

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



Integración de Datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG)
del Acuífero de la Región Geohidrológica La Paila, Estado de
Coahuila.

Por:

RUDY ABIGAIL DE LA TORRE DÍAZ

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE
Integración de Datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG)
del Acuífero de la Región Geohidrológica La Paila, Estado de
Coahuila.

Tesis

Realizado por:

RUDY ABIGAIL DE LA TORRE DÍAZ

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como
requisito parcial para obtener el título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

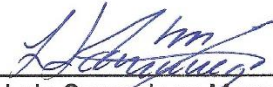
Aprobado por:



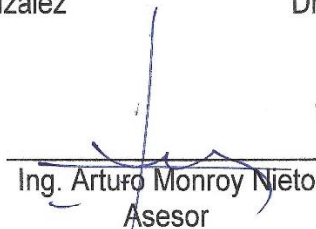
Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
Asesor Principal



Dr. Jorge Méndez González
Asesor

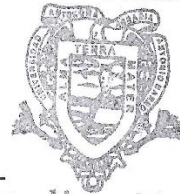


Dr. Luis Samaniego Moreno
Asesor



Ing. Arturo Monroy Nieto
Asesor

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Una vez llegado al final de la tesis y echando una mirada atrás me doy cuenta de todas las personas e instituciones a las que tengo algo que agradecer y que de alguna manera han contribuido a la realización de este trabajo. Sinceramente doy gracias a:

A Dios, Por darme la vida, salud, esperanza y darme fortaleza para seguir adelante; además de concederme otra oportunidad y llenar de bendiciones los días y por permitirme tener a mi lado una buena familia.

A Mi Alma Terra Mater Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro;

Por haberse convertido en mi segundo hogar, me ha dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento, sino para lo que me concierne a la vida y futuro del campo en el que me he visto inmerso; Donde aprendí el verdadero valor y amor hacia la agronomía, permitiéndome superación profesional.

A La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Por la confianza depositada en todos los alumnos y en mí, que nos hemos acercado para la obtención de información y poder realizar proyectos como este, que algún día serán de utilidad para las generaciones futuras de los educandos.

Al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Por su tiempo y orientación, la confianza depositada en mí, gracias por la disponibilidad, el tiempo y la paciencia que me brindó en las múltiples asesorías.

Al Dr. Luis Samaniego Moreno

Por su confianza, disponibilidad, amabilidad e incondicional asesoría en la revisión del presente trabajo y poder culminar satisfactoriamente.

Al Dr. Jorge Méndez González

Por su confianza, disponibilidad, amabilidad e incondicional asesoría en la revisión del presente trabajo y poder culminar satisfactoriamente.

Al Ing. Arturo Monroy Nieto,

Por su confianza, disponibilidad, amabilidad e incondicional asesoría en la revisión del presente trabajo y poder culminar satisfactoriamente.

A todos los PROFESORES DE LA UNIVERSIDAD

Por aquellos que me impartieron clases y brindaron sus conocimientos y consejos, que fueron base fundamental para moldearme profesionalmente.

DEDICATORIAS

Con Especial Dedicación a Mis Padres

Sra. Georgina América Díaz Gutiérrez

Sr. Jesús Roldán de la Torre López

Como un testimonio de amor y eterno agradecimiento por mi existencia, valores morales y formación profesional. Son Madre tu “legado”; que por tu cariño, comprensión, esfuerzo, sacrificio que en mí depositaste, fuiste pieza fundamental al demostrarme la fortaleza de tu ser y a formarme en la persona que ahora soy. A ti padre, por la confianza y enseñarme a ser humilde y sencillo, sobre todo por creer en mí; Quiero que sepan, que han sido y serán siempre la motivación que me impulsa a salir adelante. Bendito Dios por lo que hemos logrado; donde mi trofeo, es también el vuestro. Esto será la mejor de las herencias. Orgullosamente por Ustedes: su hijo “el Rudo”.

A Mis Abuelos

Casiano (†), Perseo, Carmen y Oliva (†), Por sus sabios consejos que me sirvieron en gran manera para moldear mi carácter y por aquellos momentos que siempre recordare.

A Mis Hermanos

Wendy, Elmer, Darwin, y al pequeño Josmar; Por los buenos y malos momentos que vivimos juntos, por el apoyo brindado y la confianza depositada. Me enseñaron que estando unidos “no hay imposibles” y que con dedicación se alcanza la excelencia, por lo tanto, me siento muy orgulloso de ustedes.

A Mis Tíos

En especial a Edgar, Anel, Javier, Reyna y Alberico, que estuvieron con su apoyo en los malos y buenos momentos de mi vida y que tuvieron influencia en mí, para seguir luchando y seguir adelante.

A Mi Novia, Por el apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de mi vida y carrera profesional y que a pesar de las situaciones difíciles siempre estaba ahí para apoyarme, recordando esto “la paciencia es una virtud”.

A Mis Compañeros y Amigos de la Generación CXX de la Carrera Ing. Agrónomo en Irrigación, Por el apoyo y la amistad incondicional que me brindaron.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE CUADROS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Los Sistemas de Información Geográfica.....	4
2.2 Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Hidrología.....	6
2.3 Los SIG en los Modelos de Simulación de las Aguas Subterráneas.....	8
2.4 Las Aguas Subterráneas en México.....	9
2.5 Estudios Previos Realizados en el Acuífero La Paila.....	11
2.6 El Software ArcGIS.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Descripción de la Zona de Estudio.....	17
3.1.1 Ubicación de la Zona de Estudio.....	17
3.1.2 Climatología.....	20
3.1.3 Precipitación.....	21
3.1.4 Hidrología.....	21
3.1.5 Fisiografía.....	23
3.1.6 Geología.....	27
3.1.7 El Acuífero.....	28
3.1.8 Estratigrafía.....	28
3.2 Integración de Sistemas de Información Geográfica en de ArcMap de ArcGIS.....	33
3.3 Visualización de información integrada en ArcMap.....	33
3.4 Adición de capas en ArcMap.....	36

3.5	Uso de Herramientas para el Análisis Vectorial en ArcGIS: ArcToolbox	38
3.5.1	Clip	38
3.5.2	Interpolación	39
3.6	Adición de Coordenadas de GPS a ArcGIS Mediante Tablas de Excel	40
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	43
4.1	Clima.....	44
4.2	Precipitación	45
4.3	Evapotranspiración	46
4.4	Región Hidrológica Administrativa	47
4.5	Hidrológicas	48
4.6	Regiones Fisiográficas.....	49
4.7	Cuencas Hidrológicas	50
4.8	Edafología.....	51
4.9	Geohidrológica.....	52
4.10	Profundidad del Nivel Estático	53
4.10.1	Profundidad de Nivel Estático (PNE) para el Año de 1987	53
4.10.2	Profundidad de Nivel Estático (PNE) para el Año de 2013	55
4.11	Elevación del Nivel Estático.....	57
4.11.1	Elevación del Nivel Estático (ENE) para el Año de 1987	57
4.11.2	Elevación del Nivel Estático (ENE) para el Año de 2013	57
4.12	Tabla de Atributos.....	60
V.	CONCLUSIONES	61
VI.	RECOMENDACIONES	62
VII.	BIBLIOGRAFIA	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Los SIG como herramienta de apoyo para la toma de decisiones....	5
Figura 3.1	Ubicación de la Zona de Estudio.....	18
Figura 3.2	Macro localización del Acuífero La pila.....	18
Figura 3.3	Columna estratigráfica del acuífero La Paila.....	32
Figura 3.4	Visualización de Datos.....	34
Figura 3.5	Vista de la Creación de Mapas en Layout.....	35
Figura 3.6	Add Data y Catalogo, para la adicionar capas en ArcMap.....	37
Figura 3.7	Marco de Datos en ArcMap.....	37
Figura 3.8	Vista conceptual de la opción Clip de ArcToolbox.....	38
Figura 3.9	Interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW).....	40
Figura 3.10	Transformación de coordenadas geográficas a grados decimales.....	41
Figura 3.11	Base de datos de la piezométrica del acuífero La Paila.....	42
Figura 4.1	Acuífero la Paila vista de ArcMap.....	43
Figura 4.2	Climatología del Acuífero La Paila.....	44
Figura 4.3	Precipitación Media Anual en mm del Acuífero La Paila.....	45
Figura 4.4	Evapotranspiración en mm del Acuífero La Paila.....	46
Figura 4.5	Regiones Hidrológicas Administrativa del Acuífero de La Paila.....	47
Figura 4.6	Regiones Hidrológicas de Acuífero La Paila.....	48
Figura 4.7	Provincias Fisiográficas del Acuífero La Paila.....	49
Figura 4.8	Cuencas Hidrológicas del Acuífero La Paila.....	50
Figura 4.9	Edafología del Acuífero La paila.....	51
Figura 4.10	Hidrogeología del acuífero La Paila.....	52
Figura 4.11.	Profundidad del Nivel Estático del Acuífero La Paila del Año 1987.....	54
Figura 4.12.	Profundidad del Nivel Estático del Acuífero La Paila del Año 2013.....	56
Figura 4.13	Elevación del Nivel Estático del Acuífero La Paila del Año 1987...	58
Figura 4.14.	Elevación del Nivel Estático del Acuífero La Paila del año 2013..	59

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Coordenadas de la poligonal del acuífero La Paila.....	19
Cuadro 4.1 Tabla de Atributos del SIG del Acuífero La Paila.....	60

RESUMEN

En la actualidad la mayoría de las investigaciones con respecto al medio ambiente se han enfocado en el estudio de la hidrología, lo que permite ver la evolución que ha tenido a lo largo del tiempo desde diversas perspectivas, cabe señalar que los estudios se centran en el agua superficial, sin embargo los estudios que lleven la valoración del agua subterránea son muy escasos, quizá se debe a que los impactos que estas puedan tener no son tan visibles y son a largo plazo que aquellos relacionados con el agua superficial y no han llamado la atención pública. Es por eso que el presente trabajo se enfoca en la obtención de una base de datos de la región geohidrológica del acuífero La Paila, mediante la integración de datos de niveles de piezometría de los pozos profundos de la región, utilizando el software ArcGIS creado por ESRI®. Este sistema está integrado por datos geográficos tales como; el polígono de La Paila, libro de Excel donde se incluye los niveles piezométricos, cotas y coordenadas geográficas obtenidas de la CONAGUA. Se utilizaron capas temáticas de clima, precipitación, evapotranspiración, fisiografía, cuencas hidrológicas, entre otras, descargadas de la página principal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). El SIG está desarrollado sobre el software ArcMap de ArcGIS de ESRI® usando las herramientas, Clip e interpolación con IDW, lo cual permite consultar, analizar y editar datos geográficos permitiendo realizar salidas cartográficas; analizando el comportamiento piezométrico mediante mapas comparados entre sí de los años de 1987 y 2013. Con la aplicación de la herramienta clip de ArcMap se tiene representaciones gráficas de cada una de las capas insertados para crear el SIG, en cada uno de ellos muestra la distribución de la información dentro de la región. Para una información actualizada se necesita la evaluación de los pozos en diferentes tiempos, para así ver los problemas presentes en la zona de estudio y poder decidir si los pozos en la región presentan sobre explotación y poder tomar medidas para mitigar esos aspectos.

Palabras clave: ArcGIS, Piezometría, Agua Subterránea.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los estudios en la investigación sobre el agua son abundantes y permiten ver la evolución que ha tenido este elemento desde diversas perspectivas. No es novedad que la mayoría se centren en el estudio del agua superficial y más recientemente en el ciclo hidrológico. Sin embargo, poca ha sido la atención que ha tenido el estudio del agua subterránea. El interés es escaso si se tiene en cuenta la importancia que reviste para el equilibrio de los ecosistemas y para mantener un equilibrio favorable para todos los componentes del ambiente. Quizá el hecho se debe a que los impactos que estas puedan tener no son tan visibles y son a más largo plazo que aquellos relacionados con el agua superficial y no han llamado la atención pública. Además, los estudios técnicos y científicos sobre su funcionamiento son relativamente recientes lo que ha limitado el conocimiento de entender su papel como eje primordial del ambiente. El agua subterránea ha existido en el ambiente desde antes de la formación de la vida en el planeta. Desde el inicio, los habitantes de un territorio se incorporaron a ella como una parte integrada, reconociendo el poder de ésta sobre la vida de la comunidad. Si bien es posible que usualmente fuera considerada un ente religioso y místico, no es casual que los habitantes en cualquier región de antaño hayan logrado un equilibrio entre el agua existente, la densidad de población y la actividad particular así como una poblacional específica basada en un conocimiento inteligente de las características de su presencia (Domínguez, 2007).

El presente trabajo de investigación tiene el propósito de aportar información de los niveles de piezometría en la región geohidrológica La Paila; de tal manera que se pueda definir el manejo y el grado de explotación del acuífero.

Se trabajó con el Software ArcGIS de ESRI® para procesar datos de niveles estáticos de pozos obtenidos en campo para la creación de mapas conceptuales y visualizar y entender las diferencias de niveles que al paso del tiempo el acuífero ha sufrido, ya que la sobreexplotación del recurso hídrico en la zona es excesiva. La falta de capacitación de manejo y cuidado del agua, lleva a implementar modelos hidrogeológicos que representan un sistema de agua subterránea y su comportamiento con el medio, esto aporta información del comportamiento dinámico del agua subterránea, como resultado permitirá una identificación de las políticas de operación para una utilización eficiente para la conservación del agua.

El ordenamiento de la explotación del agua subterránea, permite frenar los incrementos descontrolados de extracciones, proteger a los usuarios actuales y velar por el interés público. Pues es necesario cuidar, mejorar y conservar los acuíferos, así como propiciar el restablecimiento del equilibrio hidrológico de las aguas del subsuelo, en especial por tratarse de una región del país con escasez de agua. Por otra parte, el agua subterránea es prácticamente la única fuente de abastecimiento del área. Para ello se requiere contar con los estudios técnicos que sustenten la necesidad del ordenamiento y presentar las causales de interés y utilidad pública, establecidas en la Ley de Aguas Nacionales, para establecer vedas que cubran el límite de dicho acuífero, así como el establecimiento posterior de su reglamento (Díaz, 2013).

1.1 Objetivo

Analizar el comportamiento Piezométrico de la región Geohidrológica del acuífero La Paila, mediante la integración de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los Sistemas de Información Geográfica

Existen muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones; pero todas coinciden en que se trata de un sistema integrado para trabajar con forma espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas de conocimiento (Figura 1).

Con base en la ubicación geográfica y la proximidad, a través de un SIG se pueden establecer conexiones entre diversos fenómenos. Observando los datos geográficamente se pueden sugerir nuevas explicaciones. Las interrelaciones, frecuentemente, son difíciles de reconocer sin los SIG, pero son vitales para el entendimiento y manejo de actividades y recursos.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), es un conjunto de herramientas diseñadas para la obtención, almacenamiento, recuperación de datos espaciales del mundo real; la importancia de los SIG es, integran información espacial y de otros tipos, ofrecen un marco consistente de análisis para los datos geográficamente referenciados, ofrecen nuevas y novedosas formas para manipular y desplegar datos, permiten la visualización y el análisis de datos con base en las relaciones y proximidad geográficas (INEGI, 2014).

Peña (2006) menciona que los SIG son una nueva de tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, que surgió como resultado de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato; se entiende, la unión de la información y herramientas informáticas (programas o software) con objetivos concretos, por

otra parte al incluir el término “geográfica” se sume que la información es explícita, es decir, incluye la posición en el espacio.

La primera referencia al término SIG aparece por Tomlinson en 1967 citada por Peña (2006), referida a una aplicación informativa cuyo objeto es desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada.

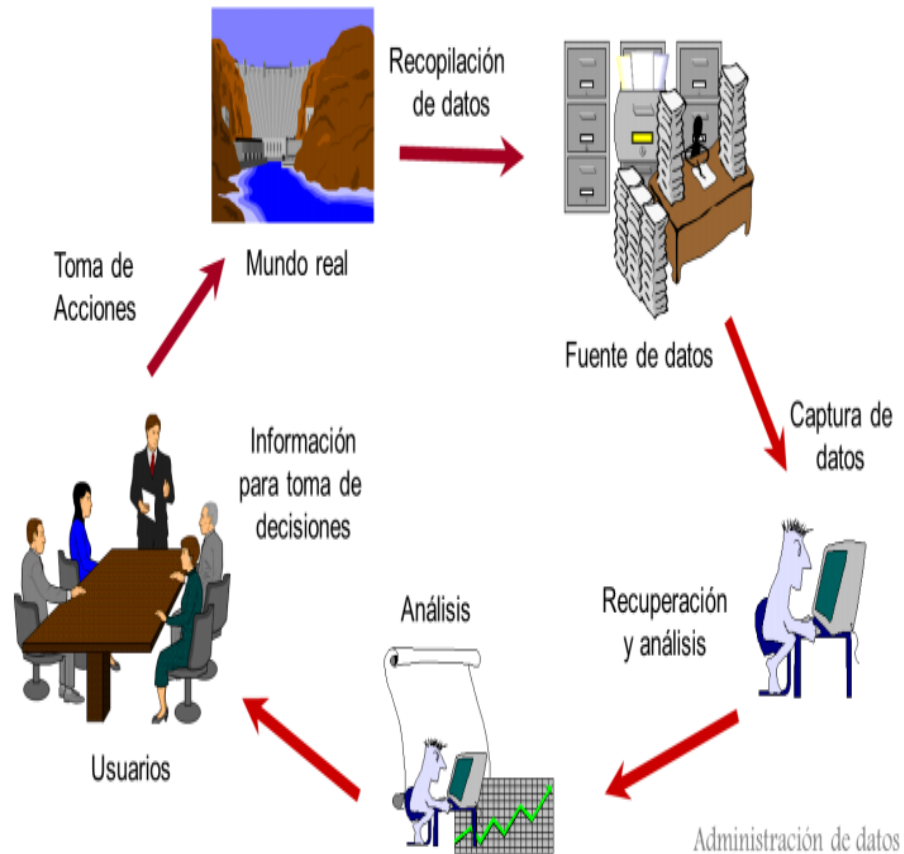


Figura 2.1 Los SIG como herramienta de apoyo para la toma de decisiones tomada del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Un dato es el conjunto de mapas con una misma porción del territorio, donde un lugar concreto, tiene la misma localización o las mismas coordenadas en todos los mapas. Los elementos datos se refieren a descripciones básicas de cosas, acontecimientos, actividades y transacciones que se registran, clasifican y almacenan pero que no se organizan de acuerdo con ningún significado específico. Los elementos datos pueden ser numéricos, alfanuméricos, figuras, sonidos e imágenes (INEGI, 2014).

De acuerdo a Flores (1994) los datos se pueden definir como una información extraída de la realidad que tiene que ser registrada en algún soporte físico o simbólico, que implica una elaboración conceptual y además que se puede expresar a través de una forma de lenguaje.

2.2 Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Hidrología

Custodio *et al.* (1997) mencionan que la evaluación de los recursos hídricos requiere de la realización de balances en las diferentes componentes del ciclo hidrológico. Para ello, las ecuaciones del balance deben normalmente resolverse utilizando programas de cálculo numérico; la estimación de la recarga de los acuíferos requiere utilizar métodos de balance.

Los resultados de los balances deben ser contrastados y calibrados con datos de oscilaciones piezométricas y de aforos en los puntos de salida de la cuenca. También es recomendable comprobar su coherencia con los resultados obtenidos con métodos hidroquímicos e isotópicos y con modelos numéricos de flujo en el acuífero. Los métodos de balance, sin embargo, tienen algunas limitaciones causadas fundamentalmente por las dificultades e incertidumbres existentes en la estimación de ciertos parámetros y componentes del balance, especialmente la reserva útil y la evapotranspiración real.

Según Pantoja, citado por Piedra (2013) mencionó que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido, gracias al desarrollo de los medios informáticos, en una potente herramienta de apoyo a la gestión de recursos naturales, constituyéndose durante los últimos veinte años en una de las herramientas de trabajo más importantes para investigadores, analistas y planificadores.

En los últimos años los sistemas de información geográfica han alcanzado gran aplicación en el campo de la hidrología, específicamente, en la gestión integrada de los recursos hídricos permitiendo mejorar la representación de la variabilidad en la componente espacial de sistemas naturales, como los hidrológicos, a partir de la construcción de modelos espaciales, por lo que se han consolidado en los últimos años como las herramientas más adecuadas para afrontar de forma eficiente la modelación hidrológica.

Longley (1996) expresó que el modelado hidrológico es una de las aplicaciones más usuales de los SIG. Estas herramientas computacionales operan sobre MDT (Modelos Digitales del Terreno) delineando cuencas, redes hidrológicas, cálculo del área de cada cuenca y longitud de los arroyos.

Maidment (1993), citado por Díaz (2013) ha agrupado las aplicaciones de los SIG en hidrología de la siguiente manera:

- Evaluación e inventarios hidrológicos,
- Determinación de parámetros hidrológicos,
- Construcción de modelos hidrológicos sencillos (sin análisis estadístico),
- Construcción de modelos hidrológicos integrados.

La mayor parte de las aplicaciones hidrológicas llevadas a cabo en los SIG son evaluaciones de riesgos naturales y estudios de localización. Ambas tienen muchos aspectos en común e incluso poseen un cierto parecido, aunque disponen de un tratamiento diferente.

2.3 Los SIG en los Modelos de Simulación de las Aguas Subterráneas

Rébori *et al.* (2010) expresan que las herramientas de agua subterránea se pueden utilizar para realizar un modelado de advección-dispersión rudimentario de los componentes del flujo de agua subterránea. El monitoreo del agua subterránea es una herramienta clave para la predicción y gestión de los recursos hídricos. Permite evaluar el impacto que causan las diferentes alternativas de explotación del agua y facilita el manejo del suelo y vegetación de modo de garantizar el uso sustentable del recurso hídrico.

El estudio de un sistema acuífero es complejo y generalmente se dispone de datos limitados y su medición directa a escala regional resulta ardua y onerosa. La modelación matemática aplicada a la hidrología reproduce propiamente el ciclo del agua. La evaluación de los recursos hídricos requiere de una correcta estimación del balance hidrológico. La cuantificación de los términos del balance hidrológico es a menudo difícil, principalmente por la falta de medidas directas sobre los parámetros que lo componen y por la variación espacial y temporal de los mismos, dentro de una región o cuenca hidrográfica. Los procesos hidrológicos que describen el comportamiento hídrico de una región pueden ser analizados a través de la modelización matemática.

Morad y Triviño, citado por Díaz (2013) mencionan que hay que tener en cuenta dos consideraciones que ayudan a entender mejor el valor que los SIG están adquiriendo en la construcción de modelos hidrológicos. La primera de ellas es la aceptación generalizada de que son una herramienta muy productiva.

El segundo argumento hace referencia a sus importantes aportaciones de cara a la aprehensión de los sistemas y modelos hidrológicos.

Las dos circunstancias legitiman su utilización en investigaciones vinculadas a la hidrología. Más si cuando en el futuro los avances en este campo dependerán de nuevas visiones y adelantos conceptuales, muchos de los cuales pueden surgir de la utilización de modelos hidrológicos en los SIG. Estos sistemas cuentan con un gran número de funciones que le confieren una elevada operatividad. Entre las más productivas se destacan las funciones de Introducción de datos y análisis espacial.

2.4 Las Aguas Subterráneas en México

En México da inicio a la historia del uso del agua subterránea con la perforación de los primeros pozos en 1847, dejando atrás las norias cavadas a mano. Los pozos cambiaron no sólo la forma de cómo la naturaleza proveía el elemento, sino que debido al enorme caudal de extracción que involucra, surgieron una serie de consecuencias ambientales negativas como resultado de la ausencia del conocimiento necesario, para evaluar lo que implica la extracción de agua subterránea y del cómo ésta se encuentra ligada con otros componentes del ambiente (Domínguez, 2007).

Durante la fase inicial de la perforación los pozos representaron una ventaja; En un inicio se les llamó artesianos ya que los primeros pozos que se hicieron en México usaron la técnica traída de Artois, Francia, donde se perforaron y construyeron los primeros pozos con máquina de perforación moderna que resultaron surgentes. En este sentido, los primeros pozos incorporaron el control natural de la extracción, limitándose a ocupar el potencial artesiano.

Por supuesto, existía el uso de bombas manuales de diferente tipo que incluían desde el ascenso de un volumen de agua con un recipiente, hasta la bomba de pistón.

En México se tienen registrados 653 acuíferos. Aunque la extracción de agua subterránea se ha mantenido prácticamente sin cambio en los últimos años (en 2007 alcanzó el 37% del total de agua consumida en el país), el número de acuíferos sobreexplotados creció en las últimas décadas: 32 en 1975, 80 en 1985 y 102 en 2007 (15% del total de acuíferos del país). La mayoría de los acuíferos sobreexplotados se encuentran en las regiones hidrológicas de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo y Lerma- Santiago-Pacífico (SEMARNAT, 2009).

En 2007, la intensidad de uso del agua subterránea excedió de manera significativa a la recarga en algunas regiones: Península de Baja California (145%) y Aguas del Valle de México (126%). En el mismo año 17 acuíferos presentaban problemas de intrusión salina. Respecto a los usuarios del agua subterránea, en el periodo 2000-2007 el sector con el mayor volumen concesionado fue el agropecuario, seguido por el abastecimiento público y el industrial (SEMARNAT, 2009).

En términos generales se puede decir, la extracción total del agua subterránea, 3% es para uso doméstico, 6% para la industria, 20% de uso público urbano, y 71% para la agricultura; el problema radica en el uso en la agricultura, pues ahí, se aprovecha y al mismo tiempo se pierde una gran cantidad de agua por la evapotranspiración, y por los actuales sistemas de riego en la agricultura, que tendrán que modificarse y cambiarse, si queremos seguir teniendo agua y alimentos.

Si a todo este panorama sumamos el problema del “cambio climático”, se agrava aún más, los resultado de los estudios que se han realizado respecto a una proyección a un futuro inmediato, el cambio climático va a producir, ascenso del nivel del mar, lo que contaminará los acuíferos costeros existentes, pues se contaminarán con agua salada. Una región vulnerable es Yucatán, Baja California y Sonora (SEMARNAT, 2009).

2.5 Estudios Previos Realizados en el Acuífero La Paila

Se recopiló toda la información útil que permitirá definir la situación actual de conocimiento hidrogeológico del área de estudio. A continuación se menciona el tipo de estudio, objetivos y resultados alcanzados.

a).- Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea. Acuífero la Paila, estado de Coahuila publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Agosto del 2009 (CONAGUA, 2009).

La descripción geológica regional, menciona que la región se caracteriza por la predominancia de rocas sedimentarias mesozoicas plegadas, que descansan sobre rocas del Paleozoico-Precámbrico. Localmente y hacia la porción plana del valle de la Paila, se advierte la presencia de sedimentos marinos y continentales y en menor proporción de tipo volcánico, por lo que se infiere que estos materiales litológicos conforman el subsuelo.

Las variables hidrológicas involucradas en el balance fueron determinadas basándose en la hidrogeología reportada en el estudio hidrogeológico realizado en el año de 1973. La recarga total media anual estimada que recibe el acuífero es de 14.7 hm³/año. La descarga natural comprometida considerada como el caudal base de los ríos es de 0 hm³/año. El volumen concesionado de aguas subterráneas hasta el 30 de abril de 2007 es de 23.205290 hm³/año.

Con los datos anteriores se obtiene una disponibilidad media anual de – 8.505290 m³ anuales.

b).- Estudio de reactivación de redes de monitoreo de los acuíferos de los valles de: Monclova, Saltillo-Ramos Arispe, Allende-Piedras Negras, Cuatrociénegas-Ocampo, La Paila y Derramadero, Coahuila (CONAGUA, 1998).

Los objetivos principales de este trabajo son:

- Establecer una red de monitoreo moderna, confiable, para la obtención de información hidrogeológica-piezométrica de los acuíferos.
- Conocer la situación actual de los niveles del agua subterránea, así como las tendencias que presentan inducidos por causas naturales o antropogénicas.
- Establecer un marco de referencia actualizado para identificar los cambios que generen los desarrollos futuros sobre las fuentes de agua subterránea.

La unidad acuífera en la cual se encuentran los pozos de explotación, es el aluvión conformado por arenas, gravas, limos y arcillas, con agua de mala calidad, cuyo espesor es del orden de los 400 m. Otro acuífero en explotación, es el constituido por rocas sedimentarias del Grupo Difunta, de baja permeabilidad y consecuentemente de baja producción; sin embargo, las calizas de la Formación Indidura, localizadas en la sierra de Mayrán, tienen buena permeabilidad. Las calizas de la Formación Aurora, por sus características geohidrológicas tienen posibilidades de formar un buen acuífero confinado en el subsuelo del área. La recarga del área viene del sur.

El acuífero que subyace en el area de La Paila, practicamente se encuentra en equilibrio. Se recomienda hacer aforos en los aprovechamientos de la zona, con el fin de conocer la extracción real del acuífero. Se recomienda continuar con la medición de los niveles estáticos en los pozos definidos como pilotos. Se recomienda realizar pruebas de bombeo como nivelaciones en las captaciones seleccionadas.

c).- Estudio Geohidrologico del acuífero La Paila, Coahuila (IMTA, 2013).

En el se menciona de acuerdo con el censo de aprovechamientos, se registraron 516 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 506 son pozos, 8 norias y 2 manantiales. La gran mayoría de estos aprovechamientos están emplazados en el acuífero superior libre constituido por rellenos aluviales.

Las profundidades de los pozos fluctúan entre 26 y 250 metros, se señala que la profundidad de los pozos en los ejidos Estanque de León y La Pelota reportan una profundidad entre los 600 y 780 metros, respectivamente. Los aprovechamientos están equipados con bombas cuyo diámetro de descarga fluctúa entre 25.4 mm (1") y 203.7 mm (8"). Con respecto a los usos, 423 se dedican al uso agrícola, 32 al Público urbano, 17 al pecuario y 2 al industrial (candelilla). 474 aprovechamientos están activos y 42 están fuera de servicio.

Los volúmenes de agua subterránea extraídos en el acuífero La Paila, ascienden a 49, 065, 360.39 metros cúbicos de los cuales 48.71996089 Mm³ corresponden al uso agrícola, 0.31913775 Mm³ al uso público urbano y 0.02626175 Mm³ al uso pecuario. La recarga del acuífero La Paila proviene del sur y este, desde San Rafael de los Milagros hasta el Pilar de Richardson. La configuración también muestra que se tienen salidas del acuífero La paila hacia el acuífero principal de la Comarca Lagunera, con una dirección sur-noroeste y este-oeste.

Las entradas menos las salidas ascienden a $-17.81219648 \text{ hm}^3/\text{año}$, reflejando que el acuífero de La Paila se encuentra sobreexplotado. El resultado de la aplicación de la norma, considerando los volúmenes reales de extracción estimados durante el estudio hidrogeológico realizado en el presente año, indica que actualmente no existen volúmenes adicionales para otorgar concesiones, teniendo un déficit que asciende a $-12,383,828.29 \text{ hm}^3/\text{año}$.

d).-Actualización de Mediciones Piezométrica de los Acuíferos Denominados: Principal, Oriente Aguanaval, Vicente Suárez, y La Paila, Región Lagunera, Estados de Coahuila y Durango. 2002.

La finalidad del estudio fue actualizar las redes de medición de los niveles del agua subterránea de este acuífero. Se definieron las evoluciones de los niveles del agua en distintos periodos de observación, resultado de los esfuerzos hidrodinámicos inducidos por las condiciones de recarga y extracción a que está sujeto el acuífero.

Con estas bases, en el año de 2004, el Proyecto Regional de Aguas Subterráneas, dependiente de la Subgerencia Técnica de la Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte, da continuidad a los recorridos de campo para recabar datos de profundidad de niveles de agua subterránea, partiendo de la red piloto de monitoreo piezométrica establecida en trabajos previos.

e).- Modelo Conceptual del Acuífero La Paila. Coahuila (Ortíz *et al.* 2014).

En este estudio se hace una descripción de las unidades hidroestratigráficas: El acuífero granular, se almacena en la unidad aluvial constituidos por arenas, gravas limos y arcillas, donde se han perforado la mayoría de los pozos, los caudales que produce fluctúan entre los 20-30 litros por segundo. El modelo se compone de dos sistemas de flujo subterráneo que circulan en medios geológicos distintos.

El acuífero es del tipo libre y sus límites laterales lo constituyen los flancos de las sierras. El segundo es un acuífero semiconfinado inferior constituido por lutitas y areniscas, la profundidad de los pozos es de hasta 300 metros y los caudales que produce son mayores o iguales a 60 litros por segundo; hasta el momento no se han encontrado calizas.

Las profundidades del nivel estático en el área, donde la densidad de pozos es mayor, fluctúan entre los 40 y 80 metros. La configuración de la elevación del nivel estático, muestra que se presentan elevaciones del nivel estático entre 1360 msnm (al sur del acuífero) y de 1040 msnm al oriente, por lo que la recarga del acuífero La Paila proviene del sur. Las descargas son hacia el acuífero principal Región Lagunera. Los resultados del balance hidrológico subterráneo muestran que las entradas menos las salidas ascienden a $-17812196.48 \text{ Mm}^3/\text{año}$, reflejando que el acuífero de La Paila se encuentra sobreexplotado.

2.6 El Software ArcGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. ArcGIS es utilizado por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. Se puede pensar en el sistema ArcGIS como en una infraestructura para elaborar mapas y poner la información geográfica a disposición de los usuarios dentro de un departamento, por toda una organización, entre varias organizaciones y comunidades de usuarios o en Internet, para cualquier usuario interesado en acceder a ella (ESRI, 2014).

William *et al.* (2004) mencionan que el Software ARGIS utiliza el sistema de gestión de base de datos relacional para analizar, almacenar, recuperar y actualizar datos. ArcGIS es uno de los productos de software de sistema de información geográfica más popular utilizada actualmente por gobiernos locales y otras organizaciones gubernamentales y privadas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la Zona de Estudio

3.1.1 Ubicación de la Zona de Estudio

El acuífero La Paila, localizado en la región norte-centro del país, con la clave 0509, comprende una superficie aproximada de 6,949 km² y se ubica en el extremo oriente de la Región Lagunera, porción sur del estado de Coahuila (Figura 3.2). El acuífero La Paila colinda al norte con los acuíferos del Valle de San Marcos y El Hundido, al sur con los de General Cepeda-Sauceda y Saltillo Sur, al este con los acuíferos General Cepeda Saucedo y Paredón, y hacia el oeste con el acuífero Principal-Región Lagunera (CONAGUA, 2009) (Figura 3.1).

Su localización queda comprendida entre las coordenadas geográficas de 25°24'0.0" a 26°17'30.1" de latitud norte y de 101°32'50.5" a 102°53'55.9" de longitud oeste. Cubre casi en su totalidad el Municipio de Parras, parcialmente el de General Cepeda y en menor proporción los municipios de San Pedro, Cuatro Ciénegas y Ramos Arizpe, en el estado de Coahuila.

De acuerdo a Ortiz *et al.* (2014) es una extensión plana, de unos 100 km en dirección este-oeste y 50 km en dirección norte-sur, se encuentra limitada al norte, por las sierras de San Salvador y de La Paila, al sur por la Sierra de Parras, al este con los límites políticos del municipio de General Cepeda y al oeste con el límite municipal de San Pedro de las Colonias y la Laguna de Mayrán.

Pertenece a la Región Hidrológica- Administrativa VII "Cuencas Centrales del Norte" se ubica en una zona del país con baja precipitación anual, lo cual limita sus posibilidades de desarrollo social, económico y ambiental (DOF, 2008).

El acuífero La Paila se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental y en parte de la subprovincias, Laguna de Mayran, Sierra de la Paila y la subprovincia Pliegues Saltillo-Parras. Se caracteriza por sus grandes llanuras más o menos encerradas, y las sierras paralelas entre sí, orientadas NW-SE y E-W en la localidad (CONAGUA, 2009).

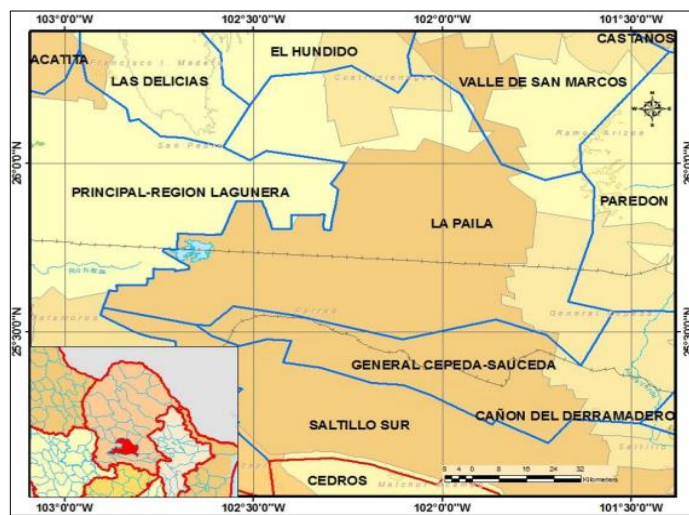


Figura 3.1 Ubicación de la Zona de Estudio (tomado de la CONAGUA, 2009)

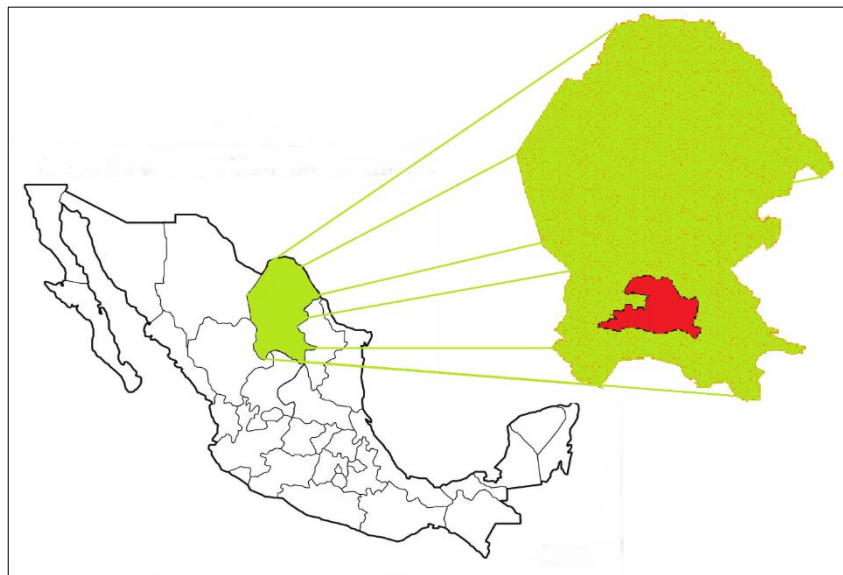


Figura 3.2 Macro localización del Acuífero La Paila

Los límites del acuífero están definidos por los vértices de la poligonal simplificada, cuyas coordenadas se presentan en el Cuadro 3.1 y que corresponden a las incluidas en el acuífero publicadas por el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2008).

Cuadro 3.1 Coordenadas de la poligonal del acuífero La Paila.

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	33	14.2	25	34	36.3	
2	102	37	0.6	25	31	6.9	
3	102	39	12.8	25	31	12.8	
4	102	53	55.9	25	34	22.5	DE LA 4 A LA 5 POR EL LÍMITE MUNICIPAL
5	102	15	36.4	25	59	47.0	
6	102	15	17.7	26	0	12.4	
7	102	28	0.9	26	2	16.7	
8	102	30	36.2	26	0	37.1	
9	102	34	48.3	26	3	1.1	
10	102	30	39.6	26	10	24.8	
11	102	27	12.0	26	15	40.4	
12	102	18	32.3	26	16	29.6	
13	102	14	26.7	26	17	30.1	
14	102	6	59.7	26	12	41.9	
15	102	5	3.2	26	15	44.8	
16	102	1	21.0	26	15	36.2	
17	101	57	4.3	26	12	23.5	
18	101	50	34.0	25	59	54.1	
19	101	43	40.5	25	57	2.2	
20	101	37	55.2	25	58	39.3	
21	101	35	48.8	25	55	45.5	
22	101	36	4.3	25	47	43.9	
23	101	40	2.3	25	35	21.9	
24	101	32	50.5	25	33	38.8	
25	101	37	58.9	25	24	0.0	
26	101	43	17.0	25	29	19.7	
27	101	51	24.0	25	32	13.6	

28	102	6	21.2	25	28	40.9	
29	102	23	18.5	25	32	51.1	
1	102	33	14.2	25	34	36.3	

3.1.2 Climatología

El clima en la zona donde se ubica el acuífero La Paila, clave 0509, es árido, seco, extremoso, con una temperatura media anual de 20.20 grados centígrados. La precipitación anual promedio es de 298.47 milímetros y la evaporación anual es 2,216.20 milímetros (DOF, 2008).

De acuerdo con la clasificación climática de Koppen, modificada por Enriqueta García (1973), las características físicas y la ubicación espacial de la zona de estudio, permiten que prevalezca un clima muy seco (BW) y dentro de este un subtipo denominado muy seco -semicálidos (BW hw).

La temperatura media anual varía de 20 a 22° C; los meses de abril a octubre la media mensual está por arriba de los 20° C, y en el ciclo noviembre a marzo disminuye, siendo los meses de diciembre y enero los más fríos con temperaturas menores a 10° C. De acuerdo con el análisis de las estaciones climatológicas, la temperatura media anual es de 20 °C (CONAGUA, 2009).

La distribución del clima en la zona es muy regular, salvo una mínima extensión, hacia la parte sur del valle- cerca del poblado de San Francisco del Progreso, donde se manifiesta un subclima seco-semicálido; el microclima predominante presenta lluvias en verano, invierno, en menor proporción y escasas todo el año, además de asociarse a inviernos frescos.

3.1.3 Precipitación

En el área de estudio el acuífero La Paila se tomaron información de estaciones climatológicas denominadas estación Parras y El Sol. La precipitación promedio anual en la estación climatológica Parras, es de 375.65 mm. El período de lluvias corresponde a los meses de mayo a octubre y el período de estiaje se presenta de noviembre a abril. El mes más lluvioso es julio con 69.24 mm y el menos lluvioso marzo con precipitación de 7.3 mm. La precipitación promedio anual en la estación climatológica El Sol, es de 172.91 mm.

El registro de datos analizados de la estación El Sol es de 1991 al 2009. El período de lluvias corresponde a los meses de mayo a octubre y el período de estiaje se presenta de noviembre a abril. El mes más lluvioso es septiembre con 29.62 mm y el menos lluvioso abril con precipitación de 3.1 mm (IMTA, 2013).

La precipitación en el valle La Paila varía de entre 200 y 300 mm anuales y de acuerdo con el análisis de la información pluviométrica de las estaciones climatológicas, la precipitación media anual es de 220 mm. Los meses lluviosos son de mayo a septiembre, con alrededor de 80 mm, en tanto que en los meses restantes la precipitación mensual es mínima (CONAGUA, 2009).

3.1.4 Hidrología

La zona de La Paila, pertenece a la Región Hidrológica número 36 Nazas-Aguanaval y queda comprendida dentro de la denominada Región Lagunera. Esta región, está formada por la cuenca del río Nazas y la cuenca del río Aguanaval y está situada en la porción sur de la cuenca cerrada de la laguna de Mayrán, que recibe las escasas aportaciones que en ella descarga el río Nazas.

La región Nazas-Aguanaval está conformada por las cuencas Río Nazas-Torreón y Lagunas de Mayrán y Viesca, la red superficial que se origina en la zona, no alimenta al río Nazas ni a la Laguna de Mayrán, más que nada como consecuencia de las escasas precipitaciones y a los materiales de textura gruesa depositados a los pies de las sierras, que permiten que la infiltración sea mayor (IMTA, 2013).

3.1.4.1 Región Hidrológica No. 36 Nazas-Aguanaval

Salas (2012) expresa que es la región hidrológica donde se encuentra el río Nazas y la comarca Lagunera y tiene una superficie de 92000 km² que se extiende desde la Sierra Madre Occidental hasta las lagunas Viesca y Mayrán en la Laguna. Abarcando 36 municipios (o parte de ellos) pertenecientes a tres estados del norte de la república Mexicana: Coahuila, Durango y Zacatecas ocupando el 27% de la superficie total de los tres estados; es una de tres regiones hidrológicas en el norte de México con un régimen cerrado o endorreico, esto quiere decir que sus aguas no desembocan en el mar sino en lagunas o cuerpos de agua internos. A lo largo de la región se presentan elevaciones que oscilan desde los 1000 hasta los 3220 msnm, esta variación tiene impacto en la cantidad de lluvia recibida, así esta región recibe la mayor cantidad de agua pluvial entre 200 y 800 mm dependiendo de la altitud de la zona, de esta forma la parte alta de la cuenca (sierra madre occidental) recibe la mayor cantidad de agua pluvial, mientras que las zonas de la laguna de Mayran y Viesca reciben la menor cantidad del agua , corresponde a las zonas más bajas de la región lagunera.

3.1.5 Fisiografía

La superficie del acuífero se encuentra ocupando dos Provincias Fisiográficas. Su parte Meridional, pertenece a la Provincia fisiográfica denominada Sierras y Llanuras del Norte y en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental, mientras que la parte septentrional se encuentra dentro de la Provincia de Cuencas y Sierras; ocupando las subprovincias Laguna de Mayrán, Pliegues Saltillo-Parras, Sierra de la Paila y Sierras Transversales. Esta configuración produce una especie de red de sierras entre las cuales se encuentran llanuras cubiertas de aluvión que aloja al acuífero libre en medio granular, principalmente (DOF, 2008).

3.1.5.1 Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte

Las sierras de esta provincia son muy bajas y muy inclinadas; se separan entre sí por grandes llanuras algunas de ellas denominadas bolsones. El más conocido es el bolsón de Mapimí, ubicado en los límites de Durango, Coahuila y Chihuahua. Al norte de esta provincia, cerca de Ciudad Juárez se encuentra las dunas de Samalayuca (INEGI, 2008).

Esta llanura se caracteriza por la predominancia de llanuras cubiertas por grandes espesores de materiales aluviales, así como la existencia de sierras aisladas constituidas por rocas sedimentarias de origen marino y afloramiento de rocas ígneas. Las principales estructuras geológicas que se manifiestan en están representadas por fallas de tipo normal, así como plegamiento (anticlinales y sinclinales) con orientación norte-sur y este-oeste, como la sierra Mojada y del Rey principalmente, que se desarrollan paralelamente al contacto entre los suelos aluviales y las rocas sedimentarias que constituyen estas sierras.

Existen además cuerpos intrusivos coladas de lava en las porciones que corresponden a las sierras volcánicas escarpadas al centro y norte de la provincia.

3.1.5.2 Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental

Martínez (2015) menciona que la Sierra Madre Oriental es una cadena montañosa angosta y alargada de aproximadamente 1350 kilómetros de longitud y de 80 a 100 km de amplitud; que se extiende desde el sur del Río Bravo y corre paralela al Golfo de México hasta unirse con el Eje Neo volcánico, que separa América del Norte de América Central. Políticamente se extiende por parte de los estados de Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas.

Las montañas de la provincia de Sierra Madre Oriental están constituidas por rocas sedimentarias de origen marino, calizas y lutitas, principalmente de la era mesozoica; los estratos de estas rocas están doblados a manera de grandes pliegues que forman una sucesión de crestas alternadas con bajos; las cumbres oscilan entre los 2,000 y 3,000 m. Al oeste de Ciudad Victoria existen ventanas erosionables que permiten observar los afloramientos de rocas más antiguas de esta provincia: rocas metamórficas como gneises y esquistos del Precámbrico y del Paleozoico que constituyen el basamento de la sierra.

3.1.5.3 Subprovincia Fisiográfica Laguna de Mayran

La porción coahuilense de la Subprovincia está constituida básicamente por llanuras, aunque se encuentran también algunos lomeríos. Estos sistemas de topo formas abarcan 7,804.31 km² del área estatal y comprenden partes de los municipios de Francisco I. Madero, General Cepeda, Parras, San Pedro y Viesca. En esta área dominan los suelos Solonchak órticos y takyricos, en segundo lugar, de acuerdo a la dominancia, se encuentran los Yermosoles háplicos y cálcicos, también se encuentran Xerosoles háplicos, lúvicos y cálcicos, así como Litosoles y Regosoles calcáricos y éutricos.

3.1.5.4 Subprovincias Fisiográfica Pliegue Saltillo-Parras

Los 9,195.35 km² de la mitad sur de esta Subprovincia se encuentran incluidos dentro del territorio del estado de Coahuila, incluye partes de los municipios de Parras, General Cepeda, Saltillo, Arteaga, Ramos Arizpe, Castaños, Candela y Monclova. Los tipos de suelo presentes en esta región son: Litosoles, Regosoles calcáricos, Luvisoles crómicos, Xerosoles háplicos y cálcicos, Fluvisoles, Rendzinas, Feozems calcáricos, Castañozems y Solonchak órticos.

3.1.5.5 Subprovincias Fisiográfica Sierra de la Paila

Consta de un conjunto de sierras y bolsones amplios, de drenaje interno, con bajadas y abarca dentro del estado de Coahuila 19,229.68 km², que representan el 12.68% de la superficie total estatal. En su parte occidental se tiene el bolsón conocido como Valle Buenavista, limitado al oeste por la sierra de Tlahualilo y al este con las elevaciones llamadas de Albardienta, que alcanza 1,800 msnm.

En el oriente se tiene la sierra de la Paila propiamente, de estructura cómica y flancos suaves, excepto en el noroeste, donde Consta de un conjunto de sierras y bolsones amplios, de drenaje interno, con bajadas y abarca dentro del estado de Coahuila 19,229.68 km², que representan el 12.68% de la superficie total estatal. En su parte occidental se tiene el bolsón conocido como Valle Buenavista, limitado al oeste por la sierra de Tlahualilo y al este con las elevaciones llamadas de Albardienta, que alcanza 1,800 msnm. En el oriente se tiene la sierra de la Paila propiamente, de estructura cómica y flancos suaves, excepto en el noroeste, donde es afectado por un afallamiento. Tres bolsones, con pisos a menos de 1,000 msnm, llamados valles de El Sobaco, El Hundido y el de San Marcos y Los Pinos ocupen el norte de la subprovincia. La dominancia de las calizas es casi completa en la sierra, excepto en el valle de San Marcos y Los Pinos, donde afloran rocas volcánicas basálticas sobre un área de consideración.

En esta región el tipo de suelo abundante son: los Litosoles y Regosoles calcáricos, también se encuentran Rendzinas, Xerosoles cálcicos y háplicos, Castañozems, Feozems y Yermosoles háplicos y cálcicos. Afectado por una falla miento. Tres bolsones, con pisos a menos de 1,000 msnm, llamados valles de El Sobaco, El Hundido y el de San Marcos y Los Pinos ocupen el norte de la subprovincia. La dominancia de las calizas es casi completa en la sierra, excepto en el valle de San Marcos y Los Pinos, donde afloran rocas volcánicas basálticas sobre un área de consideración.

3.1.5.6 Subprovincias Fisiográfica Sierras Transversales

Esta subprovincia es de sierras que corren paralelas a los cuerpos centrales de la sierra Madre Oriental, separadas unas de otras por llanuras más o menos altas. Es la parte norte de la Subprovincia la que queda en Coahuila. Los tipos de suelos que más dominan en esta Subprovincia son: los Litosoles, Regosoles, Xerosoles háplicos, Fluvisoles Calcáricos. También se encuentran Rendzinas, Xerosoles clásicos, Solonchak órticos, Vertisoles crómicos, Castañozem cálcicos y Fluvisoles Calcárico y eútricos.

3.1.6 Geología

Las rocas sedimentarias constituyen las unidades geológicas de mayor distribución tanto en la superficie como en el subsuelo. Las de origen marino afloran ampliamente en las elevaciones que se presentan en los flancos norte y sur en el acuífero La Paila, dispuestas en estructuras plegadas de orientación preferencial oriente-poniente, sobre todo en la Sierra de Parras, conformando las mayores elevaciones topográficas y donde se registra un importante depósito granular de Pie de Monte. El Flanco norte, Sierra de La Paila, se encuentra caracterizado por lutitas y areniscas de la Formación Parras y calizas y lutitas de la Indidura, coronado por derrames de andesitas. Los materiales sedimentarios de origen continental que se presentan, contienen el acuífero en explotación; preferentemente en las zonas topográficas planas de menor elevación, distribuyéndose en las zonas de pie de monte de los cerros y en la planicie central correspondiente a la Laguna de Mayrán (DOF, 2008).

3.1.7 El Acuífero

El Diario Oficial de la Federación (2008) menciona que el acuífero La Paila, clave 0509, se encuentra contenido en un medio granular, que funciona en las laderas de las sierras como acuífero libre, en depósitos granulares de Pie de Monte, mientras que en el valle se comporta como acuífero semiconfinados.

Las rocas calcáreas actúan como zona de recarga desde las Unidades del Cretácico medio con fracturamiento y cavernas de disolución que alimentan los abanicos aluviales hacia el Valle. Las Unidades del Cretácico Medio y Superior que conforman el subsuelo en el Valle, actúan como medios fracturados, confinados y semiconfinados.

3.1.8 Estratigrafía

Las rocas que afloran en el área del Acuífero La Paila representan secuencias de edad que va del Cretácico Inferior hasta el Cuaternario (CONAGUA, 2009) (Figura 3.3).

Se caracteriza por la presencia de un conjunto estratigráfico bien definido que se considera pertenece a la Serie Mesozoica Párrense. La sucesión estratigráfica general en el noreste de México consiste de sedimentos calcáreo-arcillosos del Jurásico Superior, y de sedimentos calcáreo-arcillo-arenosos del Cretácico y Terciario inferior, los cuales tienen un espesor máximo alrededor de 9,150 m. Se documenta que la cuenca de Parras está definida por una gruesa sección sedimentaria de alrededor de 5,500 m de espesor, constituida principalmente por sedimentos siliciclásticos de grano fino a grueso que presentan algunas intercalaciones calcáreas. En general dentro de la zona de estudio afloran las formaciones Acatita, Treviño, Indidura y el Grupo Difunta (Ortiz *et al.* 2014).

3.1.8.1 Formación Difunta

Murray citado por el IMTA (2013) definieron siete formaciones para el Grupo Difunta en la cuenca de Parras, Aflora al norte del frente de la Sierra de Parras dentro de la Cuenca de Parras, en las Sierras el Potrero y Palo Alto.

Regionalmente se depositó al sursureste de la Isla de Coahuila y al este de la Cuenca de Sabinas. Está constituida por una alternancia de areniscas ligeramente calcáreas, lutitas, limolitas y cuerpos lenticulares de conglomerado de fragmentos de calizas; en la que predominan los tonos cafés y rojizos. La estratificación es variable desde capas delgadas a masivas. El espesor aproximado es de 3460 metros.

Santiago *et al.* (2000) mencionan que la Formación Difunta, consiste de alternancia de lutitas y caliza arcillosa con intercalaciones de arenisca y laminillas de yeso, del Cenomaniano superior al Santoniano, el contacto inferior es concordante con la Formación Cuesta del Cura y Treviño y el superior es de igual manera con las formaciones: Caracol y Parras.

3.1.8.2 Formación Indidura

Kelly (1996) citado por Santiago *et al* (2000) definió por primera vez la formación Indidura, en la región de delicias, estado de Coahuila. Aflora ampliamente en la Sierra Madre Oriental, en el sector transversal, en la Isla de Coahuila. Para el Golfo de Sabinas cambia de facies a la Formación Eagle Ford. Consiste de una alternancia de y calizas arcillosas con algunas intercalaciones de areniscas y laminillas de yeso, la coloración varía de gris oscuro a negro y gris verdoso a rosa con las calizas y las lutitas de color amarillo crema su espesor es de 100 m.

La Formación Indidura, consiste de alternancia de lutitas y caliza arcillosa con intercalaciones de arenisca y laminillas de yeso, del Cenomaniano superior al Santoniano, el contacto inferior es concordante con la Formación Cuesta del Cura y Treviño y el superior es de igual manera con las formaciones: Caracol y Parras.

3.1.8.3 Formación Acatita.

El termino Formación Acatita fue propuesto por Humphrey, citado por el Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (2013). La localidad tipo se localiza al suroeste y frente a la sierra de Acatita, entre el Cañón Grande y Las Uvas, Coahuila. Está constituida por una secuencia de calizas, calizas dolomíticas y yesos, la caliza es de color gris oscuro de textura wackestone, presenta nódulos y lentes de pedernal. El espesor varía de 150 a 200 m.

Su contacto superior con la Formación Treviño es concordante. De acuerdo a su posición estratigráfica y contenido fósil *Orbitolina Texana* (Roemer) se le asigna una edad del Albiano inferior medio, es equivalente a la Formación Aurora del este de la Sierra Madre Oriental y de la provincia de Sierra y Cuencas de Coahuila. Las calizas, dolomías y yesos de esta formación indican un ambiente de depósito de plataforma somera de circulación restringida; en la que eran comunes los períodos de evaporación, (Isla de Coahuila).

Santiago *et al.* (2000) la Formación Acatita, se localiza en la Sierra La Paila, constituida por calizas dolomíticas y yesos con lentes y nódulos de pedernal, de edad Albiano inferior-medio, y su contacto superior es concordante con la Formación Treviño, consiste de calizas con horizontes fosilíferos, de edad Albiano superior y subyace concordantemente a la Formación Indidura.

3.1.8.4 Treviño

Formación Treviño (KaceCz). Garza G. R. en 1976 citado por el IMTA (2013), designó formalmente a las calizas que sobre yacen a la Formación Acatita, como Formación Treviño para la Plataforma de Coahuila. Está constituida por calizas de color gris oscuro de textura packstone y dolomías. Los estratos van de 0.30 a 0.80 m. su espesor varía de 20 a 175 m.

Esta unidad sobre yace a la Formación Acatita en forma concordante y subyace a la Formación Indidura de igual forma. Por su posición estratigráfica se le asigna una edad del Albiano superior, es correlacionable con la Formación Monclova, al Grupo Washita en la Cuenca de Sabinas y Loma de Plata en la cuenca de Chihuahua. Su depósito es de ambiente lagunar somero (Isla de Coahuila).

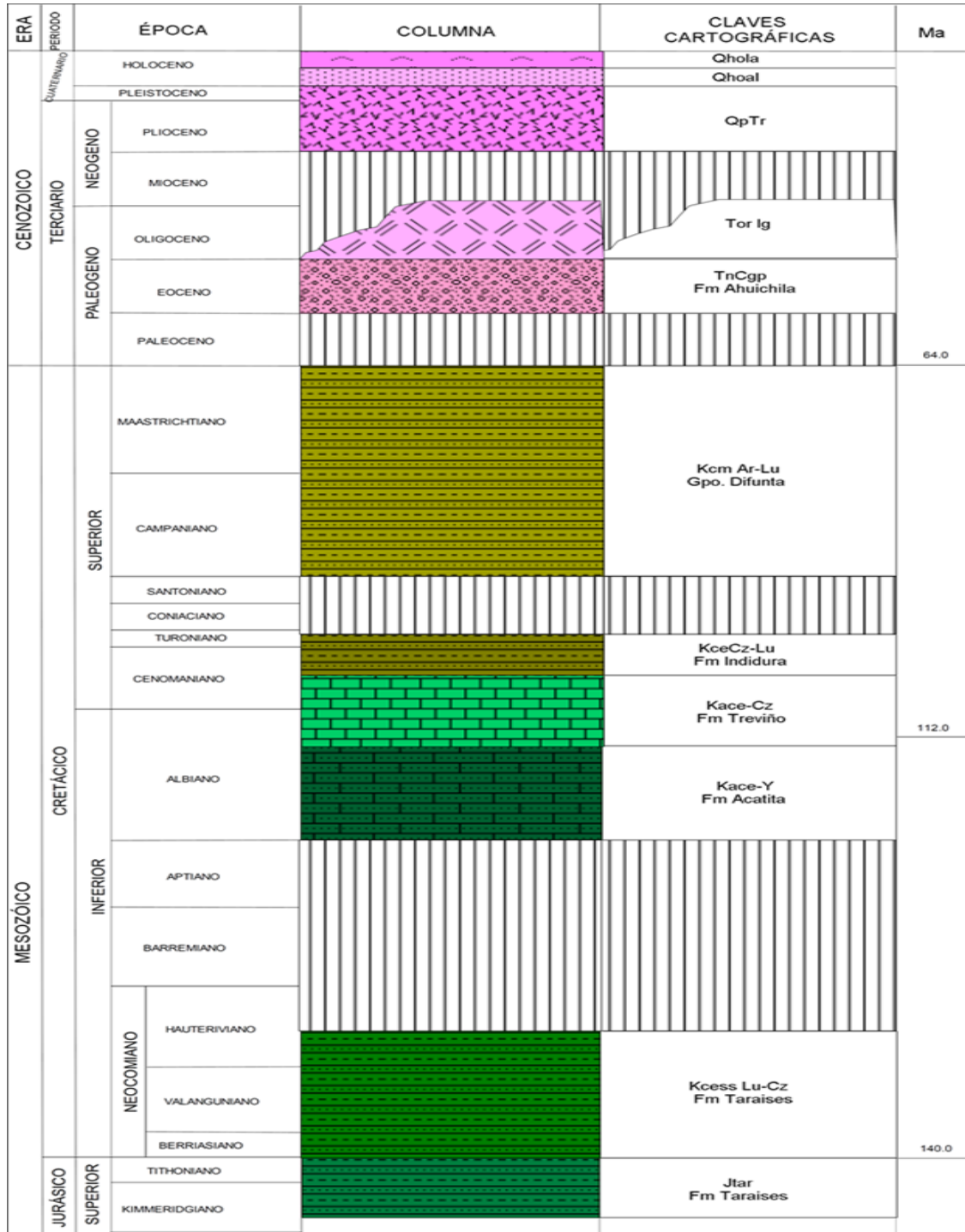


Figura 3.3 Columna estratigráfica del acuífero La Paila Tomada y modificada del Servicio Geológico Mexicano.

3.2 Integración de Sistemas de Información Geográfica en de ArcMap de ArcGIS

ArcGIS permite sintetizar datos de diversas fuentes en una misma vista geográfica unificada. Estas fuentes de datos incluyen información de bases de datos geográficas, datos tabulares de sistemas de administración de bases de datos (DBMS) y otros sistemas empresariales, archivos, hojas de cálculo, videos y fotos con geo etiquetas, KML, CAD Data, fuentes en directo de sensores, imágenes aéreas y de satélite, etc. De hecho, cualquier registro de información con una referencia geográfica, como una dirección de calle, el nombre de una ciudad, un identificador de parcela de tierra, coordenadas GPS, etc., puede localizarse y estar disponible en un mapa.

3.3 Visualización de información integrada en ArcMap

La visualización se realiza a lo largo del cada proyecto SIG, permite la visualización directa de ciertos números de formatos; otros formatos se podrán visualizar usando algunas herramientas de conversión un ejemplo muy común de estas herramientas es la tabla de contenido o leyenda, que nos permite seleccionar que capas se debe tener visibles, su orden de visualización y la simbología que se muestran los distintos elementos de cada capa. En la tabla de contenido aparecen el nombre de las capas de información geográfica presentes en el mapa, en el área de mapa se visualizan los datos geográficos.

Cada vista le permite obtener una perspectiva del mapa y modo de interactuar con el mismo específico y a la vista se puede agregar uno o más capas.

ArcMap muestra el contenido del mapa en dos vistas posibles:

Vista de Datos (Figura 3.4) y Vista de Diseño de mapas en layout (Figura 3.5)

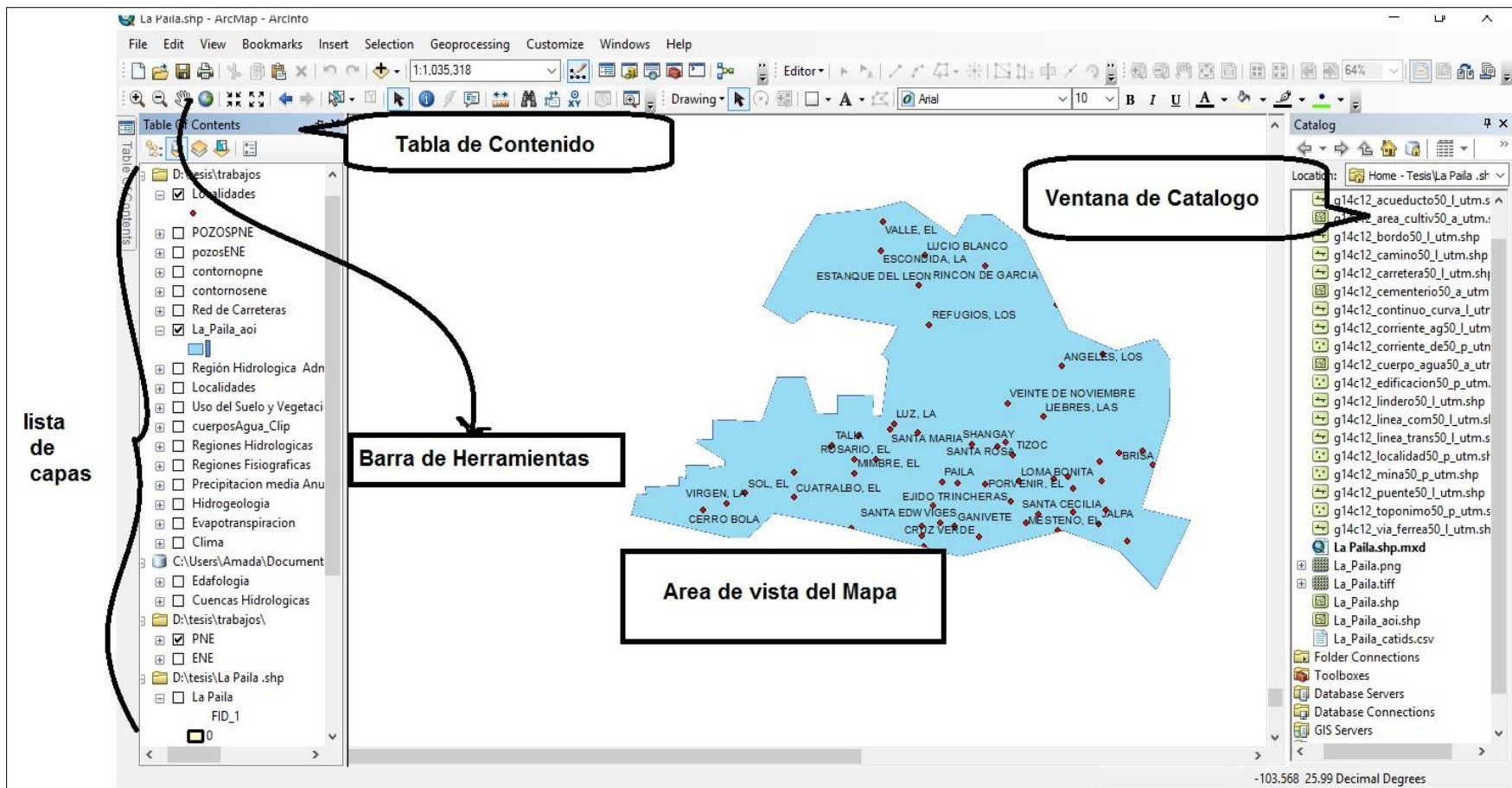


Figura 3.4 Visualización de Datos

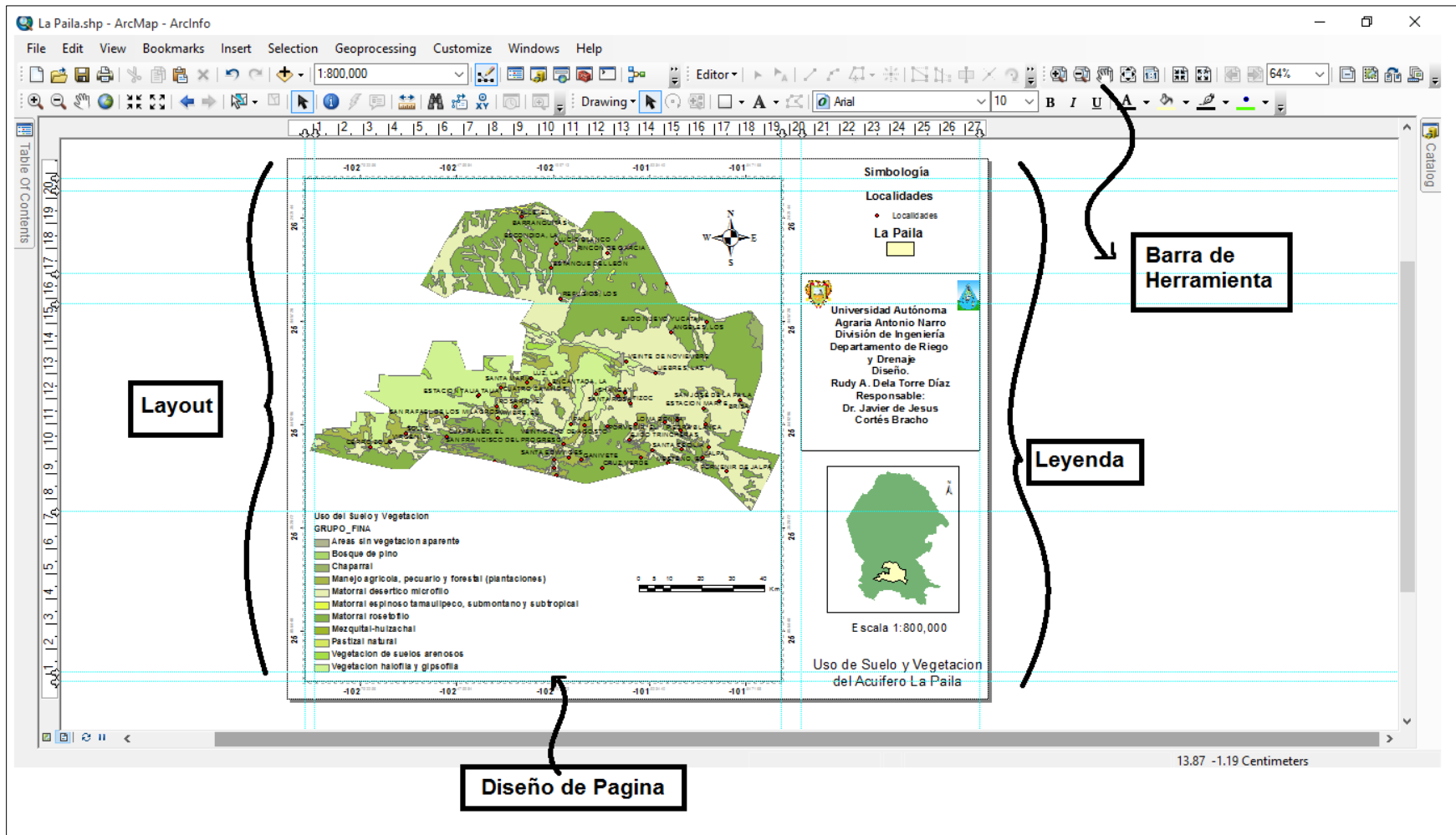


Figura 3.5 Vista de la Creación de Mapas en Layout.

3.4 Adición de capas en ArcMap

Los datos geográficos se representan en un mapa como una capa. Una capa podría representar un tipo particular de entidad, tal como, autopistas, lagos, o hábitats de vida salvaje o podría representar un tipo particular de datos tales como una imagen satelital, un dibujo asistido por computador (CAD) o una superficie de terreno elevado en una red irregular triangulada (TIN). Una capa no almacena en ella misma datos geográficos, solo referencia los datos almacenados en coberturas, shapefiles, rasters, entre otros. En consecuencia, una capa siempre refleja la información más actualizada de su base de datos, para agregar una capa a un mapa. Simplemente arrastra una del Catálogo o la opción central de ArcMap “Add Data” (Figura 3.6).

El mapa está formado por un número de capas (layers) que pueden ser de distintos tipos y orígenes. Las decisiones que se tomarán es de que capas van a formar parte de nuestro mapa, algunas serán capas del resultado de nuestro proyecto y otras (hidrografía, hidrología, clima, precipitación, etc.) el ordenamiento de las capas es indispensable para evitar que se tapen unas con otras y por orden de prioridad.

Para el presente trabajo se adicionaron capas obtenidas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO): Clima, Edafología, Localidades, Regiones Hidrográficas, Provincias Fisiográficas, Edafología, Precipitación, entre otras. (Figura 3.7).

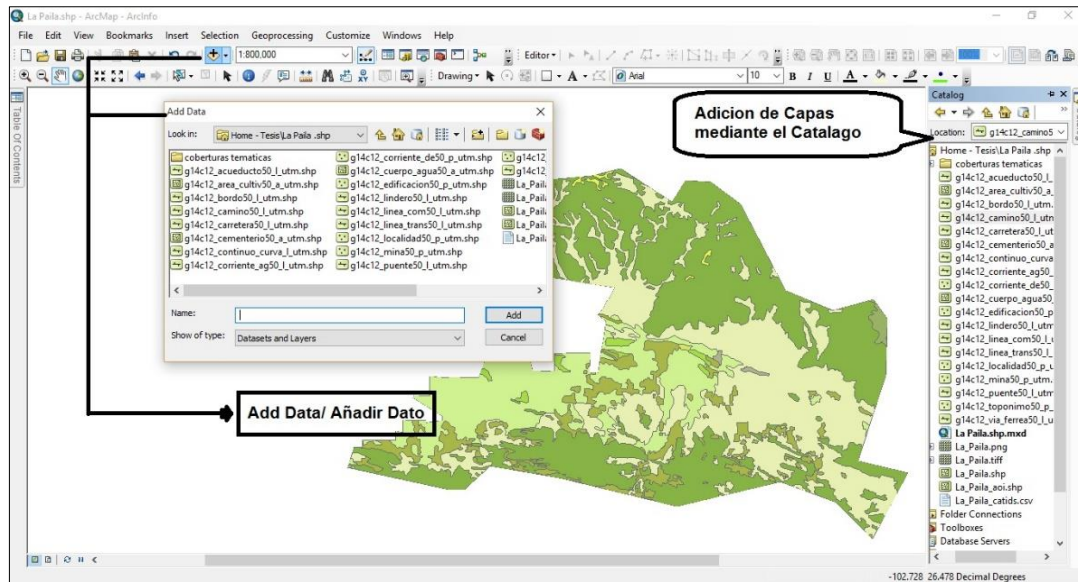


Figura 3.6 Add Data y Catalogo, para la adicionar capas en ArcMap

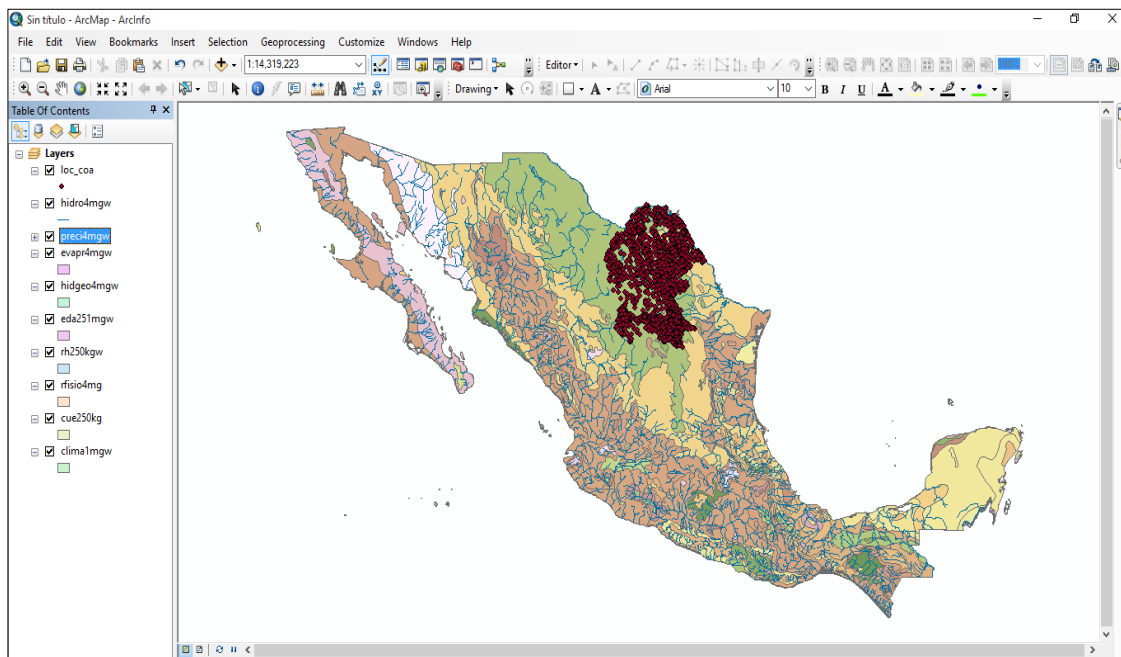


Figura 3.7 Marco de Datos en ArcMap

3.5 Uso de Herramientas para el Análisis Vectorial en ArcGIS: ArcToolbox

ArcGIS nos ofrece una serie de comandos para el análisis vectorial a través de ArcToolbox, con ellos podremos operar con diversas capas con el objetivo de conseguir la información que queremos para nuestro trabajo. En el siguiente trabajo se usaron algunas herramientas para poder realizar el análisis, estas se mencionan a continuación.

3.5.1 Clip

Esta herramienta permite usar una cobertura, que se utiliza como una plantilla (Clip layer), para cortar una segunda cobertura (Input Layer). Esta herramienta permite recortar puntos, líneas y polígonos de una capa basados en el perímetro definido por el contorno de otra capa. El archivo utilizado para cortar debe ser de polígonos. Esta herramienta se utilizó para recortar una parte de una clase de entidad utilizando una o más de las entidades de otra clase de entidad como molde. Esto es particularmente útil para crear una nueva clase de entidad, también conocida como área de estudio o área de interés (AOI), que contenga un subconjunto geográfico de las entidades de otra clase de entidad mayor (Figura 3.8).

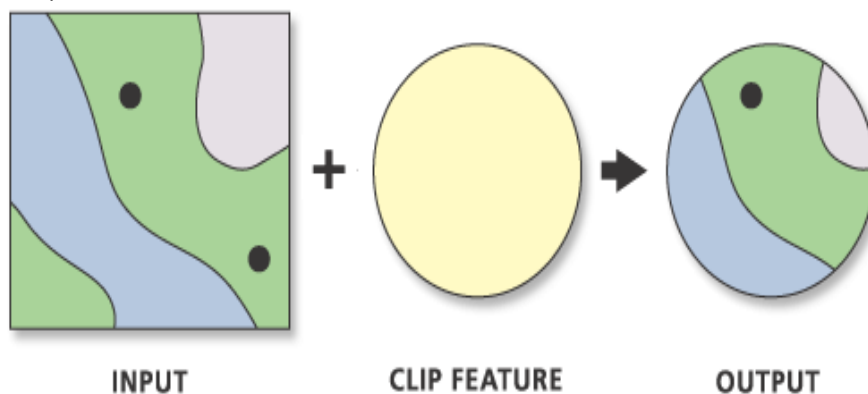


Figura 3.8 Vista conceptual de la opción Clip de ArcToolbox.

3.5.2 Interpolación

La interpolación predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Puede utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas, niveles de ruido, etc. De tal manera que existen diferentes métodos de interpolación como son: IDW (ponderación de distancia inversa), Kriging, Spline, Spline con barreras, Topo a ráster, Tendencia. El método utilizado en el presente trabajo es el método IDW.

3.5.2.1 IDW

La herramienta IDW (Ponderación de distancia inversa) utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio. La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación (Figura 3.9).

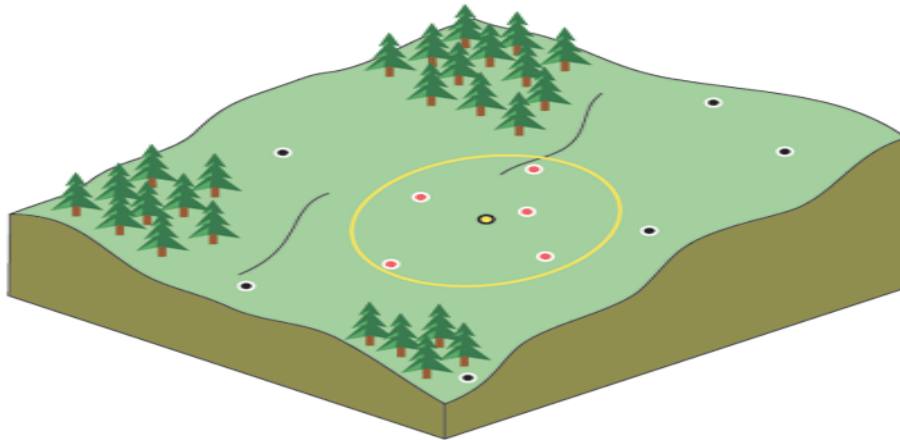


Figura 3.9 Interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW)

3.6 Adición de Coordenadas de GPS a ArcGIS Mediante Tablas de Excel

Además de las fuentes de datos, como por ejemplo un shapefile, se pueden agregar datos tabulares al mapa que contengan ubicaciones geográficas en forma de coordenadas x , y . Si la tabla también contiene coordenadas z , como por ejemplo valores de elevación, puede agregar datos tabulares como contenido 3D al globo o escena.

Las coordenadas x , y describen puntos de la superficie de la Tierra, como por ejemplo, la ubicación de hidrantes de incendios en una ciudad o los lugares donde se recopilan muestras de agua. Puede adquirir fácilmente datos de coordenadas x , y con un GPS (también, con frecuencia un valor de elevación [z])

Para agregar una tabla de coordenadas al mapa, globo o escena, la tabla debe contener dos campos, uno para la coordenada x y otro para la coordenada y . Los valores de los campos pueden representar cualquier sistema de coordenadas y unidades, como por ejemplo, latitud y longitud o metros. El campo de coordenadas z que habilite la geometría 3D es opcional.

Los campos deben ser numéricos. Si los campos no son numéricos, como cuando el valor de la coordenada se almacena en forma de grados, minutos y segundos (por ejemplo, -1201358), las coordenadas se convertirán y se mostrarán como grados decimales (Figura 3.10).

$$\text{Coordenada en grados} = \text{grados} + \frac{\text{minutos}}{60} + \frac{\text{segundos}}{3600}$$

En el presente trabajo se obtuvo datos de nivel estático en metros geo referenciados de pozos que conforman el acuífero La paila de los años 1987 y 2013, proporcionados por la Gerencia de Aguas Subterráneas, de la Comisión de Nacional del Agua (CONAGUA) de Saltillo, Coahuila (Figura 3.11).

	oeste(x)			norte(Y)								
	grados	minuto	segundos	grados	minutos	segundos	ETN	PNE	ENE		x	y
3	102	38	2	25	36	52	1108	27.78	1080.22		=(B3+((C3/60)+(D3/3600)))*-1	4
4	101	58	45	25	35	52	1251	31.22	1219.78		-101.97917	25.59778
5	102	36	18	25	38	13	1108	26.53	1081.47		-102.60500	25.63694
6	102	25	0	25	43	6	1095	21.31	1073.69		-102.41667	25.71833
7	102	21	39	25	39	21	1203	30.57	1172.43		-102.36083	25.65583
8	102	20	46	25	42	54	1108	34.74	1073.26		-102.34611	25.71500
9	102	17	51	25	41	7	1128	52.56	1075.44		-102.29750	25.68528
10	102	18	37	25	43	55	1116	52	1064		-102.31028	25.73194
11	102	18	9	25	45	38	1108	51.38	1056.62		-102.30250	25.76056
12	102	18	41	25	44	27	1114	52.55	1061.45		-102.31139	25.74083
13	102	16	36	25	42	21	1130	62.54	1067.46		-102.27667	25.70583
14	102	16	28	25	41	17	1136	60	1076		-102.27444	25.68806

Figura 3.10 Transformación de coordenadas geográficas a grados decimales

pozos2013 [Modo de compatibilidad] - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Calibri 11 Fuente Alineación Número Estilos Celdas

UB

2013										1987								
pozos	oeste(x)			norte(Y)			PNE	ENE	pozos	oeste(x)			norte(Y)			ETN	PNE	ENE
	grados	minuto	segund	grados	minuto	segund				grados	minuto	segundo	grados	minuto	segundo			
3	101	46	1.3	25	41	41.75	13.88	1166.12	145	102	38	2	25	36	52	1108	27.78	1080.22
4	101	49	39.61	25	44	48.41	14.37	1144.63	3	101	58	45	25	35	52	1251	31.22	1219.78
5	101	45	3.27	25	39	14.45	21.74	1171.26	187	102	36	18	25	38	13	1108	26.53	1081.47
6	101	43	49.76	25	38	18.3	15.42	1164.58	7	102	25	0	25	43	6	1095	21.31	1073.69
7	101	43	48.97	25	39	29.75	20.24	1155.76	9	102	21	39	25	39	21	1203	30.57	1172.43
8	101	42	7.48	25	30	52.29	14.19	1325.81	177	102	20	46	25	42	54	1108	34.74	1073.26
9	101	41	58.01	25	32	45.18	45.65	1244.35	13	102	17	51	25	41	7	1128	52.56	1075.44
10	101	45	21.29	25	33	39.26	24.61	1258.39	18	102	18	37	25	43	55	1116	52	1064
11	101	46	2.15	25	36	1.61	11.73	1243.27	24	102	18	9	25	45	38	1108	51.38	1056.62
12	101	46	13.76	25	36	8.49	16.44	1236.56	19	102	18	41	25	44	27	1114	52.55	1061.45
13	101	48	44.46	25	38	14.45	36.49	1175.51	28	102	16	36	25	42	21	1130	62.54	1067.46
14	101	48	43.39	25	39	14.56	36.93	1165.07	33	102	16	28	25	41	17	1136	60	1076
15	101	49	46.27	25	37	51.45	44.17	1167.83	78	102	10	24	25	45	41	1128	44.55	1083.45
16	101	50	10.94	25	38	59.57	41.67	1160.33	76	102	10	35	25	45	0	1131	49.37	1081.63
17	101	50	22.49	25	38	40.18	45.85	1156.15	183	102	16	7	25	44	53	1118	65.55	1052.45
18	101	51	2.64	25	38	8.15	87.57	1115.43	37	102	15	42	25	45	13	1117	65.35	1051.65
19	101	50	37.32	25	39	36.38	28.54	1163.46	26	102	16	28	25	44	43	1119	62.58	1056.42
20	101	49	20.01	25	37	56.66	46.69	1165.31	70	102	7	30	25	37	18	1216	21.03	1194.97
21	101	48	55.27	25	37	28.66	41.38	1179.39	66	102	8	9	25	36	54	1222	22.59	1199.41
22	101	47	58.22	25	36	27.12	14.94	1224.06	67	102	8	16	25	36	36	1227	21	1206

Hoja1 Hoja2 Hoja3 Hoja4

LISTO Dirección 07:53 p. m. 25/10/2015

Figura 3.11 Base de datos de la piezométrica del acuífero La Paila.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con la aplicación de las herramientas de ArcMap del Software de ArcGIS creado por ESRI®, como se muestra a continuación (Figura 4.1), se puede obtener el acuífero denominado La Paila, totalmente georeferenciado en un sistema de coordenadas geográficas en decimas de grado, con Datum WGS 1984.

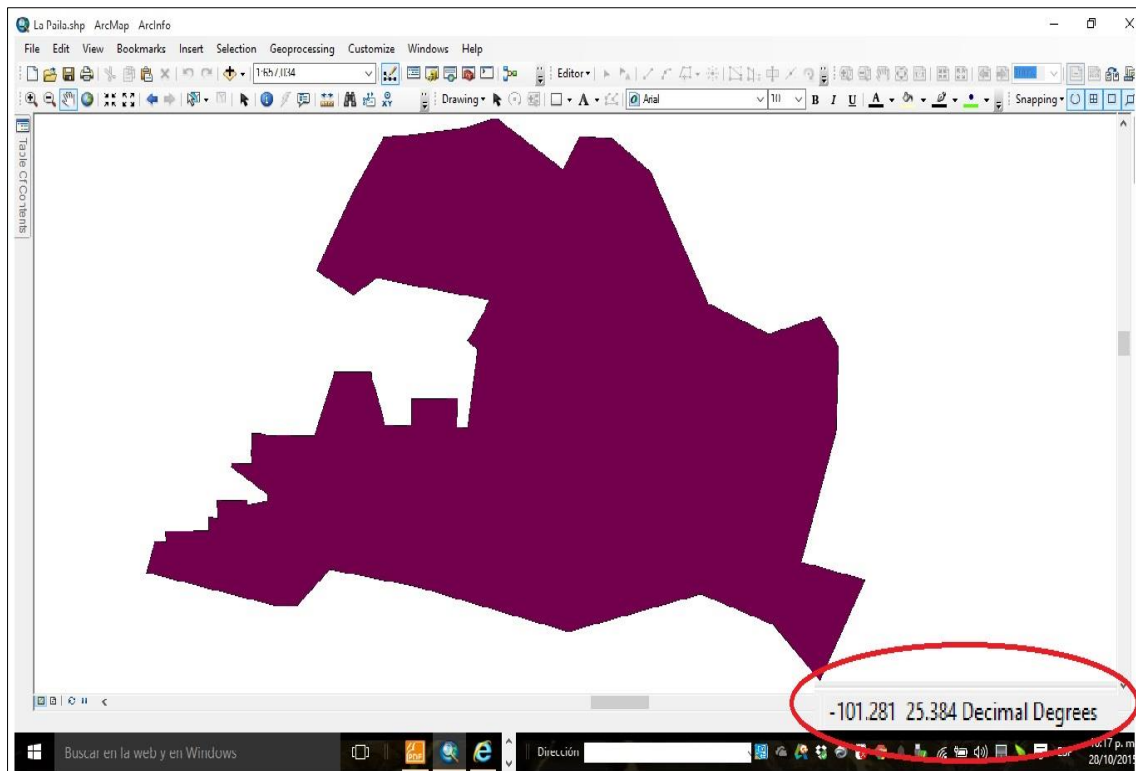


Figura 4.1 Acuífero la Paila vista de ArcMap.

Utilizando la herramienta Clip de ArcToolbox se realizaron cortes, extrayendo el área de estudio con base a las capas temáticas de CONABIO las cuales se mencionan cada una de ellas en los siguientes apartados.

4.1 Clima

Para la región geohidrológica de La Paila se observa tres diferentes tipos de clima, distribuidos por toda la región, con el clip realizado se obtuvieron una serie de colores, donde cada color especifica el tipo de clima en el área coloreada (Figura 4.2), como se mencionó anteriormente, cada área corresponde al clima específico del acuífero, se observa que el color amarillo que cubre la mayor parte del acuífero, que va desde la zona sur y centro, tiene un clima muy árido-semicálido (BWhw), con una temperatura media anual de entre 18°C y 22° C. En la parte norte el área que cubre el verde tenemos un clima árido-templado (BSokw) con una temperatura media anual de 12°C y 18°C y por último tenemos el área que cubre el color verde claro parte de la zona norte, tenemos un clima árido- semicálido (BSohw), con una temperatura media anual de 18°C y 22°C.

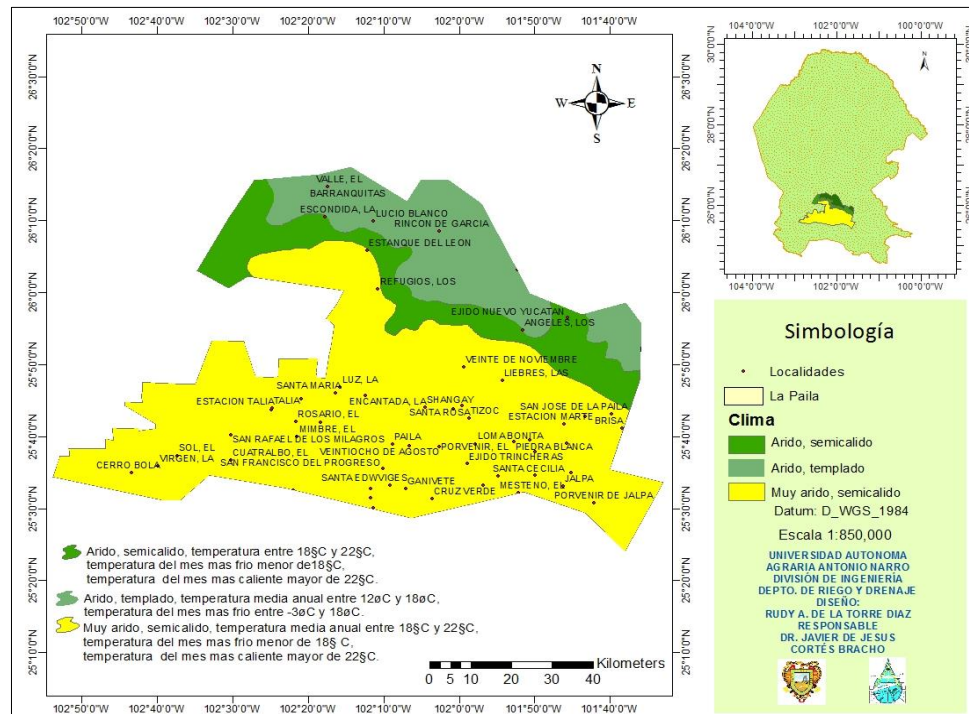


Figura 4.2 Climatología del Acuífero La Paila.

4.2 Precipitación

El acuífero de la Paila presenta en su mayor totalidad una precipitación media anual de 125 mm a 400 mm, y en la parte este con un área menor se presenta una precipitación media anual de 400 mm a 600 mm (Figura 4.3).

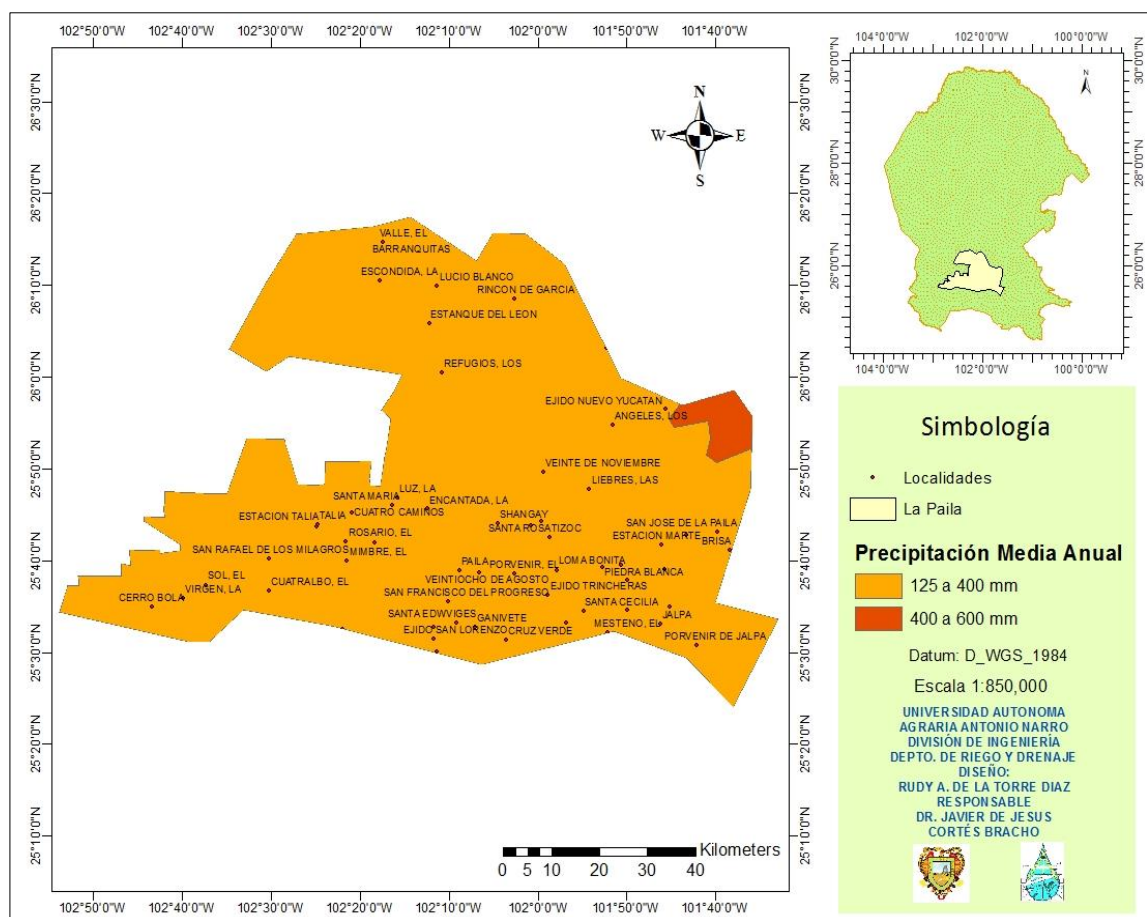


Figura 4.3 Precipitación Media Anual en mm del Acuífero La Paila.

4.3 Evapotranspiración

En la Zona de estudio se presenta un rango de evapotranspiración de 100 mm a 400 mm en toda la región, como se puede ver (Figura 4.4) la mayor Evapotranspiración se encuentra en la zona Sur-Sureste con un rango de 300 mm a 400 mm, al Norte – Este, se presenta un rango de 100 mm-200 mm, en la zona Este-Centro del acuífero un rango de 200 mm a 300 mm.

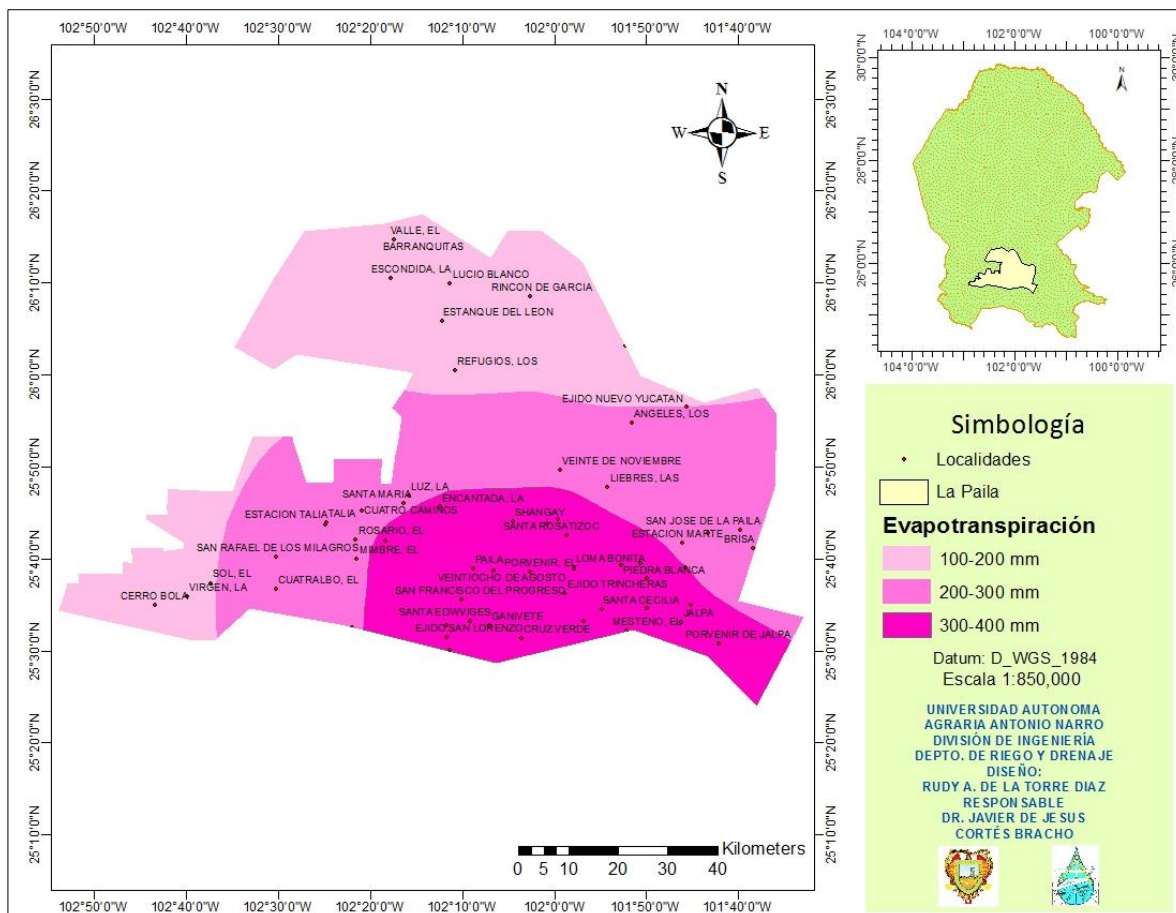


Figura 4.4 Evapotranspiración en mm del Acuífero La Paila.

4.4 Región Hidrológica Administrativa

La región de la paila como se puede apreciar (Figura 4.5), pertenece en su totalidad a la región hidrológica administrativa VII, Cuencas Centrales del Norte, esta región se caracteriza por tener una altitud predominante superior a los 1,000 msnm. Está conformada por una meseta cerrada de carácter continental, bordeada por sierras y serranías; el área de estudio también se encuentra integrada por partes de la región hidrológica administrativa VI Rio Bravo al Este y Norte de la región con una menor proporción.

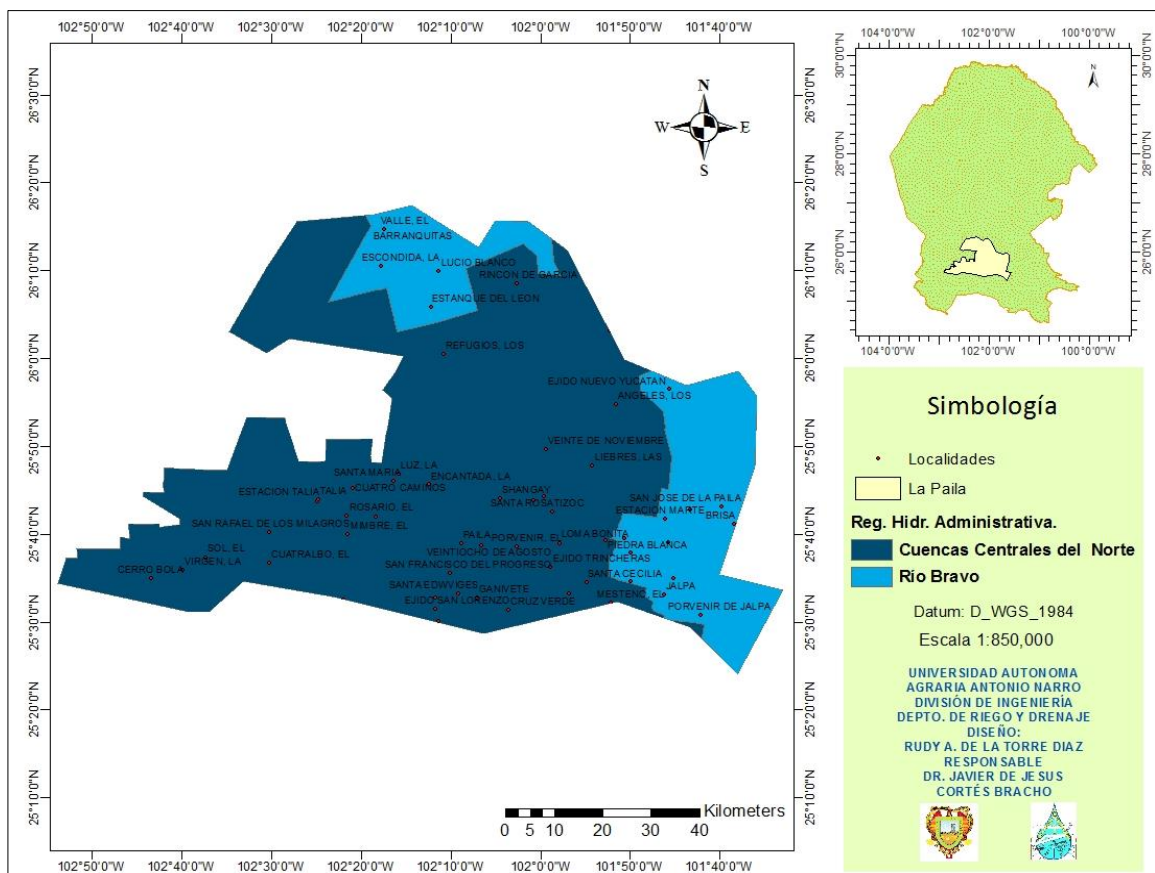


Figura 4.5 Regiones Hidrológicas Administrativa del Acuífero de La Paila.

4.5 Hidrológicas

De acuerdo al análisis realizado en ArcMap el acuífero de la Paila está formada por tres regiones hidrológicas, donde la mayor parte del territorio del acuífero está formado por la región Hidrológica Nazas-Aguanaval el cual se localizan la mayor parte de las localidades establecidas en el acuífero, en la Zona Noroeste con una porción de la región Hidrológica Mapimí y en la Zona sureste con una porción de la región hidrológica Bravo-Conchos abarcando las localidades de Jalpa, San José del Cohetero, Estación Marte, Brisa, San José de La Paila, Ejido Piedras de Lumbre, Pilar de Richardson y Porvenir de Jalpa (Figura 4.6).

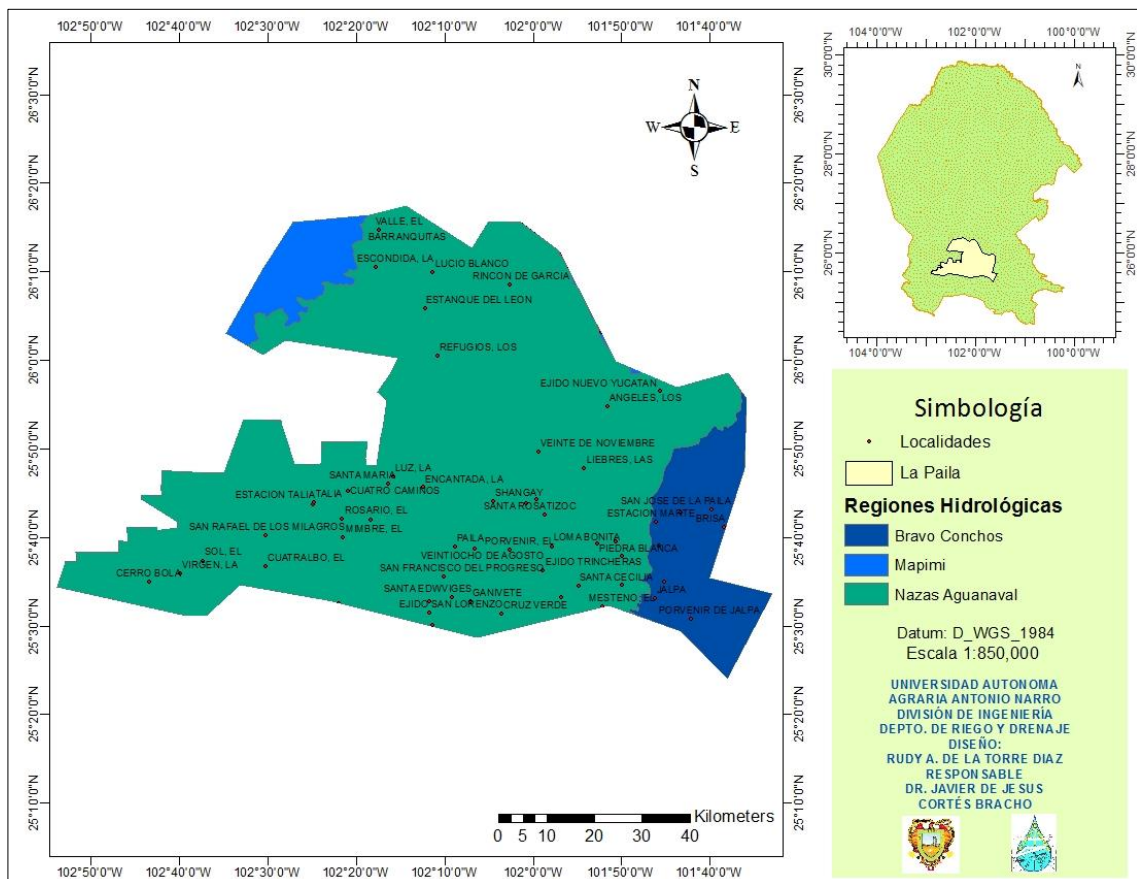


Figura 4.6 Regiones Hidrológicas de Acuífero La Paila.

4.6 Regiones Fisiográficas

La superficie del acuífero se encuentra ocupando dos Provincias Fisiográficas. Su parte Meridional, pertenece a la Provincia fisiográfica denominada Sierras y Llanuras del Norte y en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental, mientras que la parte septentrional se encuentra dentro de la Provincia de Cuencas y Sierras, y esta a su vez por las subprovincias fisiográficas (Figura 4.7), la Sierra de La Paila que se distribuye de la zona noroeste, norte y noreste del acuífero, la subprovincia Laguna de Mayrán se extiende del este, centro y oeste del acuífero, y por supuesto El Pliegue Saltillo- Parras que forma parte de la zona sur de la Zona de estudio.

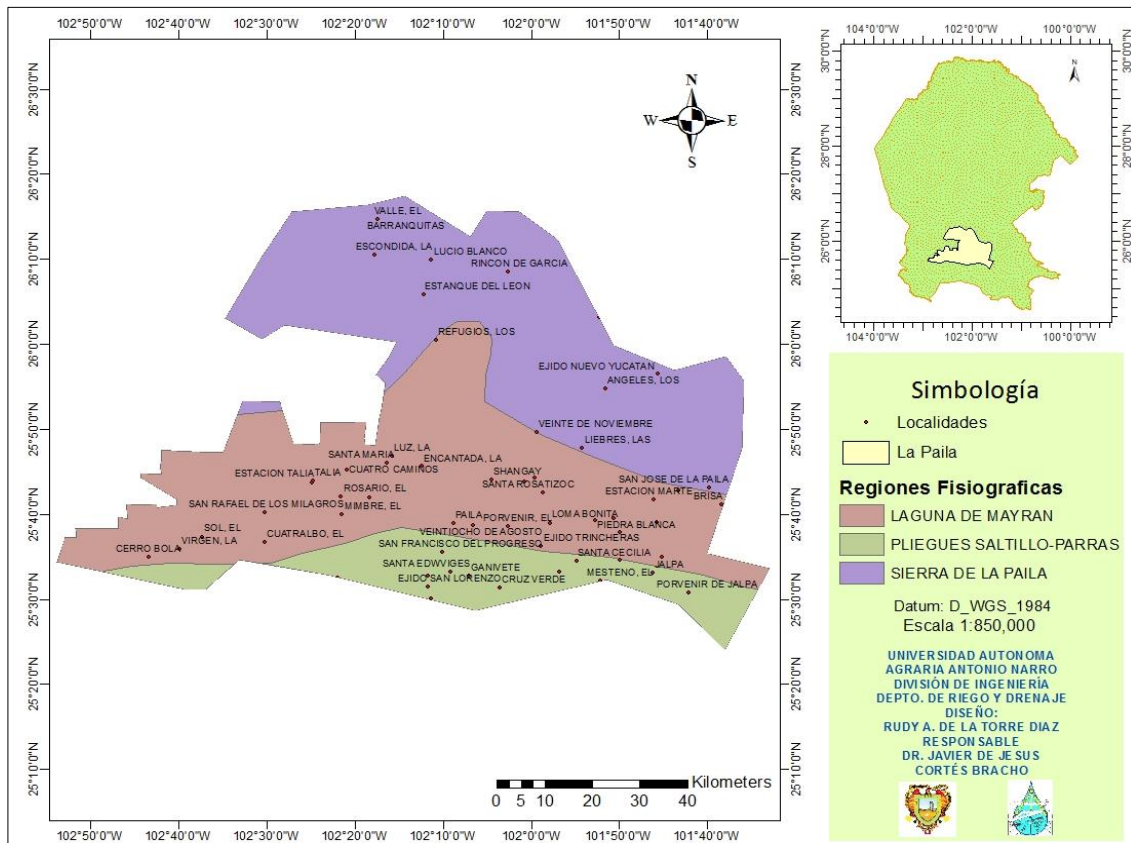


Figura 4.7 Provincias Fisiográficas del Acuífero La Paila

4.7 Cuencas Hidrológicas

Como se puede apreciar (Figura 4.8) La región del acuífero está conformada por tres cuencas hidrológicas, en su totalidad conformada por la Laguna de Mayrán y Viesca, las otras dos cuencas ocupan una menor superficie del área de estudio, se observa en la parte Noroeste y la Parte Este se Presentan en los límites del acuífero.

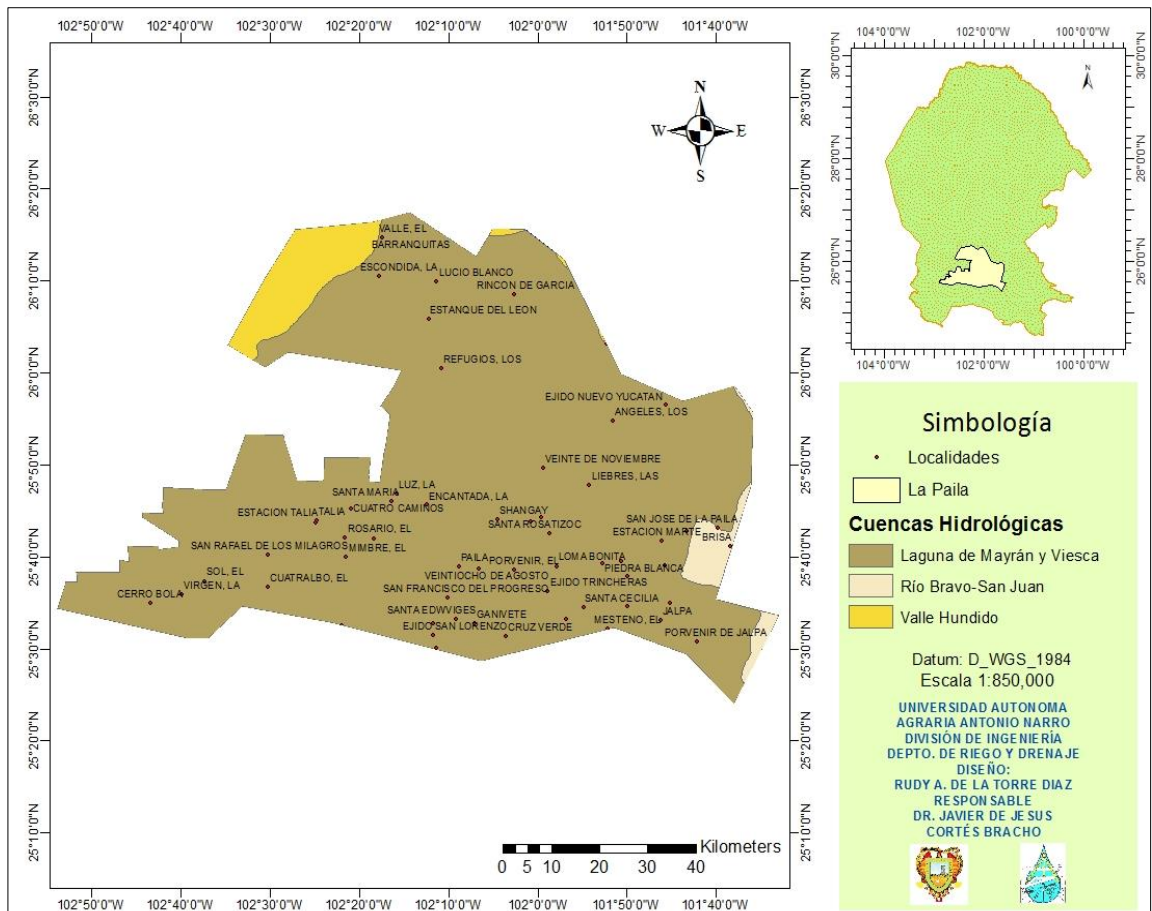


Figura 4.8 Cuencas Hidrológicas del Acuífero La Paila

4.8 Edafología

El acuífero La Paila presenta en su estructura con 8 suelos bien definidos, la porción de cada uno de ellos varia ampliamente diferenciándolos por una serie de colores correspondientes al tipo de suelo, el suelo predominante en el área de estudio es el litosol (suelo de piedra, profundidad menor a 10 cm) presenta una coloración gris, presentándose en la zona Norte y parte del Sur del área de estudio, otro de los suelos predominantes es el yermosol cálcico y haplico (suelos desérticos, desolados) delimitados por los colores amarillos, que va de la zona Este y Centro del acuífero, otro tipo de suelo presente en el área de estudio con coloración naranja, son el xerosol cálcico y haplico (suelos secos) distribuidos en la zona Norte y Sur del acuífero, el Solonchak órtico (suelos salinos) otro de los suelos presentes en la zona Este y Oeste de la región, por último con una pequeña porción el suelo regosol calcarico y eutrico (cobija o capa de material suelto que cubre a la roca) en la zona Oeste y una pequeña proporción en el noroeste (Figura 4.9).

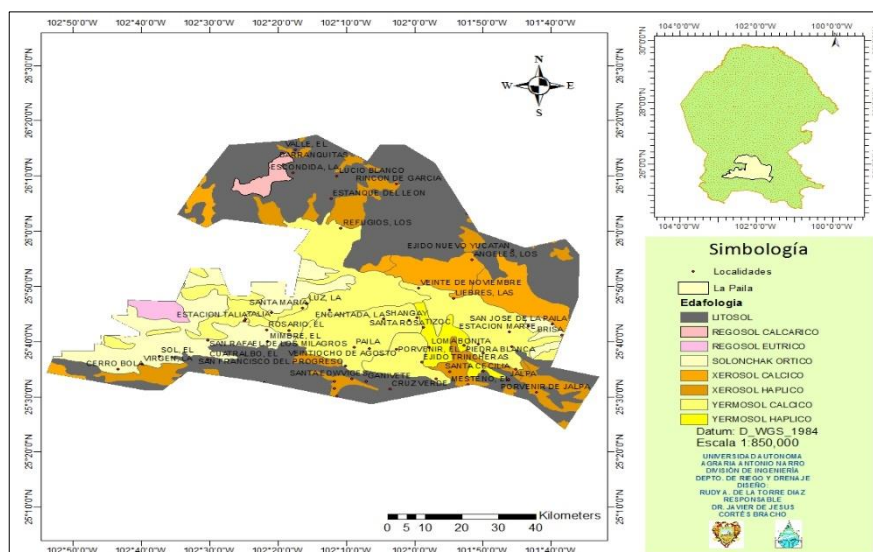


Figura 4.9 Edafología del Acuífero La paila.

4.9 Geohidrológica

Como se puede observar en la imagen (Figura 4.10) la geohidrología de La Paila está conformada por tres tipos de formaciones geológicas, las cuales le dan la característica de acuífero a la zona de estudio; se puede apreciar en la zona norte de la región la formación geológica cretácico medio e inferior representado por el color gris, constituidas por rocas sedimentarias marinas predominantes calcáreas (calizas y areniscas) con una alta permeabilidad. Otra de las formaciones que se encuentran en el acuífero es el cretácico superior en los límites del acuífero en el sureste, en su contenido rocas sedimentarias marinas predominantemente arcillosas (lutitas, limolitas y calizas arcillosa) con una permeabilidad baja. El pleistoceno, es la formación geológica predominante en partes del centro de la región, en su composición se encuentran las terrazas marinas, gravas, arenas y limos con una permeabilidad media a alta.

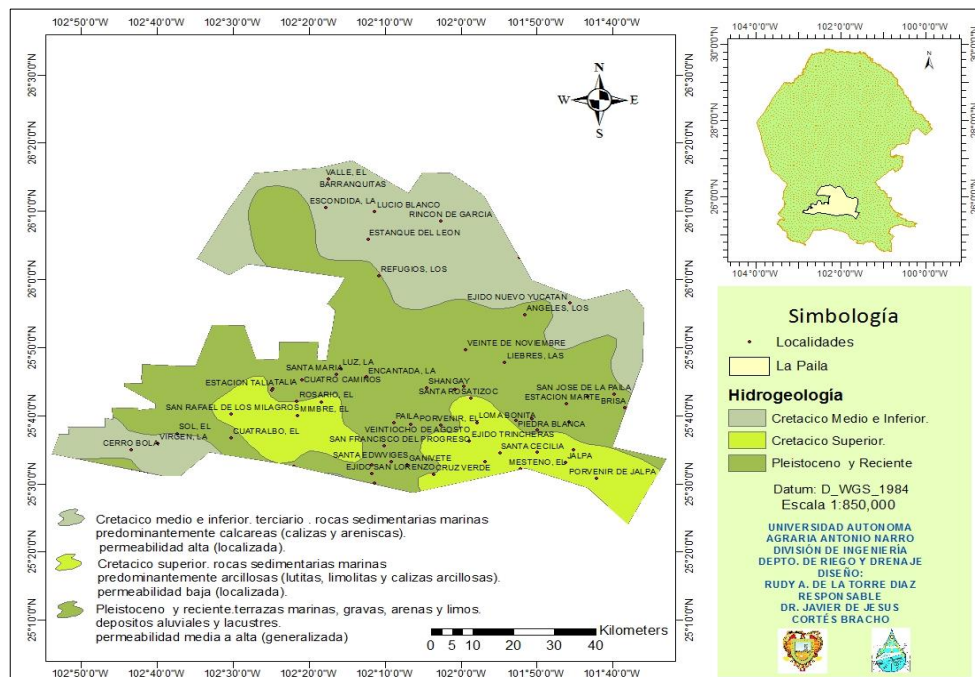


Figura 4.10 Hidrogeología del acuífero La Paila.

4.10 Profundidad del Nivel Estático

Para la zona de estudio se hizo una comparación de fluctuación de piezometría de dos años en particular, para 1987 y 2013 respectivamente, los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua de Saltillo, Coahuila.

4.10.1 Profundidad de Nivel Estático (PNE) para el Año de 1987

Para el análisis de nivelación de piezométrica para el acuífero de La Paila se tomaron en cuenta para el año de 1987, 56 pozos que se sondearon para el mismo año, como se puede apreciar en la figura el rango de nivel para la región es de 15 metros a 60 metros, la parte más profunda se concentra en el centro de la región, con un profundidad de 40 metros a 60 metros, en esta área se encuentran asentadas las localidades de Shangay, La Encantada, Cuatro Caminos, Las Magdalenas, El Porvenir y Las Nieves. Por otro lado las partes someras tienen un rango de 20 metros a 40 metros. En el Este-Sureste-Sur del área de estudio tenemos un rango de 15 metros y 20 metros, en esta área se encuentran las localidades de Santa Cecilia, San Francisco del Progreso, Santa Isabel, Santa Edwuviges, Santa Rita Ganivete, Santa Inés, ejido Piedras de Lumbre, Estación Marte, San Roberto de las Parras, Jalpa, San Juan del Cohetero y Pilar de Richardson. En la parte que va del Oeste-Sur-Este, tenemos un rango de 25 metros y 35 metros, en esta área se encuentran las localidades El Rosario, San Rafael de los Milagros, La Paila, Veintiocho de Agosto, Ejido Trincheras y Loma Bonita (Figura 4.11).

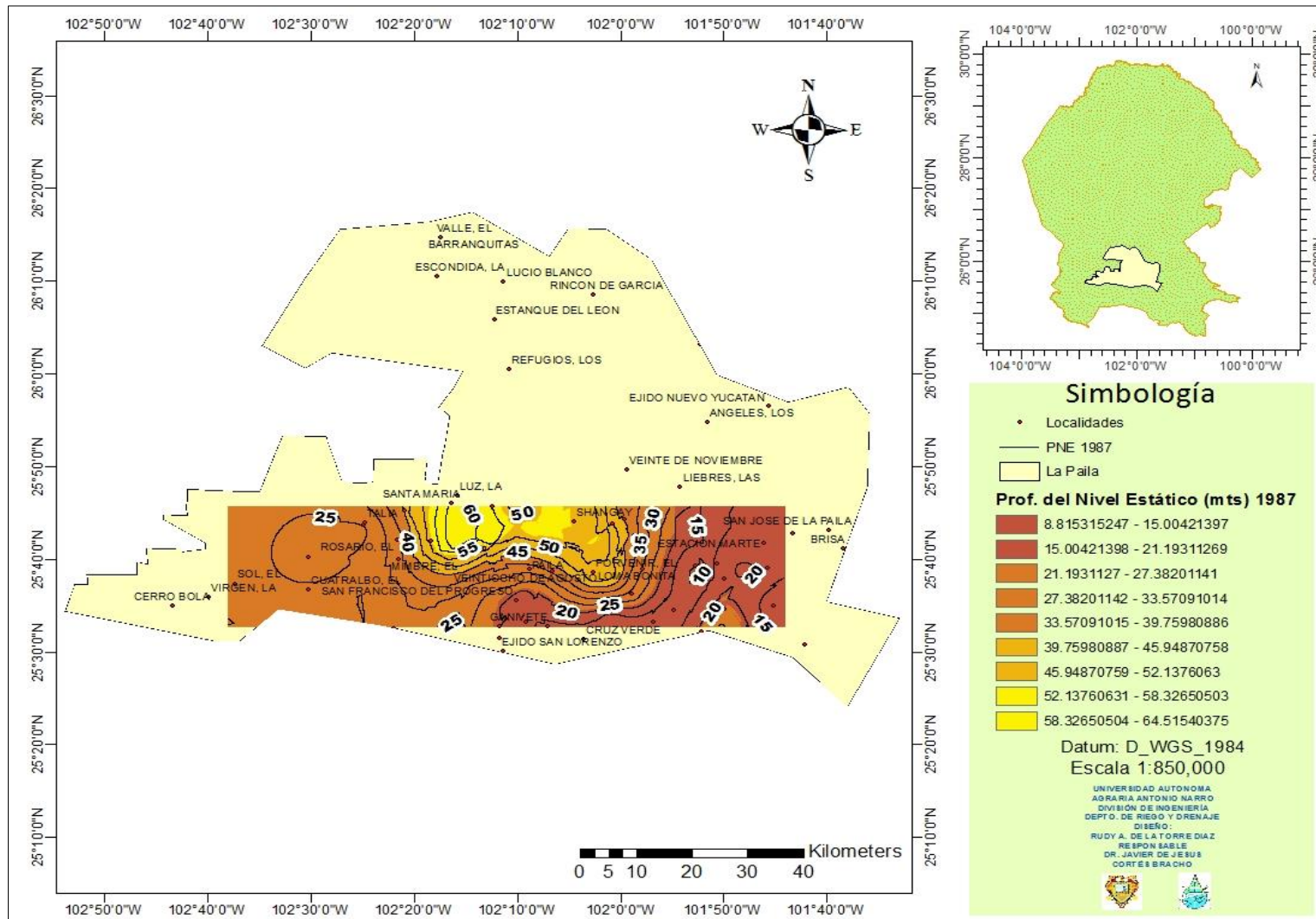


Figura 4.11. Profundidad del Nivel Estático del Acuífero La Paila del Año 1987.

4.10.2 Profundidad de Nivel Estático (PNE) para el Año de 2013

Para el año 2013 se hizo un estudio piezométrico alrededor de 139 pozos de la región del acuífero La Paila, como se puede ver en la imagen Figura 4.12 los niveles estáticos de los pozos tienen una variación a los estudios realizados en el 1987, los rangos para este estudio van de los 10 metros a los 130 metros de profundidad; en el centro del acuífero se presentan aún los niveles más profundos que van de 50 metros a 90 metros de nivel estático, y una pequeña parte hacia el Sureste y pequeñas partes en el Sur con una profundidad que va de 90 metros a más de 100 metros de profundidad de nivel estático, en estas áreas se encuentran asentadas la localidades de Cuatro Caminos, Estación Talía, El Rosario, Las Magdalenas, La Luz, La encantada, Las Nieves, El Porvenir, Loma Bonita, Pilar de Richardson, San Roberto de las Parras, Piedra Blanca y Santa Eduvigis. Las partes más someras que van de los 10 metros a 30 metros se puede apreciar en el Noreste, Este, Sureste, Sur y Oeste de la Zona de estudio, en estas áreas se encuentran asentadas las localidades Cerro Bola, El Sol, San Rafael de los Milagros, EL Rosario, El Mimbres, Paila, Veintiocho de Agosto, Santa Isabel y Santa Rita, Ejido San Lorenzo, Hacienda San Lorenzo, Ganivete, Cruz Verde, Ejido Trincheras, Santa Cecilia, Shangay, Santa Rosa, Tizoc, Ciénega del Carmen, El mesteño, Jalpa, Estación Marte, Las Liebres, Veinte de Noviembre , Los Ángeles y Ejido Piedras de Lumbre.

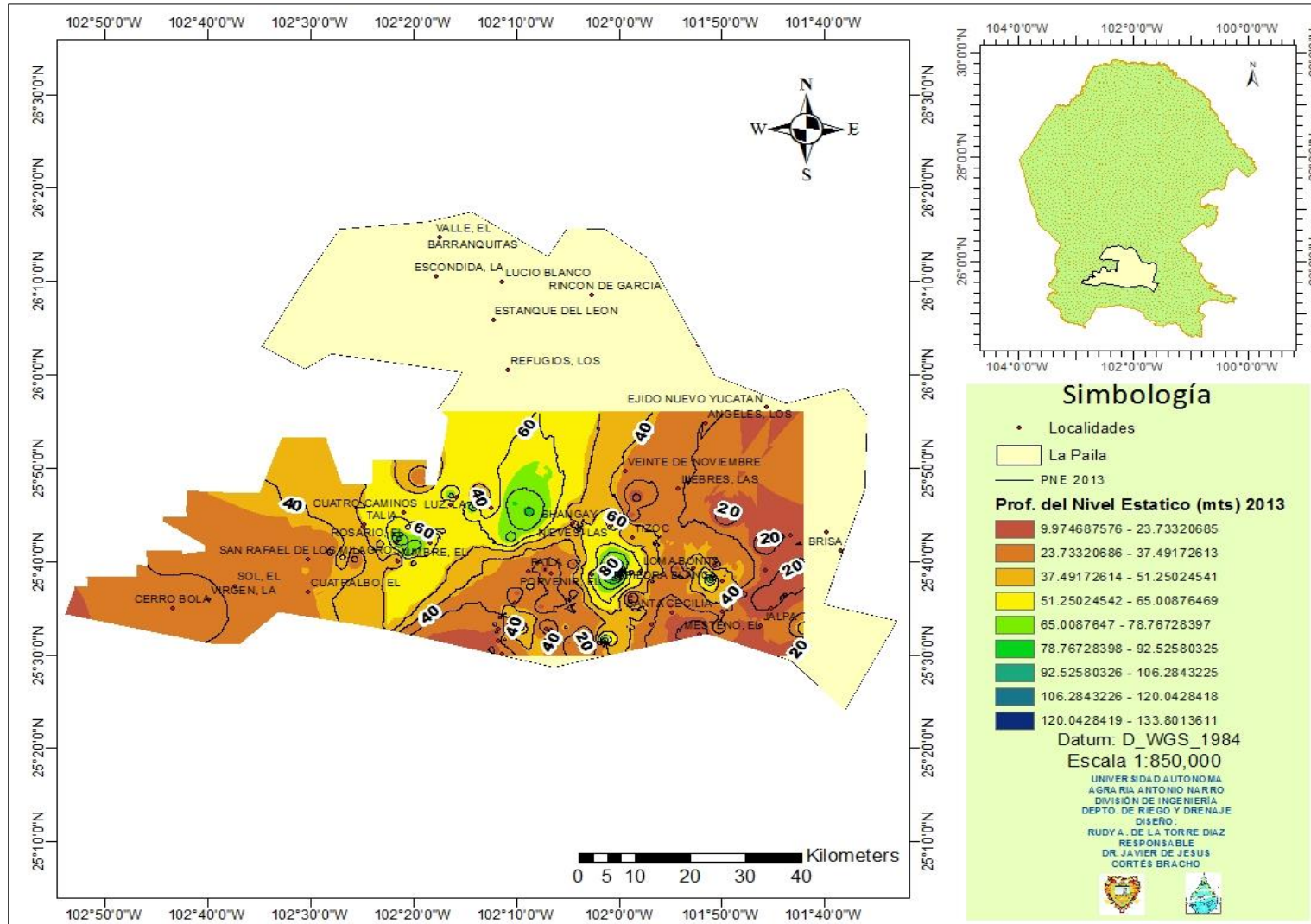


Figura 4.12. Profundidad del Nivel Estático del Acuífero La Paila del Año 2013.

4.11 Elevación del Nivel Estático

Para la zona de estudio se hizo una comparación de la elevación del nivel estático de dos años en particular, para 1987 y 2013 respectivamente, con la información obtenida se tiene un modelo de simulación de flujo de recarga para el acuífero.

4.11.1 Elevación del Nivel Estático (ENE) para el Año de 1987

A partir de las mediciones de profundidad al nivel estático y las cotas del terreno, se calculó la elevación del nivel estático respecto al nivel del mar. Los datos de elevación del nivel estático fueron procesados en ArcMap 10 de ESRI® para obtener las curvas de elevación del nivel estático.

La configuración del nivel estático correspondiente al año de 1987 muestra que se registran elevaciones de la piezometría de 1300 msnm (al Sur del acuífero) y 1050 msnm (al Oriente) por lo que la recarga del acuífero proviene del Sur y Este, desde Santa Isabel y Santa Rita Ganivete hasta Piedra Blanca. La recarga del acuífero proviene desde el Sur hasta el centro, los resultados también demuestran que el acuífero presenta una salida que va del Sur hacia el Noreste y Este a Oeste (Figura 4.13).

4.11.2 Elevación del Nivel Estático (ENE) para el Año de 2013

A partir de las cotas del terreno y de la piezometría del acuífero, se generaron las curvas de elevación para el año 2013, (Figura 4.14) los niveles van desde los 1400 msnm (Sur del acuífero) hasta los 1050 msnm (al Oriente) por lo que la recarga del acuífero, al igual que el estudio del año de 1987 proviene desde el Sur y Este, desde Santa Isabel y Santa Rita hasta Pilar de Richardson.

La recarga del acuífero proviene desde el Sur hasta el centro de la zona de estudio, las salidas se presentan desde el Sur hacia el Noreste y Este a Oeste.

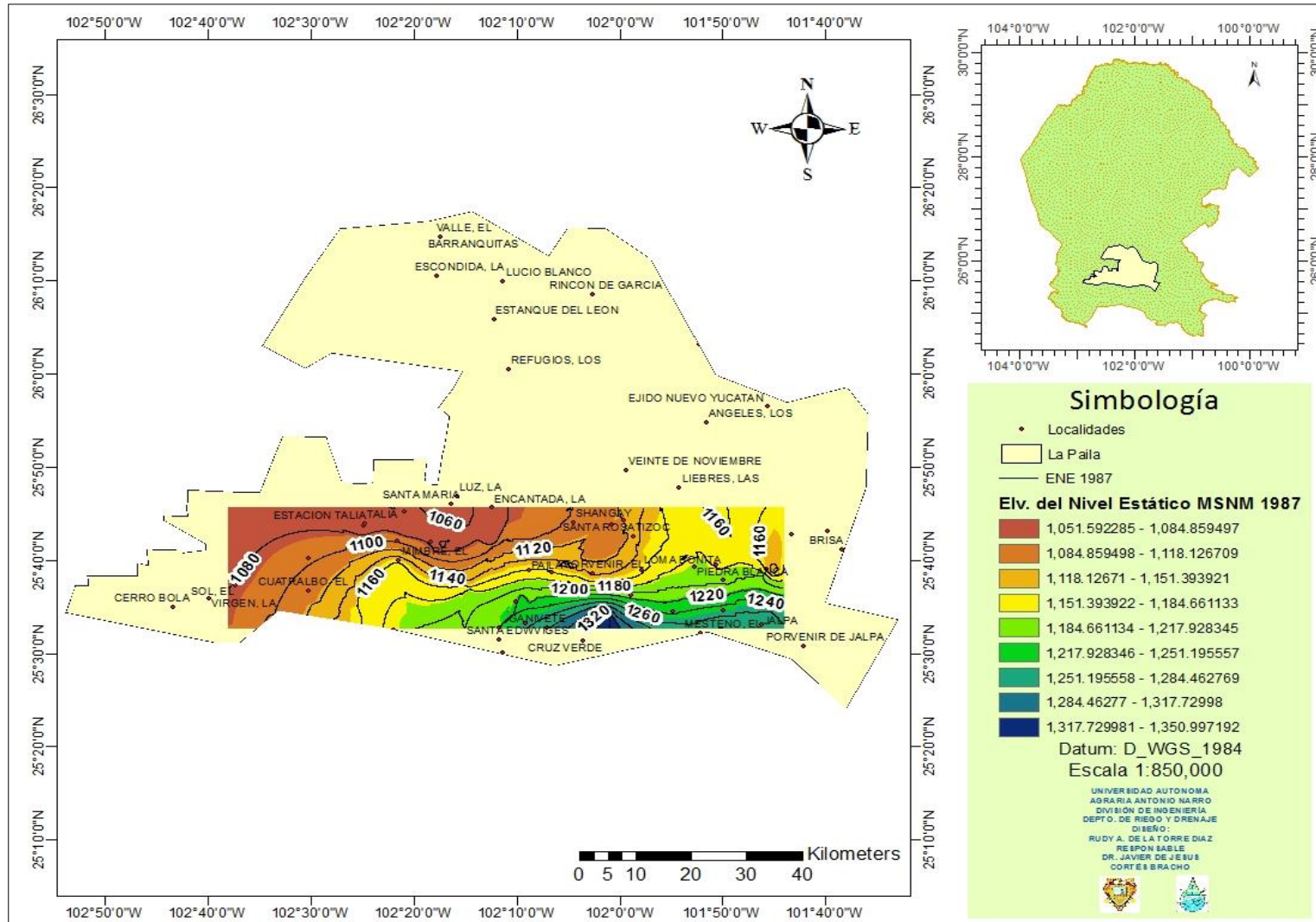


Figura 4.13 Elevación del Nivel Estático del Acuífero La Paila del año de 1987.

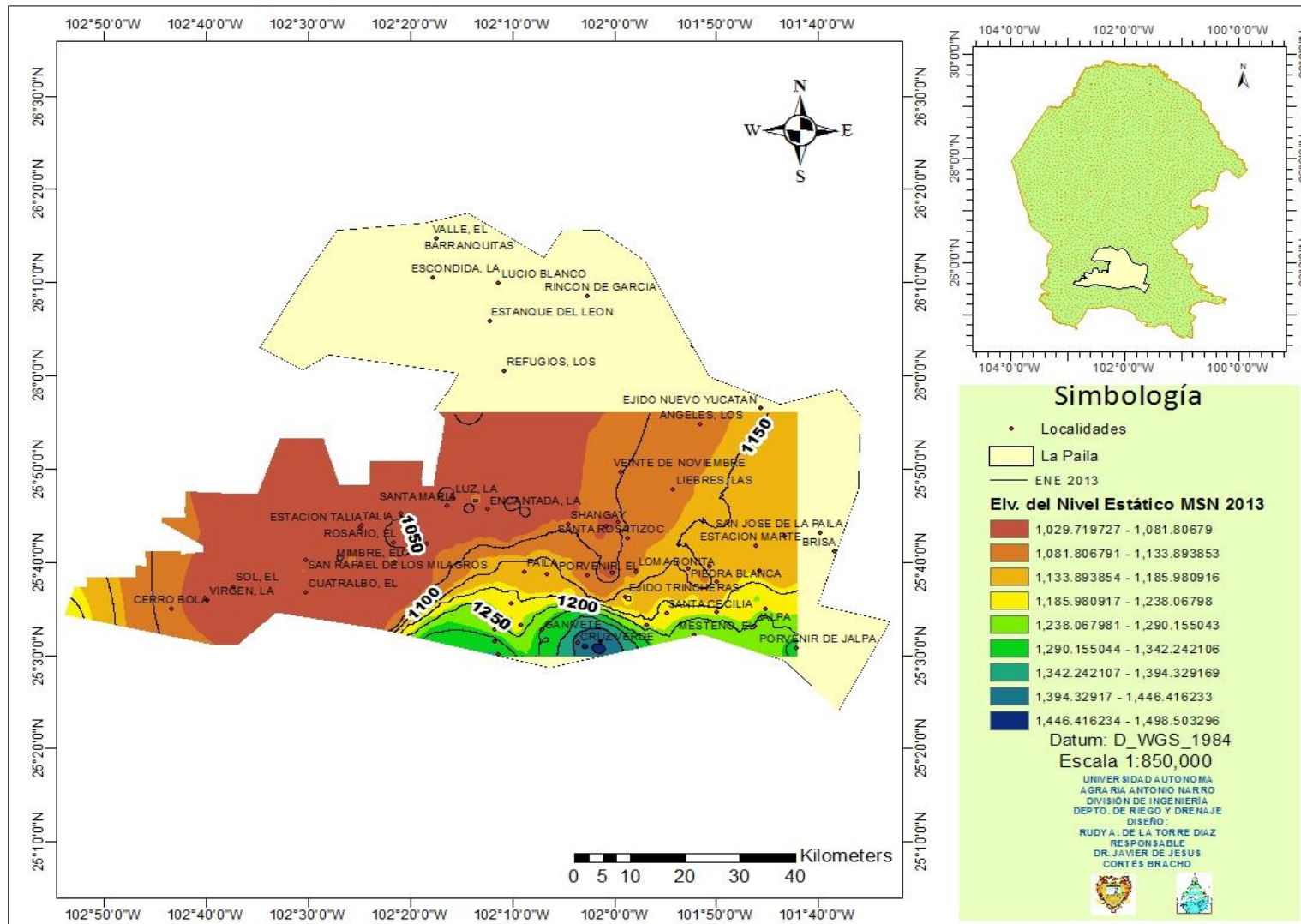


Figura 4.14. Elevación del Nivel Estático del Acuífero La Paila del año de 2013.

4.12 Tabla de Atributos

Mediante la aplicación de la herramienta Intersect de ArcMap del Software ArcGIS de ESRI® se generó una base de datos en donde permite consultar información actualizada del acuífero La Paila, de las cuales la información fue obtenida de cada una de las capas integradas en el software, descargadas de La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (www.conabio.gob.mx). Tal como se muestra en el Cuadro 4.1.

OBJECTID*	Shape*	AREA	PERIMETER	COV_	COV_ID	CLAVE	ORG_CUENCA	CLV	FID_	AREA_1	PERIMETER_1	COV1	COV_ID_1	GRUPO_FINA	FID_rh2	AREA_12	PERIMETER	COV1	COV	CLAV	I
1	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	0	1.604208	98.660269	14250	15294	Matorral rosetofo	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
2	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	0	1.604208	98.660269	14250	15294	Matorral rosetofo	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
3	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	0	1.604208	98.660269	14250	15294	Matorral rosetofo	1	5.91502	21.05385	11	10	35	Mapim
4	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	0	1.604208	98.660269	14250	15294	Matorral rosetofo	1	5.91502	21.05385	11	10	35	Mapim
5	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	0	1.604208	98.660269	14250	15294	Matorral rosetofo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
6	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	0	1.604208	98.660269	14250	15294	Matorral rosetofo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
7	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	1	0.451971	31.887237	22796	24193	Matorral desértico microflo	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
8	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	1	0.451971	31.887237	22796	24193	Matorral desértico microflo	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
9	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	1	0.451971	31.887237	22796	24193	Matorral desértico microflo	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
10	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	1	0.451971	31.887237	22796	24193	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
11	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	1	0.451971	31.887237	22796	24193	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
12	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	2	0.002324	0.420874	24639	26090	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
13	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	3	0.000943	0.384819	25059	26474	Matorral espinoso tamaulpec	1	5.91502	21.05385	11	10	35	Mapim
14	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	3	0.000943	0.384819	25059	26474	Matorral espinoso tamaulpec	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
15	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	4	0.042826	5.622434	25091	26507	Matorral desértico microflo	1	5.91502	21.05385	11	10	35	Mapim
16	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	4	0.042826	5.622434	25091	26507	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
17	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	4	0.042826	5.622434	25091	26507	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
18	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	5	0.000441	0.141693	25191	26603	Matorral espinoso tamaulpec	1	5.91502	21.05385	11	10	35	Mapim
19	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	6	0.000233	0.101232	25195	26607	Matorral espinoso tamaulpec	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
20	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	8	0.000362	0.12321	25272	26693	Matorral espinoso tamaulpec	1	5.91502	21.05385	11	10	35	Mapim
21	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	8	0.000362	0.12321	25272	26693	Matorral espinoso tamaulpec	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
22	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	10	0.00016	0.051524	25456	26860	Matorral rosetofo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
23	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	11	0.000122	0.063979	25502	26918	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
24	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	12	0.000215	0.090179	25543	26966	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
25	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	13	0.032866	4.780915	25674	27094	Chaparral	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
26	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	13	0.032866	4.780915	25674	27094	Chaparral	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
27	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	14	0.00035	0.158063	25720	27164	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
28	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	18	0.00057	0.127815	26111	27573	Matorral rosetofo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
29	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	27	0.008157	1.024709	26435	27952	Bosque de pino	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
30	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	30	0.000192	0.055368	26707	28231	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
31	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	31	0.003988	0.430002	26812	28338	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
32	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	31	0.003988	0.430002	26812	28338	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
33	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	33	0.000253	0.081853	26835	28458	Matorral desértico microflo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas
34	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	66	0.000228	0.079482	28057	28647	Manejo agrícola, pecuario y fo	0	21.13651	58.22015	7	6	24	Bravo
35	Polygon	34.871069	63.619276	10	9	6	Río Bravo	VI	66	0.000228	0.079482	28057	28647	Manejo agrícola, pecuario y fo	2	8.12315	29.88745	15	14	36	Nazas

Cuadro 4.1. Tabla de Atributos del SIG del Acuífero La Paila.

V. CONCLUSIONES

La aplicación del SIG dentro del acuífero La Paila, es de gran importancia ya que permite una planificación estratégica regional y un análisis de los datos geográficos con el que se obtiene una evaluación e inventario geohidrológico, que auxilia a la toma de decisiones y un mejor uso del agua subterránea.

Con la utilización de la herramienta clip se tiene representaciones gráficas de cada uno de las capas insertados en ArcMap para poder crear un SIG, en la que cada uno de ellos muestra la distribución de la información dentro de la región, como por ejemplo, el mapa de elevación del nivel estático nos muestra la dirección del flujo y comportamiento del agua subterránea dentro del acuífero, en tanto que el mapa de la profundidad del nivel estático nos señala los pozos más profundos y más someros de la región. Se puede apreciar que los niveles Piezométrico de la zona de estudios han cambiado con el tiempo y la cantidad de las extracciones han aumentado en los últimos 26 años, la zona de recarga de los años estudiados 1987 y 2013 sigue siendo desde el Sur al Centro de la región preferencial a la altitud que se presenta en la región.

VI. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar actualizaciones continuas en la tabla de atributos del sistema de información geográfica del acuífero La Paila de las capas que se utilicen para integrar el SIG, tales como precipitación, clima, uso del suelo y vegetación, profundidad del nivel estático, elevaciones del nivel estático, entre otros, para que esta pueda ser utilizado de la mejor manera posible.

Para visualizar mejor el comportamiento de la zona de estudio se recomienda realizar monitoreo continuo de los pozos en distintos periodos, para ello se necesita una estación de red de monitoreo piezométrica, de esta forma contar con una base de datos actualizada.

VII. BIBLIOGRAFIA

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2002. Actualización de mediciones piezométrica de los acuíferos denominados: Principal, Oriente Aguanaval, Vicente Gerencia Cuencas Centrales del Norte, Suárez y La Paila, Región Lagunera, Coah-Dgo. Ingeniería Geológica Computarizada, S.A de C.V.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 1998. Gerencia de Aguas Subterráneas, Estudio de reactivación de redes de monitoreo de los acuíferos de los valles de: Monclova, Saltillo-Ramos Arizpe, Allende-Piedras Negras, Cuatro Ciénegas-Ocampo, La Paila y Derramadero, Coah. Estudios y Proyectos de Agua y Tierra Rubriselva, S.A. de C.V.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2009. Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea. Acuífero la Paila, estado de Coahuila.
- Custodio, E., Llamas, M. R. y Samper, J.1997. La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Seminario de la AIH-GE. Las Palmas de Gran Canaria. Madrid. Ed. Instituto Tecnológico Geo minero de España. 455 pp.
http://www.zonanosaturada.com/publics/ZNS05/area_4/05.pdf. Revisado el 08/08/2015.
- Díaz. P.E. 2013. Creación del Sistema de Información Geográfica de la Región Geohidrológica Manzanera-Zapalinamé. Tesis .Departamento de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Pag. 1-10.
- Domínguez, J. Carrillo J. 2007. El agua subterránea como elemento de debate en la Historia de México. México en tres momentos: 1810-1910-2010, UNAM, México. <https://cdfilorycanto.files.wordpress.com/2012/01/agua-subterranea5.pdf>. Revisado el 03/08/2015.
- DOF (Diario Oficial de la Federación).2008. ACUERDO por el se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero La Paila, Clave 0509, en el Estado de Coahuila, Región Hidrológico-Administrativa Cuencas Centrales del Norte.http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5406344&fecha=04/09/2015

- DOF (Diario Oficial de la Federación) .2008. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas subterráneas de 30 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológicas que se indican. http://dof.gob.mx/nota_to_pdf.php?fecha=03/01/2008&edicion=MAT. Revisada el 15/octubre/2014.
- ESRI. ArcGIS Resources ¿Qué es ArcGIS? Consulta: el 11 de octubre del 2015. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/gettingstarted/articles/026n00000014000000.htm>
- Flores, G. 1994. Análisis de Datos Cualitativos. Aplicaciones a la investigación educativa. Edit. PPU. Barcelona, España.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geografía. 2da. Edición. Pág.43-44.
- Hernández, J. Montaner D.2008. Manual ArcGIS: Tutoriales. http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Libro-_Tutorial_de_ArcGis_9.2.pdf
- IMTA (Instituto Mexicano de tecnología del Agua). 2013. Estudio Geohidrológico del Acuífero La Paila. Coordinación de Hidrología. pág. 6-9.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2014. Sistema de Información Geográfica. Pág. 3-11 <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformaciongeografia.pdf>. Revisado el 11/09/2015.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2008. Características Edafológicas Fisiográficas, Climáticas e Hidrográficas de México. Consulta: 19 de Octubre de 2015. http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/1GEOGRAFIADEMEXICO/MANUAL_CARAC_EDA_FIS_VS_ENERO_29_2008.pdf
- Longley, P. and M. Batty. 1996. Spatial analysis modelling in a GIS environment. New York Geoinformation International, Pág. 392
- Martínez, A. 2015. Provincia Fisiográfica, Sierra Madre Oriental. Consulta: 19 /10/ 2015. Disponible en: <http://www.paratodomexico.com/geografia-de-mexico/relieve-de-mexico/provincia-sierra-madre-oriental.html>

- Ortiz, F.G. Gutiérrez, O.C. Monroy, N.A. 2014. Modelo Conceptual del Acuífero La Paila Coahuila. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. http://amh.org.mx/documentos/congreso/Memorias%20del%20XXIII%20Congreso%20Nacional%20de%20Hidraulica/Tema%205_Agua%20Subterranea%20Ante%20el%20Reto%20del%20Desarrollo%20Sustentable/t5_art_ofga1.pdf. Revisada el 15/10/2014.
- Piedra, C.L. 2013. Metodología para la Extracción Automática de Cuencas y Elaboración de un Mapa de Salida con Isoyetas en ArcGIS 10.1. Memoria Técnica. Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana. Pág. 19.
- Peña, L.J. 2006. Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio. Entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales. Teoría general y práctica para Esri ArcGIS 9. Editorial club universitario. Universidad de Alicante. pág. 3-4.
- Rébori, M.G. Querner, E. Feler, M.V. Barrionuevo, N. 2010. Simulación del flujo de aguas subterráneas, utilizando SIMBRO en el noroeste de Buenos Aires. Geografía y Sistemas de Información Geográfica. (GESIG-UNLU, Luján). Año 2, N° 2, Sección I: 98-110. On-line: www.gesig-proeg.com.ar. Revisado el 14/09/2015.
- Salas, H. 2012. El Rio Nazas. La Historia de un Patrimonio Lagunero. Instituto de Investigaciones Antropológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. pág.23
- Santiago, C. B. Ramos M, J. Bermeo S, G. García C, R. García P, R. 2000. Informe Final de la Cartografía Geológico Minera Escala 1:250 000, Carta monterrey clave g14-7, Estados de Coahuila, Nuevo León y Zacatecas. Consejo de Recursos Minerales. Gerencia de Geología y Geoquímica Oficina Regional Saltillo. Pág.10-29.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. El Medio Ambiente en México: En Resumen. Dirección General de Estadística y Ambiental. México, D.F. Pág. 40. http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documentos/01_informes/en_resumen_2009.pdf. Revisado el 20/10/2015
- William, E. Huxold, E. Fowler M. Parr, B. 2004. ArcGIS and the Digital City: hands on approach for local government. Firts Printing, July, E.U.A. Pág. 2.