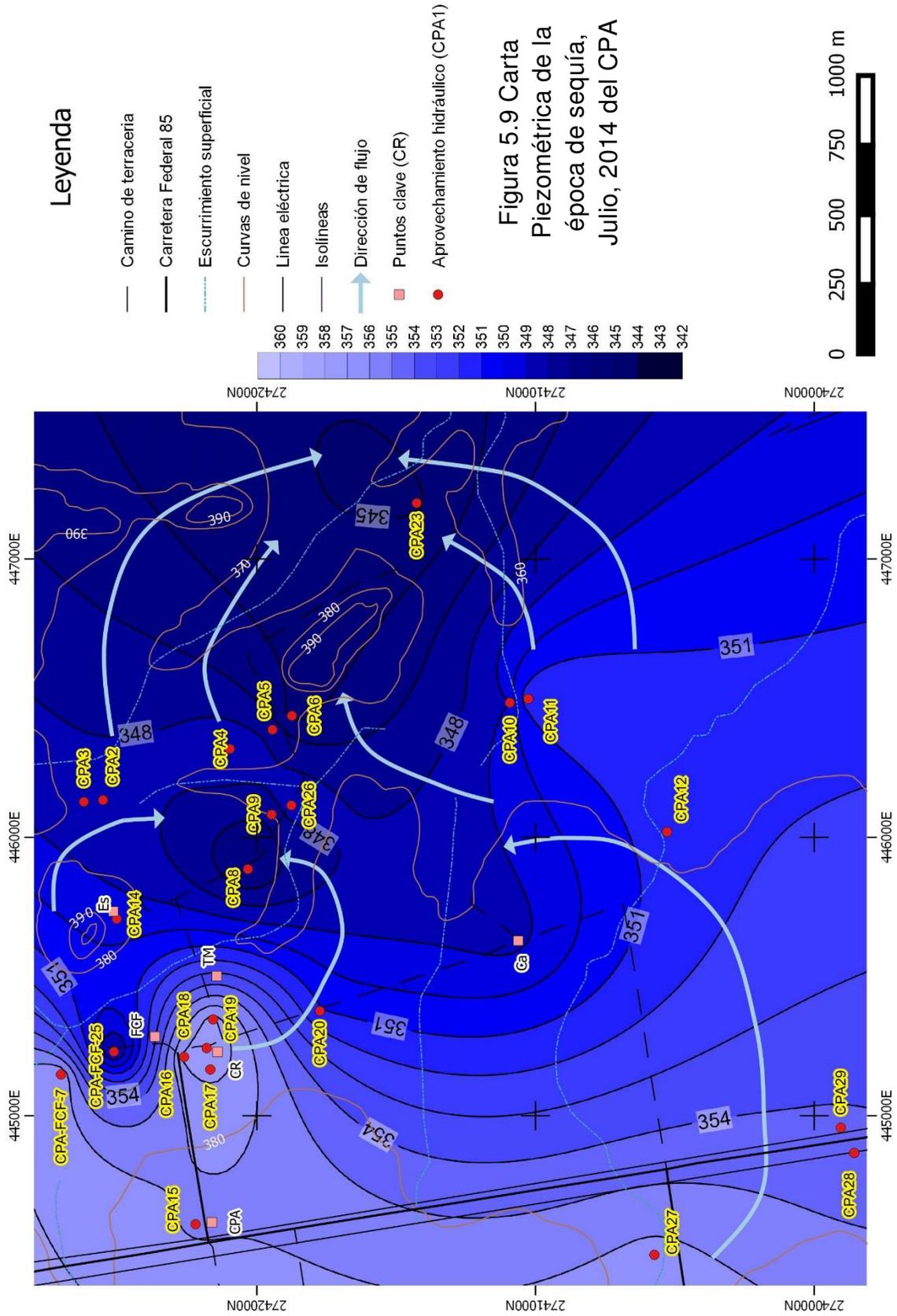
### **5.4.1 Análisis de Piezometría 2014-2015**

En el CPA, emplea el uso del agua subterránea para cubrir gran parte de las necesidades de abastecimiento agropecuario y de actividad escolar, que año con año van creciendo, razón por la cual se discuten los cambios que existen en un periodo de 1 año en el área.

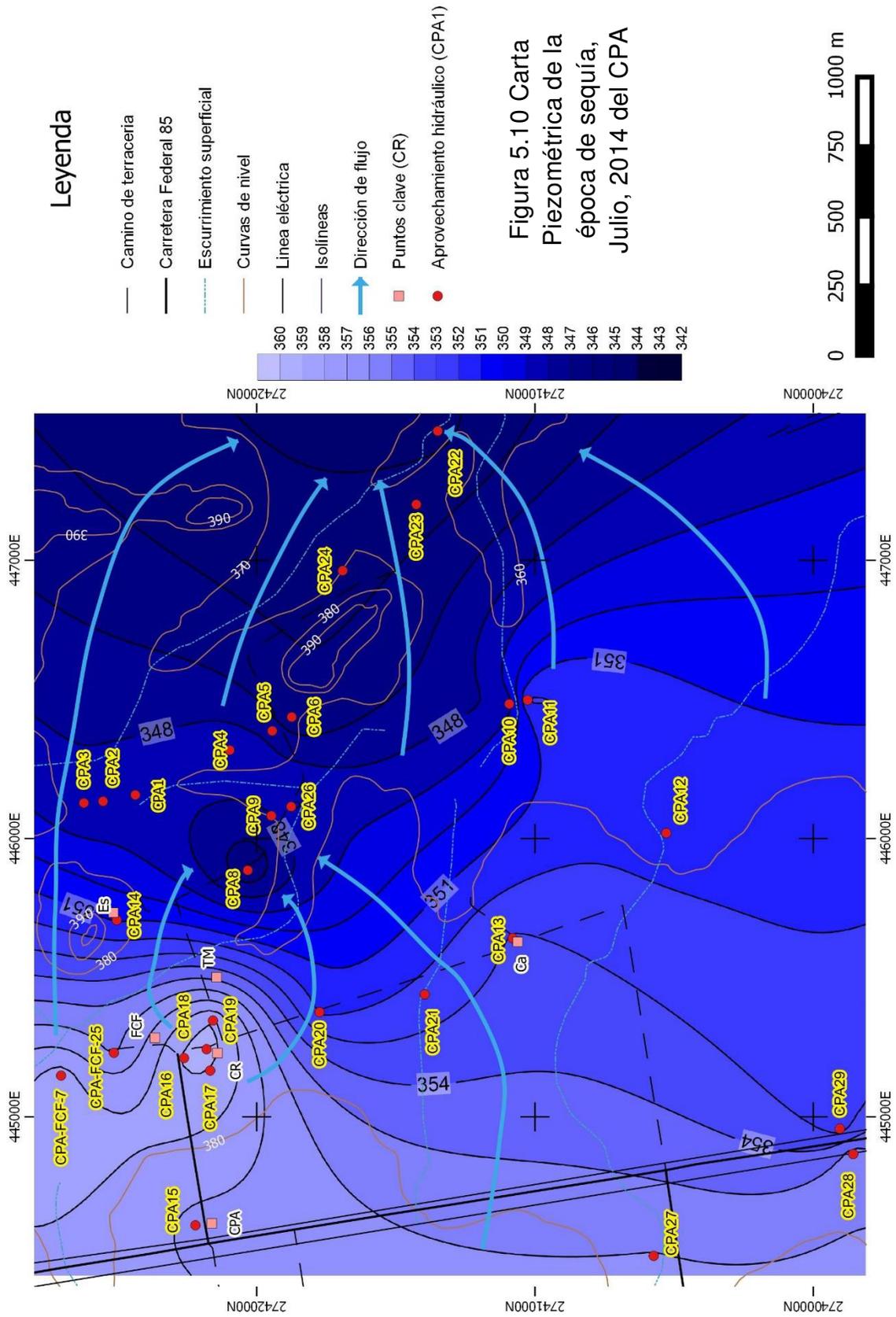
Se dividieron estas cartas en tres diferentes épocas que de acuerdo con la precipitación que se presenta en ese periodo de 1 año julio 2014-agosto 2015. Para las tres cartas piezométrica se tiene una dirección de flujo preferencialmente SW-NE, los pozos de bombeo son el CPA-FCF-25 el cual en las tres se ve claramente como las isopiezas estas concentradas al pozo, de igual manera en esta área donde están los pozos CPA-FCF- 25, CPA-FCF 7 y CPA 14,16,18 19, se tiene que la distancia entre las isolíneas ó isopiezas están muy juntas, lo cual nos dice que existe un gradiente hidráulico alto y una permeabilidad baja y en la parte oriente de área se presentan las isolíneas más separadas, lo cual nos indica un gradiente hidráulico más bajo y a la vez una permeabilidad más alta.

De julio 2014 para diciembre del mismo año se tiene una recuperación de pozos desde 50cm hasta 8.5m como el CPA-FCF- 25, CPA13, CPA-FCF 7, CPA 28 y de diciembre a agosto se recupera el agua en algunos pozos por más de 2m y en otro disminuye por más de 8 m, como lo es el pozo CPA-FCF- 25.

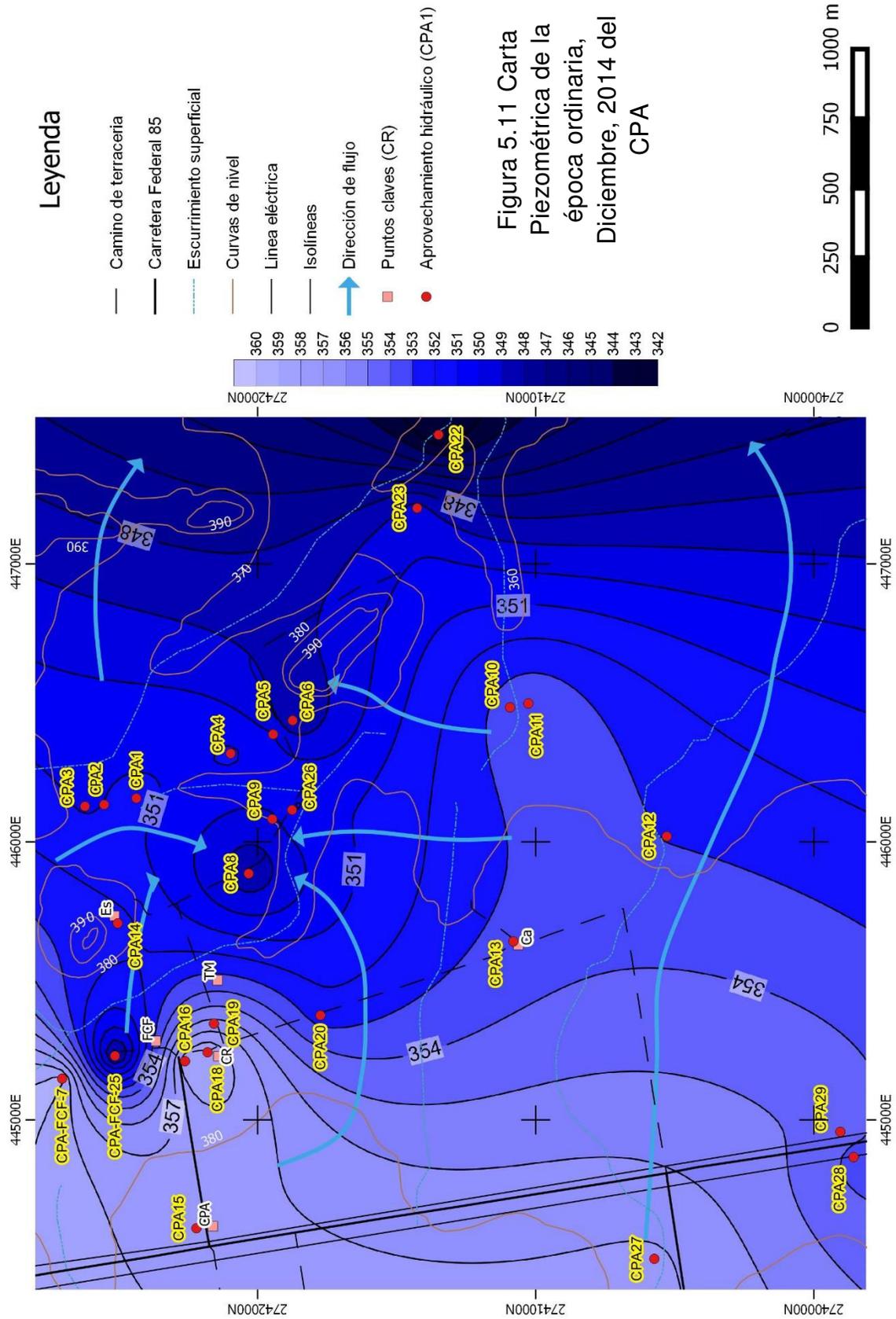
5. RESULTADOS Y ANALISIS



## 5. RESULTADOS Y ANALISIS



5. RESULTADOS Y ANALISIS



## 6. CONCLUSIONES

El Centro de Producción Agropecuario es una institución que está dedicada a las actividades agrícolas, ganaderas y de estudio (FCF-UANL), la disponibilidad del agua en la zona es por medio de agua subterránea. La recarga de estos acuíferos puede ser relativamente pequeña, esto debido al relieve casi plano, aumentando el problema de captación.

Se identifican dos unidades hidroestratigráficas: (1) Formación Méndez, siendo un acuífero de grietas en la base y (2) los sedimentos aluviales y conglomerados, siendo un acuífero de poros y más someros al anterior.

La calidad del agua subterránea se encuentra relacionada a los del tipo de materiales presentes en el área por donde atraviesa, desde su área de recarga en la Sierra Madre Oriental hasta su descarga el acuífero de grietas de la Formación Méndez, siendo esta de tipo Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl, según autores que han trabajado en ello, como lo es, Rangel-Rodríguez (1989), proyecto PAICYT (2006).

Se realizó censos de aprovechamientos y mediciones de los niveles estáticos, para obtener la hidrodinámica del agua subterránea, la cual se presenta generalmente una dirección de flujo W-E, coincidiendo con el sistema de fracturamiento (ac) de la Formación Méndez. Los niveles piezométricos promedio son de ~10 m.

Dentro de los datos de estaciones climatológicas de los años 1985-2015 se presenta varias sequías en donde la del 2011 es la de mayor impacto agrícola, ganadero y socioeconómico, con una clasificación D4 (Sequía extraordinaria). De igual manera se ve reflejada en las cartas piezométricas realizadas en los diferentes años (1987, 2006, 2011 y 2014).

De las cartas piezométrica analizadas en tres épocas del año en donde generalmente se pudo observar que las direcciones de flujo permanecen estables a pesar de las sequías presentes en años anteriores; particularmente

## 6. CONCLUSIONES

se puede observar que el agotamiento del agua se ve afectado en diferentes pozos de los cuales se generará un plan de manejo sostenible del agua para no generar agotamiento de los pozos del CPA y asegurar el suministro de agua permanente a las actividades del CPA y FCF- UANL.

## **7. PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA**

A partir de la discusión y análisis del capítulo anterior acerca de la sequía, los efectos que tiene en un área determinada a través del tiempo, y como afecta en la producción del área de CPA en sus actividades agropecuarias y de educación, así también como el uso del suelo y la degradación del suelo son problemas inminentes que enfrenta el CPA, se quiere llegar a un plan de manejo sostenible del agua.

En este capítulo tomaremos el concepto sostenibilidad que tendrá como objetivo la minimización de abatimiento de pozos, la oportunidad de crear presas para evitar el descenso crítico del nivel freático, de igual manera generar valores culturales acerca de la cantidad de agua que se debe de extraer en un pozo cuando ocurren fenómenos como lo es la sequía.

La importancia de la planificación sostenible de los recursos del agua en un área propensa a la sequía, es debidamente reconocida por organismos gubernamentales como lo son Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), entre otras instituciones. A pesar de ser un concepto amplio, desde el punto de vista ambiental, es de importancia saber la finalidad del plan sostenible tanto social como económico.

La realización de una planeación sostenible implica conocer el problema, gestionar el riesgo que existe para el medio y la población, gestionar de igual manera el desastre que este conlleva cuando está el fenómeno en proceso, los costos y beneficios de la gestión de riesgos y medidas de mitigación. Todo esto se resume de diferentes etapas, como base se tomará la planificación de la guía de Problema de Medias Preventivas y de Mitigación de la Sequía PMPMS, 2013.

## 7. PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA

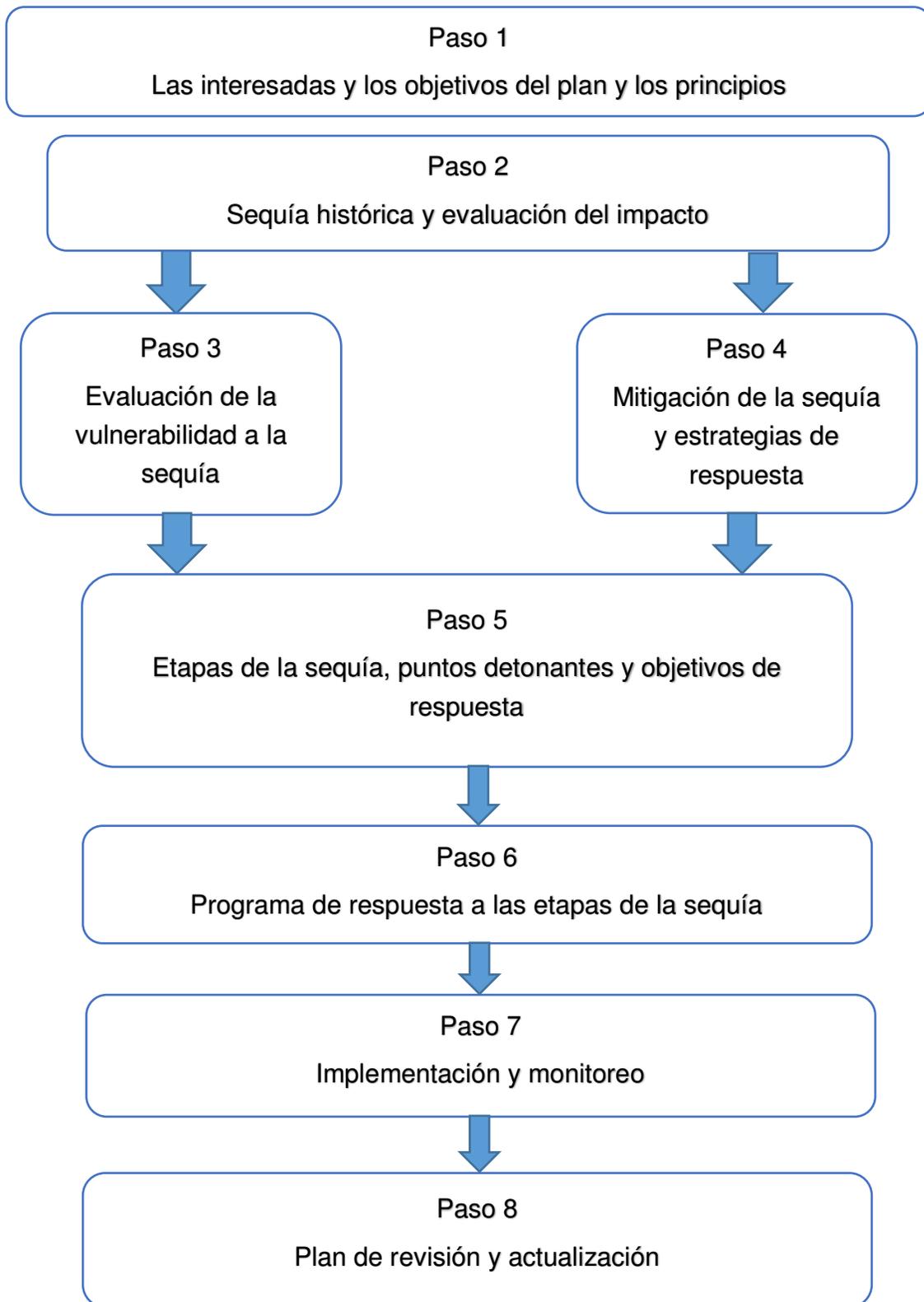


Figura 7.1 Diagrama del proceso de planeación para el fenómeno sequía de PMPMS

2013

## 7. PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA

En este caso lo emplearemos en el problema de Sequía en CPA y su manejo sostenible del área. A continuación, se describe los siguientes pasos adaptándolos a la problemática antes mencionada:

En el primer paso se inicia conformando las instituciones interesadas en el problema, de esta manera en el caso CPA sería la dependencia misma CPA, la cual conlleva a su vez a la Universidad Autónoma de Nuevo León por ser a la cual depende, así también a las Facultad de Ciencias Forestales por estas dentro de la zona.

Se debe de centrar en las medidas preliminares necesarias para el inicio del plan, los objetivos tanto generales como particulares. El objetivo general, se centrará en analizar el efecto que produce la sequía en el acuífero de grietas del CPA. Objetivos particulares se tiene que garantizar las actividades agrícolas, ganaderas y de educación.

Dentro del paso dos, se realiza un análisis histórico y su impacto. La caracterización e identificación de los periodos de sequía a través del tiempo que permitan observar la frecuencia, severidad y extensión espacial. En este caso el análisis histórico se realizó a partir de gráficas de precipitación en cual refleja el descenso de precipitación por debajo de la media anual. Y de manera local para el área de estudio se realizó el análisis histórico para 30 años. Para saber el impacto que esta presenta se realizaron cartas piezométricas de diferentes años, a partir de estudios antes realizados, estos se muestran en el capítulo 5. Arrojando resultados los cuales se puede llegar a conclusiones que pueden ser participe para la mitigación o vulnerabilidad del fenómeno de la sequía.

Después en los siguientes pasos tres y cuatro, se tiene una evaluación de la vulnerabilidad de la sequía o su mitigación de la sequía y las estrategias de respuesta ante esta. Para el paso tres se realizan conjunto con el paso dos, se podrá identificar la vulnerabilidad antes una escasez de agua, teniendo como prioridad los sectores de más demanda.

## 7. PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA

Para el área los sectores más importantes son la agricultura y ganadería por ser los que operan de manera continua en el año. Se puede deducir la vulnerabilidad a partir de la reducción de agua obtenida del acuífero de grietas, reducción de superficies de riego en cultivos, el alto costo de los plantíos, reducción de ganados. Evaluar la vulnerabilidad es un proceso subjetivo, pues está sujeto a múltiples variables y factores, los cuales cambian continuamente en el tiempo y espacio (PMPMS 2013).

En el paso cuatro “Estrategias de mitigación y respuesta ante el fenómeno sequía”. Esta planeación nos tiene que dar la respuesta de mitigación del fenómeno, que aunque el riesgo no puede eliminarse, se puede reducirse el efecto que tenga. Se ponen en acción dos conceptos, el de llegada de la sequía siendo este la mitigación y cuando ya está el problema que sería implementar las estrategias de respuesta, de igual forma se implementa un plan de concientización y educación al público. Para el caso del CPA, se puede observar que el de mitigación es el monitoreo a través de estaciones climatológicas, así también de los sondeos de pozos de manera periódica. Por otra parte, cuando el fenómeno está en proceso se pueden tomar ciertas medidas, como lo son la reducción en la extracción del agua, construcción para el almacenamiento de agua, para aligerar las necesidades.

Para el siguiente paso cinco, la etapa de sequía está presente, los puntos detonantes y los objetivos de las respuestas ante la sequía. Dentro de las etapas de la sequía como lo describe CONAGUA o NADM que se menciona en el capítulo 1 donde tenemos el avance de la sequía en tiempo y espacio, que va desde D0 (anormalmente seco), D1 (Moderadamente seco), D2 (Sequía severa), D3 (Sequía extraordinario) y D4 (Sequía excepcional). En este caso el CPA, en el año 2011 presenta una sequía del tipo D4. Como puntos detonantes en el área se puede adjudicar a la ubicación geográfica que se tiene, estando dentro del trópico de cáncer, coincidiendo con los grandes desiertos del mundo, de igual manera la sobreexplotación de los pozos, el desgaste del suelo son consecuencias de estas actividades. Dentro de los factores de sequía, se debe

## 7. PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA

tomar en cuenta que no se sabe cuánto puede durar una sequía, pues esta puede ser muy lenta y duradera, o corta y rápida.

En el paso seis se pretende principalmente la implementación de respuesta ante la sequía, comprende una serie de medidas específicas de respuesta en cada etapa de la sequía mediante las estrategias de respuesta desarrolladas en el paso cuatro (PMPMS 2013). Estas medidas de respuestas dan a conocer la concientización de la gravedad del fenómeno en la sociedad, para que así cuando se presente la sequía sean responsables de cumplir los lineamientos que se deriven del plan. Dentro de este paso también se toma en cuenta la investigación científica y el desarrollo tecnológico, dado que el conocimiento de la sequía es un tanto incierto. Para el caso del CPA se pueden realizar pláticas con los encargados del centro para implementar y colaborar con ellos en los planes de manejo sostenible que se puede tener y así también constatar que se cumplan los planes que se diseñen. En cuanto la investigación científica y el desarrollo tecnológico se pueden realizar de manera monitoreada estudios como el que se presenta en esta tesis para poder observar los procesos de la sequía, de largo a corto plazo.

Paso siete la implementación y monitoreo se toma en cuenta la implementación del plan y el monitoreo de indicadores y protocolo para la sequía (PMPMS 2013). Por último, el paso ocho es sobre la actualización del plan.

## 8. RECOMENDACIONES

A continuación, se presenta un listado con algunas recomendaciones para el aprovechamiento hidráulico del CPA:

1. Reducir las actividades tanto agrícolas como ganaderas, esto con la finalidad de generar menos gastos de este.
2. Regar de noche los sembradíos, lo cual así impedirá la evaporación del agua utilizada.
3. Arreglar todas las fugas en el sistema de riego, evitando de esta forma el desperdicio y aprovechando al máximo del vital líquido.
4. Controlar la contaminación del agua subterránea, cuidando los desechos generados por la actividad ganadera, así mismo en lo que agricultura refiere evitar el uso de pesticidas y fertilizantes que tengan un alto impacto contaminante.
5. Eliminar completamente abrir nuevas áreas para el cultivo, pues esto produce una erosión enorme del suelo.

Todo esto permitirá que el CPA sea sostenible y tenga un mejor rendimiento en todos los aspectos antes mencionados.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. **Bryant, E.**, 2005: Natural Hazards, Cambridge: Cambridge University Press, 285 pp.
2. **Carillo-Bravo**, 1961: Geología del Anticlinorio de Huizachal Peregina al N-W de Ciudad Victoria, Tmps Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr., XIII (1-2), 1-99 pp.
3. **CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres)**, 2001: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Secretaría de Gobernación. México, D.F, 226 pp.
4. **Chávez-Cabello, G. et al.**, 2011: Evolución estructural del frente tectónico de la Sierra Madre Oriental en el Cañón Santa Rosa, Linares, Nuevo León. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol.63, Num. 2, 253-270 pp.
5. **CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)**, 2015: Base de datos hidrometeorológicos, estaciones climatológicas e hidrométricas ubicadas al interior de la Sub cuenca Camacho, Linares, Nuevo León, México.
6. **CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)**, 2011: Estadística del agua en México, edición 2011. SEMARNAT. México D.F. 173 pp.
7. **CONAGUA. (Comisión Nacional del Agua)**, 2010: Coordinación del servicio Meteorológico Nacional., México D.F
8. **CONAGUA. (Comisión Nacional del Agua)**, 2013: Estadística del agua en México, edición 2013. SEMARNAT. México D.F
9. **Cruz-Vega, R.C.**, 2008: Impacto Ambiental Originado por los Lixiviados del Relleno Sanitario Municipal de Linares N.L. México, Tesis de

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Maestría, Fac. Ciencias de la Tierra, UANL., Linares, Nuevo León, 85 pp.
10. **Custodio, E., Llamas, M. R.**, 2001: Los acuíferos o embalses subterráneos, en Custodio, Llamas, 2 ed., Hidrogeología subterránea, Ediciones Omega, S. A., 259-265 pp.
  11. **Dávila-Porcel, R.**, 2011: Desarrollo sostenible de usos de suelo en ciudades en crecimiento, Aplicando Hidrogeología Urbana como parámetro de planificación Territorial: Caso de Estudio Linares, N.L., México. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 244 pp.
  12. **De la Garza-González, S. I.**, 2000: Estudio Geológico/Hidrogeológico en la Región Citrícola (Linares-Hualahuises), Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra. U.A.N.L., 131 pp.
  13. **De León-Gómez, H.**, 1993: Die Unterläufigkeit der Talsperre José López Portillo/Cerro Prieto auf einer Kalkstein - Mergelstein - Wechselfolge bei Linares, Nuevo León / Mexiko.: PhD Dissertation. Aachen, RWTH – Aachen.
  14. **De León-Gómez, H., Medina-Barrera, F., y Lizárraga-Mendiola, L.**, 2006: Elaboración de la matriz de geoindicadores ambientales en la presa José López Portillo (Cerro Prieto), fuente superficial de abastecimiento de agua potable de Monterrey, N.L., México: CIENCIA UANL, v. IX, 65-72 pp.
  15. **De León Gómez, H.**, 2006: Diagnóstico de la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por actividades agrícolas / ganaderas y urbanas de Linares, N.L. y su periferia., PAICYT, 2006, clave del proyecto CT1202-05. Reporte de proyecto PAICYT 2006, UANL, 35 pp.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

16. **De León-Gutiérrez**, 1999: Investigación sobre las terrazas fluviales del Cañón Santa Rosa, Iturbide, N.L., como base para el establecimiento de una estratigrafía del Cuaternario en el Noreste de México. Tesis de Maestría, Fac. Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 119 pp.
17. **Eguiluz de Antuaño., S., Aranda-García, M., Marrett, R.**, 2000: Tectónica de la Sierra Madre Oriental, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. LIII, 1-26 pp.
18. **Florescano, E. & Swan, S.**, 1995: Breve Historia de la Sequía en México. 1era. Edición. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 246 pp.
19. **Flores-González, S.**, 2001: Estudio Geológico/Hidrogeológico de la región citrícola Montemorelos-General Terán, Nuevo León, NE México. Facultad de Ciencias de la Tierra. U.A.N.L., 100 pp.
20. **Galván Mancilla, M.**, 2013: Estudio de Prospección Geohidrológica mediante Métodos Geológico-Geofísico para la Prospección de Agua Subterránea en la Huerta Santa Catarina, Municipio de Linares, Nuevo León, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ingeniería Civil, UANL, 81 pp.
21. **Galván-Mancilla, S. M.**, 1996: Cartografía Hidrogeológica de la Terraza Baja entre Hualahuises y Linares. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra. U.A.N.L., 63 pp.
22. **García, E.**, 2004: Modificaciones al sistema de clasificación climática de KÖPPEN. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 98 pp.
23. **González et al, S. P.**, 2007: Estratigrafía del Noreste de México y su relación con los yacimientos estratoligados de fluorita, barita, celestina y Zn-Pb. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LIX, Num. 1, 43-62 pp.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

24. **González-Elizondo M.**, 1996: Análisis de la vegetación secundaria de Linares, N.L., México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales, 98 pp.
25. **Google Earth**, 2015: Foto de satélite de Estaciones climatológicas de INEGI del sur de Linares, NL.19 de enero del 2016.  
<http://earth.google.com>
26. **INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)**, 2008: Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México, México. 31 pp.
27. **INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)**, 2014: Datos de estaciones climatológicas.
28. **INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)**, 2015: Localización de las estaciones climatológicas.
29. **Izaguirre-Valdez, F.**, 2008: Estudio hidrogeofísico de la Presa José López Portillo (Cerro Prieto), noreste de México: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.
30. **Lizárraga-Mendiola, L.G.**, 2003: Análisis y evaluación del agua subterránea del área del tiradero municipal y la Petaca, Linares, N.L., México. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 90 pp.
31. **Lizárraga-Mendiola, L.G., De León-Gómez, H., Medina-Barrera, F., Návar, J.**, 2006: Calidad del agua subterránea en Linares, Nuevo León, México: Revista Ciencia UANL., 9, 426-430 pp.
32. **López Ramos E.**, 1981: Paleogeografía y tectónica del Mesozoico en México, Instituto de Geología, Vol. 5, 158-177 pp.
33. **López, Ramos E.**, 1980: Geología de México, Tomo II, 2da Edición, Mexico, D.F., 447 pp.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

34. **Martínez-Vallejo, F.S.**, 2007: Análisis de las Filtraciones Laterales de la Presa José López Portillo/Cerro Prieto; Linares, Nuevo León, México: Tesis de Licenciatura. Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León.
35. **Michalzik, D.**, 1988: Trias bis tiefste Unter-Kreide der nordöstlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko-fazielle Entwicklung eines passiven Kontinentalrandes. Diss., Technischen Hochschule Darmstadt, 247 pp.
36. **Montalvo-Arrieta, JC, Quintanilla, Y., Tamez, A., Meneses, M., Ramos, L., y Masuch, D.**, 2005: Microzonation of the Linares, Northeast Mexico area, based on geology and shear-wave velocity measurements: Geofísica Internacional, v. 44, 331-340 pp.
37. **Moreno-Esparza, L.**, 2009: Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación en la región de Linares mediante el Método DRASTIC: Engineering. Linares, Universidad Autónoma de Nuevo León.
38. **Navarro-Galindo, A.**, 1959: Reconocimiento geológico del área de Montemorelos, Linares, General Terán, Estado de Nuevo León, Tesis Licenciatura, I.P.N., México, 33 pp.
39. **NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)**, 2015: North American Drought Monitor. National Center for Environmental Information <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/maps/sp/201106#map-selection>
40. **NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)**, 2016: Global Abalysis- Annual 2011. National Center for Environmental Information <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201113>
41. **NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)**, 2012: Top Ten National Weather / Climate Events, 2 pp.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

42. **OMM (Organización Meteorológica Mundial)-No. 1085**, 2012: Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2011, 1-19 pp.
43. **Ortega-Gaucin, D.**, 2012: Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación. Instituto del Agua del Estado de Nuevo León. Apodaca, N.L. 222 pp.
44. **Ortega-Gaucin, D.**, 2013: Impacto de las sequías en Nuevo León. CiENCiA UANL, vol. 16, No. 63, 8-14 pp.
45. **Padilla y Sánchez, R.J.**, 2007: Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México, Boletín de la Sociedad Mexicana, Vol. 1, 19-42 pp.
46. **Padilla y Sánchez, R.J.**, 1978: Bosquejo geológico-estructural de la Sierra Madre Oriental en el área Linares-Galeana-San Roberto, Estados de Nuevo León. Revista del Instituto de Geología U.N.A.M., vol.2, no.1, 45-54 pp.
47. **Padilla y Sánchez, R.J.**, 1982: Geologic Evolución of Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oror, Saltillo and Monterrey, México. Austin, Texas, E.U.A: The University of Texas, tesis doctoral, 217 pp.
48. **PMPMS, Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía**, 2013: Guía para la formulación de Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía, SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 1-57 pp.
49. **Prado-Gómez, E.**, 1997: Aplicación de métodos geofísico (SEV`s) para investigar zonas de canales de gravas en el área de Hualahuises-Linares, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias de la Tierra, U.A.N.L., 97 pp.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

50. **Rangel-Rodríguez, M.M.**, 1989: Hidrogeología de la Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México, Tesis de Maestría, TH-Darmstadt, pp. 97 pp.
51. **Rodríguez de Barbarín, C., Barbarín-Castillo, J.M.**, 1993: Influencia de la geología regional, los ciclos estacionales y los asentamientos humanos en la caracterización de las aguas superficiales de la cuenca de Linares-Cerro Prieto, N.L., México. Geofísica Internacional, vol.32, no.2, 221-235 pp.
52. **Rojas-Ruíz, G. & Méndez-Delgado, S.**, 1986: Consideraciones sobre el comportamiento de pozos hidrológicos en terrenos impermeables en la Planicie frente a la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. Actas Fac. Cienc. Tierra, U.A.N.L., vol.1, 88-101 pp.
53. **Ruiz-Martínez, M.A.**, 1990: Zur Gliederung Verbreitung und Ökologischen Bewertung der Böden in der Region von Linares, N.L. Mexiko.: Diplomarbeit. Göttingen, Deutschland., Georg-August-Universität Göttingen.
54. **Ruiz-Martínez, M.A., y Werner, J.**, 1997: Research into the quaternary sediments and climatic variations in NE Mexico.: Quaternary International, v. 43/44, 145-151 pp.
55. **SGM (Servicio Geológico Mexicano)**, 2006: Léxico estratigráfico de México: México  
[http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=68&Itemid=75](http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=68&Itemid=75)
56. **Thorntwaite.**, 1929: Clasificación de thorntwaite.  
<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/clasificacionesclimaticas/Thorntwaiteclasificacionclimatica.pdf>

## 9. BIBLIOGRAFÍA

57. **Trenberth, K.E.** 1997: The Definition of El Niño. National Center for Atmospheric Research. Bull. Amer. Met. Soc, 78, 2771-2777 pp.
58. **Valiente, O. M.** 2001: Sequía: Definiciones, Tipologías y Métodos de Cuantificación. Investigaciones Geográficas, No. 26. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, España. 59-80 pp.
59. **Werner, J.,** 1996: Introducción a la Hidrogeología: Monterrey, NL, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, 174 pp.

## ANEXO 1

Figura 4.9 Registro fotográfico de los pozos medidos en el Centro de Producción Agropecuario





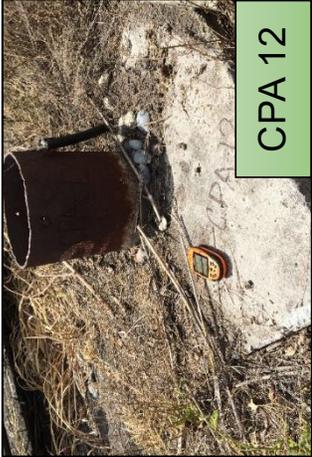
CPA 13



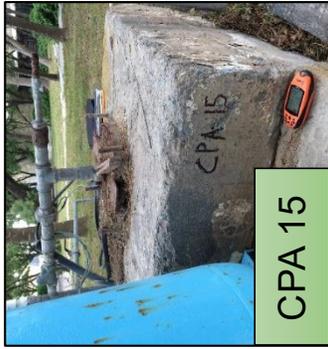
CPA 16



CPA 19



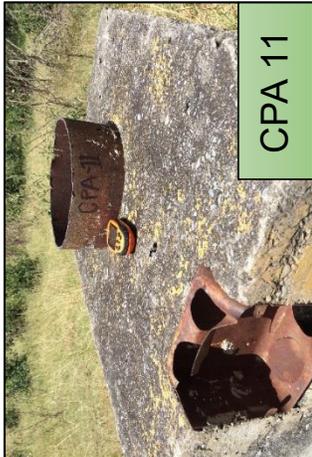
CPA 12



CPA 15



CPA 18



CPA 11



CPA 14



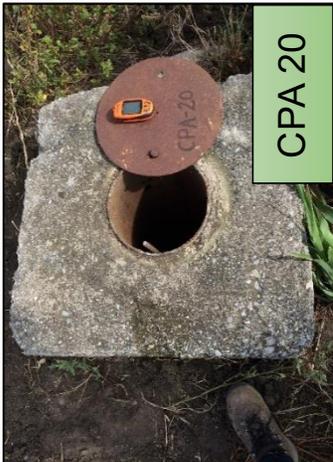
CPA 17



CPA 22



CPA 21



CPA 20



FCF-CPA 25



CPA 24



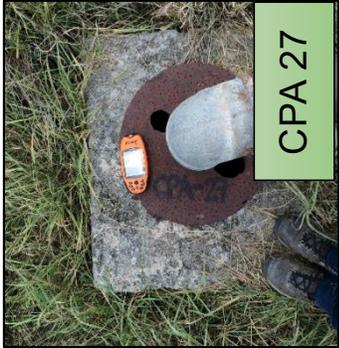
CPA 23



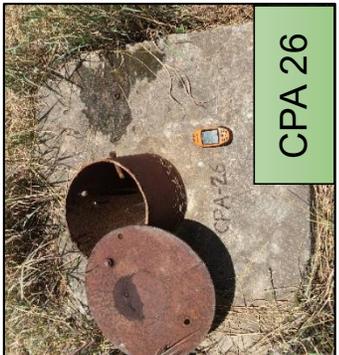
CPA 29



CPA 28



CPA 27



CPA 26