



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE INGENIERIA

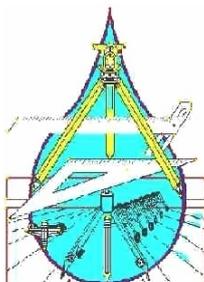
**HIDRODINÁMICA DEL AGUA ATRAVÉS DEL SUELO
EN EL VALLE DE CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA.**

**Por:
NERY MADAIN LÓPEZ MÉNDEZ.**

MONOGRAFIA

**Presentada Como Requisito Parcial Para obtener El
Titulo De:**

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION



**Buenavista Saltillo Coahuila, México.
Febrero del 2008.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

**HIDRODINÁMICA DEL AGUA ATRAVÉS DEL SUELO EN EL VALLE DE
CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA**

Por:

NERY MADAIN LÓPEZ MÉNDEZ

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADO POR:

**DR. JAVIER DE JESUS CORTES BRACHO
Presidente**

**M.C. LUIS SAMANIEGO MORENO
Vocal**

**M.C. JUAN CARLOS IBARRA FLORES
Vocal**

**DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA
Coordinador de la División de Ingeniería.**

Buenavista Saltillo Coahuila, México Febrero del 2008.

AGRADECIMIENTO

A dios y a la virgen maría por haberme dado la vida por la ayuda espiritual que medio cuando lo necesite, en los momentos más difíciles para alcanzar mis metas y formarme como profesionista.

A la UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” por la oportunidad para seguir preparándome como persona y profesionista, instruyéndome en el difícil camino de mi vida y ese camino largo del que no tiene regreso y que ahora es un reto y mi propio destino.

Mis mas sinceros agradecimientos al DR. Javier de Jesús Cortés Bracho por el tiempo dedicado, sin interés por ver culminar este trabajo, con sus conocimientos aplicados en el mismo.

Al M.C. Luís Samaniego Moreno por su apoyo brindado en la realización de este trabajo y así lograr un sueño y un peldaño más en la vida.

Al M.C. Juan Carlos Ibarra Flores por la amistad y apoyo incondicional brindada en la realización del presente trabajo.

A mis amigos ingenieros, Eduardo Ríos Cruz, Héctor Hernández López, Francisco Guzmán Sánchez, Roger Díaz Ramírez, Edwin Ramírez Santiago, Teófilo Zubieta Díaz, Antonio Flores Hernández, Enrique Suárez Moreno, Elvia Hernández Gómez, Claudia Ivette Cruz Santes, Edilberto Zúñiga Cárdenas, Darwin Moreno Ramírez, Félix Díaz Lara y a todos aquellos amigos que de alguna manera me brindaron su amistad y apoyo incondicional en cada momento difícil de la vida mil gracias.

A todas aquellas personas que de alguna manera u otra aportaron en la realización de este trabajo también mil gracias.

DEDICATORIA

A mi padre NARCISO LOPEZ DIAS (+) por su apoyo incondicional, en mi formación como ser humano, por su empeño, consejos y alentarme a seguir adelante en todo aquello que se emprenda, por el mejor de los padres y amigo dedicado esta monografía en su memoria.

A mi madre por su apoyo incondicional en las buenas y en las malas y por la confianza que siempre me ha brindado en todo aquello que realizo por sus consejos para ser mejor ser humano, por darme la vida por tus retos y caricias por ser mi guía y mi aliento y por ser mejor madre dedicado esta monografía.

A MIS HERMANOS, Orbey Adain, Abelmar, Nancy Herlinda, Ervin Narciso, con respeto y con amor quienes fueron motivo de mi superación, por luchar para ser el mejor y el ejemplo del camino del bien.

A MIS ABUELOS, Dorotea Díaz Gordillo y Abel López Zúñiga por sus consejos, cariño y apoyo que han mostrado incondicionalmente desde mi niñez.

A MIS TIOS, Rufina, Carolina, José Crescencio, Jaqueline, por su apoyo incondicional por que siempre me apoyaron de alguna manera en al económico y en lo moral cuando mas lo necesite para seguir adelante y cumplir mis estudios y formarme como profesionista.

A MI PRIMO, Juan Pablo López Díaz por su apoyo incondicional y consejos por estar con migo en las buenas y en las malas y recordarme siempre quien era de mis sueños e ilusiones por terminar una carrera como profesionista mil gracias por todo su apoyo.

A MI PADRE

Gracias papá porque me enseñaste a ser hombre. Me enseñaste que ante todos los problemas y adversidades teniéndolo todo para perder, al darse por vencido nunca es la solución.

Me enseñaste a arriesgar lo poco que se tiene en pos de conseguir algo mejor, dándome el ejemplo de no pecar de soberbia si triunfo y educando mi capacidad de afrontar frustraciones y derrotas.

Me enseñaste que el ser humilde es para darle cara a una persona que acaba de humillarte y no devolverle el insulto, si no perdonarlo y dejarle las puertas abiertas.

Me enseñaste que en esta vida triunfa el que trasciende, fracase o no, aquel que logra avanzar poco a poco, pero sin aportar nada a los demás es un derrotado.

Estuviste presente y estarás siempre presente cuando mas te necesité en los momentos de felicidad para alentarme en todos momentos de tristeza para consolarme y aconsejarme, y a veces, me indicaste que yo solo debo de resolver mis problemas.

Me legaste una personalidad de servicio y entrega, pues dejaste tus diversiones por darme incluso hasta lo que no tenías.

Me enseñaste a tener sangre fría en los momentos de crisis y cautela y honor en los momentos grandes. Me respetaste mi individualidad y mas aún, me enseñaste a no cometer tus errores invitándome a seguir tu camino de ciertos.

Pero más que todo, me enseñaste a ser un hombre fiel, dedicado, responsable y justo. Que suerte tuve de tener un padre como tú y un amigo al mejor de todos.

ÍNDICE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	ix.
INTRODUCCIÓN	1
DESCRIPCIÓN DEL LUGAR.....	2
FLORA Y FAUNA	4
Fauna.....	4
Vegetación	5
GEOLOGÍA	7
GEOMORFOLOGÍA.....	9
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	11
GEOLOGÍA DEL SUBSUELO	16
HIDROLOGÍA	17
Región Hidrológica.....	17
Ríos, Posas Y Lagunas	20
HIDROGEOLOGÍA	23
Tipo De Acuífero.....	23
PARÁMETROS HIDRÁULICOS	26
Piezometria	27
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO	28
Profundidad Del Nivel Estático	28
Elevación Del Nivel Estático.....	29
Evolución Del Nivel Estático	30
SISTEMA DE FLUJO REGIONAL.....	30
SISTEMA DE FLUJO INTERMEDIO	31
SISTEMA DE FLUJO LOCAL	31
HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	32
CONCLUSIÓN	34
LITERATURA CITADA	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1 Dunas de yeso y vegetación nativa.....	6
2 Región Hidrológica 24 (INEGI 1981)	18
3 Cuenca P. Falcón - R. Salado (INEGI 1981).....	18
4 Figura 4 Patrón de drenaje de la subcuenca Río Salado-Nadadores (INEGI 1981)	19
5 Subcuenca Río Salado-Nadadores (INEGI 1981)	19
6 Río Mezquites (Grall, 1995).....	20
7 Vista área de las pozas (Grall, 1995)	21
8 Humedales (Grall, 1995)	21

INTRODUCCION

La hidrodinámica es un modelo conceptual se puede definir como una representación gráfica de los sistemas de flujo subterráneo dentro de la zona de estudio analizada, construida con la finalidad de simplificar y organizar la información hidrogeológica recopilada y generada (Anderson y Woessner, 1992).

El acuífero del Valle de El Hundido, Coahuila, ha experimentado un incremento de la explotación del agua subterránea, principalmente para usos agrícolas. Debido a esto, existe preocupación por los posibles efectos sobre el acuífero adyacente de Cuatro Ciénegas, el cual abarca el área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas, y que contiene una gran diversidad de especies endémicas.

Ante esta situación, la Comisión Nacional del Agua (CNA) encomendó en el año 2001 un estudio de actualización hidrogeológica de este acuífero a la Compañía Lesser y Asociados (Lesser, 2001). Los resultados de dicho estudio fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación del 3 de noviembre de 2003, a fin de sustentar la disponibilidad de dicho acuífero.

Una de las conclusiones que se emiten en dichos estudios es la independencia hidráulica de los acuíferos del Valle de El Hundido y Cuatro Ciénegas, lo cual generó cuestionamientos por parte de instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales.

A fin de atender estos cuestionamientos, el Titular de Semarnat. Instruyó al IMTA para realizar un estudio sobre el funcionamiento de los acuíferos El Hundido y Cuatro Ciénegas.

DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

El Valle de Cuatro Ciénegas se encuentra rodeado por sierras altas y alargadas, constituidas en su mayor parte por rocas calizas (sedimentaria de origen marino) depositadas durante la era mesozoica; estas sierras forman estructuras anticlinales y sinclinales, cuyas rocas componentes fueron intensamente plegadas, falladas y fracturadas durante el evento tectónico denominado.

El Valle de Cuatro Ciénegas se encuentra en la zona centro del Estado de Coahuila, es un Valle intermontano rodeado por 6 sierras, directamente al norte se encuentra el Valle de Calaveras, el cual se encuentra conectado con un cañón estrecho que separa las sierra de la Madera y de Menchaca.

Al Suroeste se encuentra e Valle del Hundido el cual se encuentra separado del Valle de Cuatro Ciénegas por la Sierra de la Fragua, los dos Valles se encuentran comunicados por un corredor formado por la unión de la sierra de San Marcos y Pinos, La Fragua y El Granizo.

Orogenia Laramide, la cual tuvo sus primeras pulsaciones a fines del sistema Cretácico y alcanzó su máximo desarrollo a principios del Terciario.

Otro tipo de rocas que afloran en esa región son de origen ígneo, lo que indica que muy probablemente debió existir en la parte central una zona de debilidad que dio origen a un vulcanismo alineado casi longitudinalmente al Valle, implicado esto la posible existencia de una serie de fallas y fracturas que pudieran tener relación con el flujo regional de agua subterránea.

El Valle de Cuatro Ciénegas se ubica fisiográficamente en la Provincia de la Sierra Madre Oriental, Subprovincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses, sobre lo que se denomina como una Llanura Salina.

La cota más baja en el valle es de 720 msnm y en la cima de las sierras circundantes alcanza más de 3,000 msnm; este valle se caracteriza por bajadas, abanicos aluviales, zonas de dunas y diversos hábitats acuáticos y semiacuáticos con un alto nivel de endemismos que incluyen manantiales, Ciénegas, lagos, playas y canales. .

El clima por su grado de humedad es de tipo muy Seco y por su temperatura Subtipo Semicálido, con lluvias escasas todo el año, con un porcentaje de precipitación invernal mayor de 18 e invierno fresco, con un promedio de precipitación anual de 200 mm.

Vegetación. Presenta asociaciones vegetales característicos del Desierto Chihuahuense:

- Matorral Desértico Rosetófilo
- Matorral Desértico de transición
- Vegetación Halófito
- La vegetación gypsófila
- Áreas sin vegetación aparente
- Vegetación acuática y semiacuática

En el Valle habitan más de mil especies diferentes de seres vivos, de las cuales son endémicas por lo menos 56, es decir, destacando 23 plantas, 9 de caracoles, 8 de peces, 3 de tortugas, así como ranas y culebras. La vida se desarrolla en este complejo y diverso ecosistema, adaptándose a características de salinidad, temperatura y disponibilidad de alimentos.

FLORA Y FAUNA

FAUNA

La fauna de la región de Cuatro Ciénegas es quizá de las más estudiadas en las zonas áridas de México, el interés surge del elevado número de taxas endémicos de la región. Algunos de los grupos más estudiados son:

Carcinofauna

También denominada diversidad de crustáceos, incluye la presencia de 12 especies, de las cuales 6 son endémicas y otras 4 aún están pendientes de definir su nivel específico.

Malacofauna

La descripción de los moluscos reporta 7 familias de moluscos acuáticos, de los cuales la familia mejor representada es la Hidrobidae, la cual cuenta con 10 especies endémicas.

Ictiofauna

Es el componente faunístico más conspicuo en cuanto a diversidad y endemismo teniendo un total de 16 especies con 9 endémicas, inusual para una zona árida. La heterogeneidad ambiental del sistema hidrológico ha permitido la presencia de importantes grupos de peces.

Herpetofauna

De las 67 especies registradas por Mac Coy, seis son endémicas, dos de ellas, *Apolone ater* y *Trachemys scripta* ocupan hábitat acuáticos, las especies *Terrapene Coahuila* y *Scincella lateralis* ocurren en hábitat semiacuáticos y

Gerrhonotus lugoi y Cnemidophorus scalaris se distribuyen en hábitat desérticos (Mc- Coy, 1984).

Ornitofauna

La avifauna de la región aparentemente no tiene una gran diversidad, pues solo se tiene el registro de 61 taxas, desconociendo cuales son migratorias, residentes o si constituyen algunas formas endémicas.

Mastofauna

Las poblaciones de mamíferos en el valle de Cuatro ciénegas no han sido analizadas con detalle, pues solo se encuentran referencias en trabajos generales, por lo que hacen falta estudios de campo para tener un panorama más preciso.

VEGETACIÓN

En el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas la vegetación se encuentra repartida entre pastizal halófilo y vegetación acuática en el piso de la cuenca; en las dunas de yeso (figura No.1) se albergan especies endémicas de plantas gypsófilas, también matorral xerófilo y matorral submontano en las partes más elevadas. El piso del Valle sobre el cual se encuentra el área de protección, es un sitio plano, sobre la cota de 700 msnm.



Figura No. 1 Las dunas de yeso y vegetación nativa

En el Valle se encuentran por lo menos 837 especies de plantas vasculares y se reportan 23 taxas endémicos. Por efecto de su clima y suelos, presenta al igual que la mayor parte del estado asociaciones vegetales características del desierto Chihuahuense, las cuales se describen a continuación de acuerdo a Pinkava (1984):

- Matorral desértico rosetófilo
- Matorral desértico micrófilo
- Matorral desértico de transición
- Vegetación halófila
- Vegetación gypsófila
- Áreas sin vegetación aparente
- Vegetación acuática y semiacuática

GEOLOGÍA

La estratigrafía de la zona está representada por rocas que van del Jurásico hasta depósitos del reciente. El basamento, conformado por rocas plegadas e inclusive metamorfozadas se han identificado en algunas zonas en la Sierra de San Marcos y son las más antiguas. Sobre este basamento, se encuentran unas areniscas de la Formación San Marcos de edad Cretácico Inferior. Sobre yaciendo a estas rocas se encuentra una secuencia de rocas marinas cuyas características están influenciadas por el ambiente de depósito de las mismas. Así, en la zona del Valle de El Hundido, las rocas tienen influencia de plataforma (calizas puras de aguas someras), ya que éstas se depositaron en lo que se conoce paleo-geográficamente como la Isla de Coahuila; mientras que hacia las zonas de Cuatro Ciénegas las rocas presentan condiciones de talud (calizas arrecifales, calizas arenosas y arcillosas) e inclusive de cuenca más profunda, depositadas en lo que se conoce como la Cuenca de Sabinas.

Una sección geológica que va del Valle de El Hundido hasta el extremo sur del Valle de Cuatro Ciénegas, pasando por el Potrero de San Marcos muestra que las rocas calizas que conforman la Sierra de San Marcos han sido erosionadas en el centro de este plegamiento, y con ello exponiendo rocas más antiguas del Cretácico Inferior de la Formación San Marcos constituidas por una arenisca de baja permeabilidad, asimismo, se infiere la presencia del basamento conformado por un complejo de rocas previamente plegadas, las cuales presentan una baja permeabilidad, lo cual disminuye la posible conexión hidráulica entre los acuíferos El Hundido y Cuatro Ciénegas, al menos en esta zona.

El cinturón de plegamiento de edad Laramídica del NE de México proporciona un ejemplo muy importante de la interpretación de las fracturas relacionadas con la

orogenia. Estratos carbonatados de 2 a 4 km de espesor de edad Jurásica Cretácica constituyen los principales afloramientos de la Sierra Madre Oriental. La parte de la columna estratigráfica que corresponde al Barremiano Aptiano está muy bien expuesta y contienen numerosos ejemplos de transiciones laterales en ambientes de depósito que van de plataformas de aguas someras (Valle de El Hundido) hasta cuencas de aguas profundas (Cuatro Ciénegas). Las facies de cuenca corresponden a calizas de estratos medios a delgados, con presencia de pedernal. Por otro lado, las facies de plataforma están representadas por ciclos de calizas de plataforma con zonas dolomitizadas debido a la exposición subaérea durante la culminación de cada ciclo (Goldhammer *et al.*, 1991). Durante el Paleoceno, la Orogenia Laramide deformó estos estratos a escala regional en el saliente de Monterrey, donde un intervalo de yeso anhidrita del Jurásico Superior sirvió como zona de deslizamiento regional (Padilla y Sánchez, 1985), lo cual dio origen a las cabalgaduras que se presentan en la parte sur de la Sierra de La Fragua y en el frente sur de la Sierra La Madera.

Las fracturas tectónicas están restringidas principalmente a las rocas de cuenca, aunque sin lugar a dudas también se presentan en rocas de plataforma. Observaciones de campo en la zona de la Sierra de San Marcos, muestran que las fracturas predominantes están rellenas de dolomita y las vetas rellenas de calcita, las cuales son perpendiculares a la estratificación y conforman ángulos pronunciados y ligeramente oblicuas a los ejes de plegamiento. Las estilolitas (fracturas formadas durante la litificación de las calizas) perpendiculares a los estratos forman ángulos pequeños con los ejes de plegamientos, mostrando contracción durante su desarrollo, lo cual coincide con el plegamiento.

GEOMORFOLOGÍA

Los rasgos geomorfológicos de la zona son el resultado de la deformación tectónica de la Orogenia Laramide durante el Cretácico Superior-Terciario Temprano, que dio forma original al relieve, el cual posteriormente ha sido modificado por procesos exógenos de intemperismo y erosión.

La zona se encuentra en etapa geomorfológica de madurez franca, reflejada en la notable erosión de las estructuras geológicas, definiéndose cuatro unidades principales siguientes:

Unidad Montañosa en el Golfo de Sabinas

Está conformada principalmente por las rocas calizas del Cretácico Inferior, que forman estructuras plegadas, falladas, fracturadas y modeladas por los agentes de intemperismo.

Presenta laderas generalmente de fuerte pendiente topográfica y profundos cañones de paredes escarpadas. En algunas sierras de anticlinal la intensidad de la erosión ha sido tal, que se formaron porteros estructurales como el de "Menchaca", "Agua Chiquita" y "San Marcos y Pinos". La red hidrográfica dominante es de tipo dendrítico, aunque localmente existe del tipo rectangular controlada por los sistemas de fracturamiento.

Unidad Montañosa en la Plataforma de Coahuila

También está edificada por las rocas calizas del Cretácico inferior, caracterizada por amplios anticlinales (periclinales) con echados de suave inclinación que

impone un relieve de suave pendiente topográfica. Tal es el caso de la Sierra La Fragua que limita al valle en su parte poniente.

Unidad de Pie de Monte

Se ha desarrollado principalmente en las estribaciones de las Sierras La Madera, San Marcos y Pinos, La Purísima y Agua Chiquita. En donde está conformada por depósitos aluviales dispuestos en conos aluviales de deyección de arroyos que descienden de las sierras.

Unidad del Valle de Cuatro ciénegas

Se caracteriza por la parte plana de la zona con suave pendiente topográfica que ha sido rellenado por depósitos aluviales, eólicos y lacustres. El Valle de Cuatro Ciénegas, de acuerdo con la información geológica recopilada, está labrado en la parte poniente sobre las rocas arcillosas de formaciones del Cretácico Superior, sobre la zona de contacto a través de la falla de cabalgadura La Madera que pone las secuencias del Golfo de Sabinas encima de las secuencias de la Plataforma de Coahuila. En la parte oriente esta formado sobre el Sinclinal La Campana entre los Anticlinales San Marcos y Pinos y La Purísima, y que hacia el sureste integra el Valle de la Campana.

El patrón de drenaje en el Valle es poco denso y mal definido, debido a que los depósitos expuestos aluviales y eólicos tienen buena capacidad de infiltración, y a que la precipitación pluvial de la región es baja.

La descripción geológica que a continuación se presenta fue recopilada principalmente del estudio geohidrológico de ININSA (1980). También se tomaron en cuenta los planos geológicos de PEMEX (1971) escala 1:50,000 de las áreas Estación Socorro (Hoja Atlas 45-13) y La Vega-El Represito (Hojas Atlas 47-13 y 45-10).

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los rasgos geológicos estructurales existentes en la zona son consecuencia de la deformación tectónica de la Orogenia Laramide durante el Cretácico Superior y Terciario sobre los sedimentos marinos de las provincias geológicas Cuenca de Sabinas y Paleopenínsula de Coahuila.

Los pliegues anticlinales y sinclinales en la Cuenca de Sabinas están conformados por rocas sedimentarias marinas de formaciones del Cretácico Inferior y Superior. Son pliegues estrechos, alargados, paralelos entre si, con flancos generalmente de fuerte buzamientos. Los pliegues más importantes en esta provincia geológica son los siguientes:

Anticlinal La Madera: es un anticlinal simétrico edificado en gran parte en su núcleo por la Formación Aurora. Tiene una longitud de aproximadamente 60 km con orientación preferencial SE-NW, en su extremo sureste cambia de rumbo casi E-W.

Anticlinal Menchaca: es un anticlinal simétrico erosionado en su núcleo hasta niveles de la Formación Patula, formando el Potrero Menchaca. Mantiene una dirección preferencial SE-NW y tiene una longitud aproximada de 36 km.

Formando el Potrero del mismo nombre. En su núcleo aflora la Formación San Marcos. Está orientado SE-NW y tiene una longitud aproximada de 75 km. INEGI (1981) lo cartografía como recostado hacia el suroeste y buzante hacia el Valle de Cuatro Ciénegas en su extremo noroeste.

Anticlinal Los Capulines: es un anticlinal simétrico, también erosionado en su núcleo. Está orientado SE-NW y tiene una longitud de aproximadamente 100 km

desde la altura de la población La Madrid extendiéndose hacia el noroeste en la Zona Geohidrológica de Ocampo.

Anticlinal de la Purísima: según PEMEX (1971) es un anticlinal simétrico pero INEGI (1981) lo cartografía como recostado hacia el suroeste y buzante hacia el valle. Esta erosionado en un núcleo hasta niveles de la Formación San Marcos y guarda una orientación SE-NW con una longitud del orden de 60 km.

Anticlinal de las Lajas: es un anticlinal simétrico con extensos afloramientos de la Formación Aurora con una orientación SE-NW y longitud aproximada de 32 km.

Anticlinal Agua Chiquita: es un anticlinal simétrico orientación SE-NW y longitud de 55 km. Se encuentra erosionado en su núcleo formando dos potreros en sus dos extremos.

Anticlinal Sacramento: es simétrico con una orientación SE-NW y longitud aproximada de 35 km. Al oriente de la población de Sacramento se bifurca hacia el Valle de Monclova y hacia el Valle de Castaños.

Los pliegues dentro de la Paleopenínsula de Coahuila se caracterizan por su gran extensión conformados por capas de rocas sedimentarias del Cretácico dispuestas con echados de suave inclinación.

El pliegue más importante característico de la Paleopenínsula de Coahuila es el Anticlinal La Fragua, el cual está formado en rocas calizas de la Formación Aurora y Grupo Washita y se extiende alrededor de 80 km a lo largo de las sierras Puerto Colorado, La Fragua y el Granizo. Es un anticlinal asimétrico con orientación E-W en las sierras La Fragua y Puerto Colorado, cambia de dirección NW-SE en la Sierra El Granizo. Las capas en su flanco norte mantienen echados de suave inclinación en ese sentido hacia el Valle de Cuatro Ciénegas y en el flanco sur están casi verticales. Este anticlinal en la Sierra Puerto Colorado está erosionado en su núcleo, lo cual permite el afloramiento de la Formación San Marcos. En esta sierra presenta una bifurcación hacia el norte. En el límite norte de la Sierra La

Fragua muestra dos pequeños sinclinales uno orientado NW-SE y el otro NE-SW, los cuales se interpretan como pliegues de arrastre.

Otras estructura relevantes de la región originadas por la Orogenia Laramide son las fallas de cabalgadura que ponen en contacto a las secuencias de la Cuenca de Sabinas encima de la Paleopenínsula de Coahuila, la cual funcionó como un contrafuerte a los esfuerzos compresivos. Dentro de estas fallas inversas se describen las siguientes:

Falla La Madera que aflora en el borde sur y suroeste de la Sierra La Madera, poniendo en cabalgadura hacia el sur a la Formación Aurora encima de la Formación Eagle Ford. Esta Falla La Madera, más hacia el oriente antes de la población de Cuatro Ciénegas se continúa en el subsuelo del Valle de Cuatro Ciénegas y más hacia el noroeste, también se continúa en el subsuelo del Llano el Macho y Laguna El Guaje. La Falla la Madera se puede apreciar en superficie por una longitud aproximada de 110 km.

Falla Barril Viejo que se manifiesta en el flanco suroeste de la Sierra La Purísima poniendo a la Formación Aurora encima de las Formaciones Kiamichi y George Town. Se puede apreciar en superficie por una longitud aproximada de 38 km con un rumbo SE-NW.

La Falla de Carranza que se expresa en el flanco suroeste del Anticlinal San Marcos y Pinos, a lo largo de una longitud de aproximadamente 30 km. Más hacia el NW se continua por el borde sur de las sierras Puerto Colorado y La Fragua, por alrededor de 100 km más, lugar en donde se le conoce como Falla La Fragua y en donde pone en contacto a las formaciones Aurora y Acatita por encima de las formaciones Eagle Ford y Austin.

La traza de la Falla de Carranza y Falla La Fragua coincide con la traza de la Falla San Marcos postulada por McKee y otros (1990), como falla transformante que pudo formar parte del sistema de fallas transformantes que conectaban las

crestas de expansión del piso oceánico del Atlántico con aquellas del Pacífico. La Falla San Marcos, de acuerdo con McKee y otros (op.cit), ha tenido varias etapas de actividad alternando con periodos de inactividad reconocidas desde el Neocomiano y que se continuaron hasta el Cretácico Superior-Terciario Temprano con actividad compresiva de la Orogenia Laramide.

Las estructuras relacionadas con la etapa distensiva posterior a los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, son una serie de fallas normales y fracturas con orientaciones preferencial SE-NW y SW-NE. Entre estas fallas se puede citar las que INEGI (1999) reporta con más abundancia en las Sierras San Marcos y Pinos, La Purísima, La Madera y La Fragua.

GRUPO DIFUNTA

El nombre de Formación Difunta fue aplicado por primera vez en (1936, pág. 1133) por Ralph W. Imlay para una sección ubicada al norte del extremo poniente de la Sierra de Parras. Este nombre fue tomado del Cerro Difunta.

En el área de trabajo aflora en una pequeña porción al sur de la Sierra de La Madera. Litológicamente esta unidad se compone de capas medianas de areniscas de color gris, de grano fino, calcáreas, con alternancia de lutitas y limolitas, predominando estas últimas, las primeras son gris y, las segundas rojizas y café. Por su posición estratigráfica probablemente sólo representa una parte del grupo. Tiene una edad Maestrichtiano.

CONGLOMERADO TERCIARO

Corresponde a los materiales clásticos de pie de monte que se encuentran principalmente en las estribaciones de algunas sierras, que son marcados en los planos de PEMEX como de edad Terciaria y son diferenciados de los materiales aluviales que constituyen la mayor parte de los bolsones.

ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

Dentro de la zona de estudio existen algunos afloramientos de rocas ígneas extrusivas constituidas por derrames de basaltos, los cuales se encuentran tanto en la porción central del Valle de Ocampo como en el extremo noroeste del mismo, inmediatamente al oeste del poblado de Ocampo. Están constituidos por derrames lávicos de basalto de color negro y rojizo, los cuales han sido asignados al Terciario.

ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

Hacia el extremo suroeste del Valle de Cuatro Ciénegas, se encuentran reducidos afloramientos de un cuerpo intrusivo, de textura granítica y composición ácida.

MATERIAL ALUVIAL

Rellenando los extensos bolsones que constituyen los Valles de El Hundido, Cuatro Ciénegas y Ocampo se encuentran materiales granulares producto de la erosión y transporte de las sierras hacia los flancos de los bolsones los clásticos son de mayor tamaño gravas, arenas y limos y se hacen mas finos (arcillas) hacia el centro de los valles, donde se interdigitan con sedimentos evaporíticos lacustres de lagunas intermitentes, características de los bolsones de la zona áridas del norte de México.

GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

La investigación de la geología del subsuelo del Valle de Cuatro Ciénegas, no es conocida ampliamente por falta de suficiente información de cortes litológicos de pozos y estudios geofísicos.

Los únicos cortes litológicos con que se tiene son de los pozos del Ejido San Vicente localizado en el borde oriente del valle. En esta parte, los Depósitos Aluviales del Cuaternario tienen espesores de 20 m en el pozo San Vicente No. 1 y de 44 m en el pozo San Vicente No. 2. El Conglomerado Reynosa se reporta compuesto en la base de areniscas calcáreas con intercalaciones de conglomerados calcáreos y en la cima de conglomerados calcáreos deleznales. El espesor del Conglomerado Reynosa es de 66 m en el pozo San Vicente No. 1 y de 118 m en el pozo San Vicente No. 2.

Rocas calizas posiblemente relacionadas con la Formación George Town fueron perforadas debajo del Conglomerado Reynosa en el pozo San Vicente No. 1 y lutitas probablemente asociadas con la Formación Kiamichi subyaciendo a este conglomerado en el pozo San Vicente No. 2.

Es de esperarse que el espesor de los depósitos de relleno del valle aumente desde las márgenes del valle hacia el centro del mismo, tal como se reporta en el Valle de Ocampo al norte con espesores de 6 a 12 m en los bordes del mismo y hasta 66 m en su parte centro-sur.

HIDROLOGÍA

Región hidrológica

El Acuífero Cuatro Ciénegas, de acuerdo a la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales escala 1:250,000 Hojas Tlahualilo G13-6 y Monclova G14-4, editadas por el INEGI (1981), se encuentra en la Región Hidrológica Río Bravo-Conchos (RH-24), Cuenca P. Falcón-R. Salado (D) y Subcuenca Río Salado de Nadadores (g₁₆₀₄).

El Valle de Cuatro Ciénegas es una cuenca endorreica, en general los arroyos que se originan en las sierras que lo circundan desaparecen al infiltrarse en las márgenes del Valle a través de los depósitos aluviales permeables que rellenan al Valle.

El patrón de drenaje regional es predominantemente del tipo dendrítico, aunque en algunas áreas es de los tipos paralelo y radial. Las corrientes son de régimen transitorio, con escurrimientos torrenciales de unas cuantas horas de duración.

El patrón de drenaje regional es predominantemente del tipo dendrítico, aunque en algunas áreas es de tipo paralelo y radial. Las corrientes son de régimen transitorio, con escurrimientos torrenciales de unas cuantas horas de duración (figura 2). (INEGI 1981).

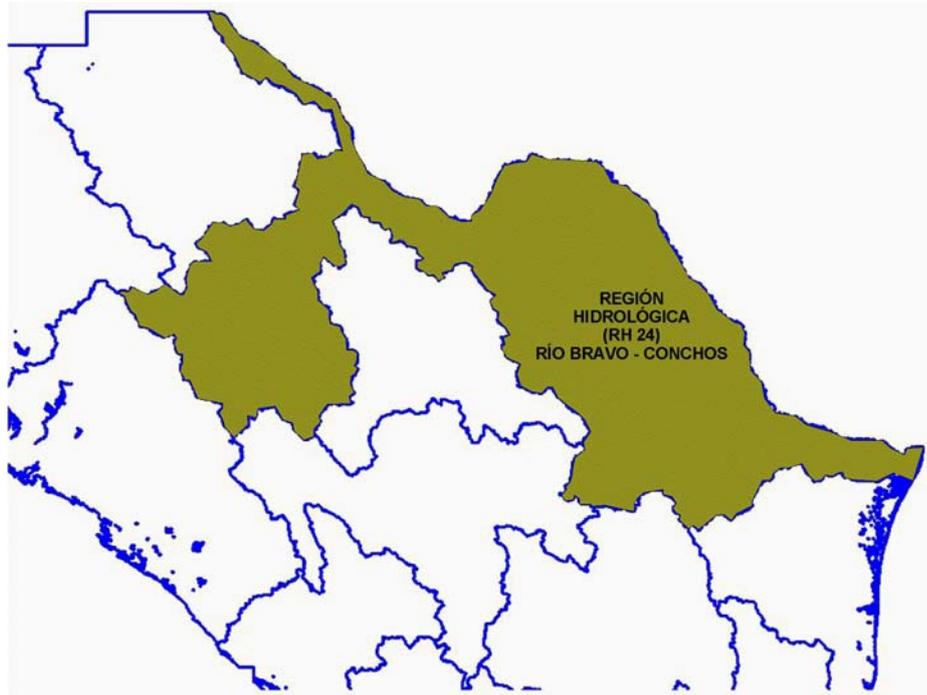


Figura 2 Región Hidrológica 24. (INEGI 1981).

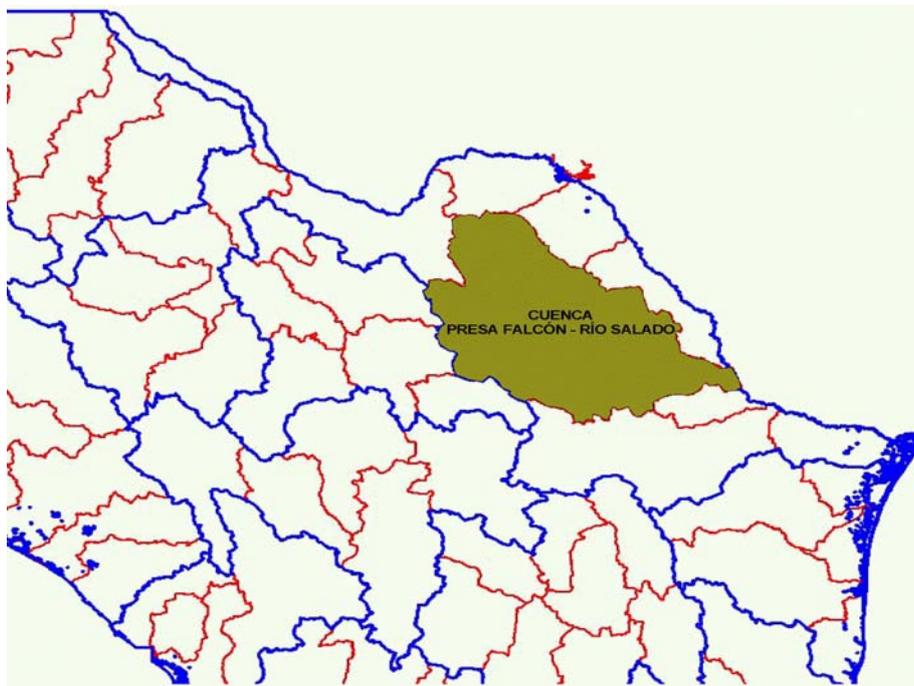


Figura 3 Cuenca P. Falcón - R. Salado. (INEGI 1981).

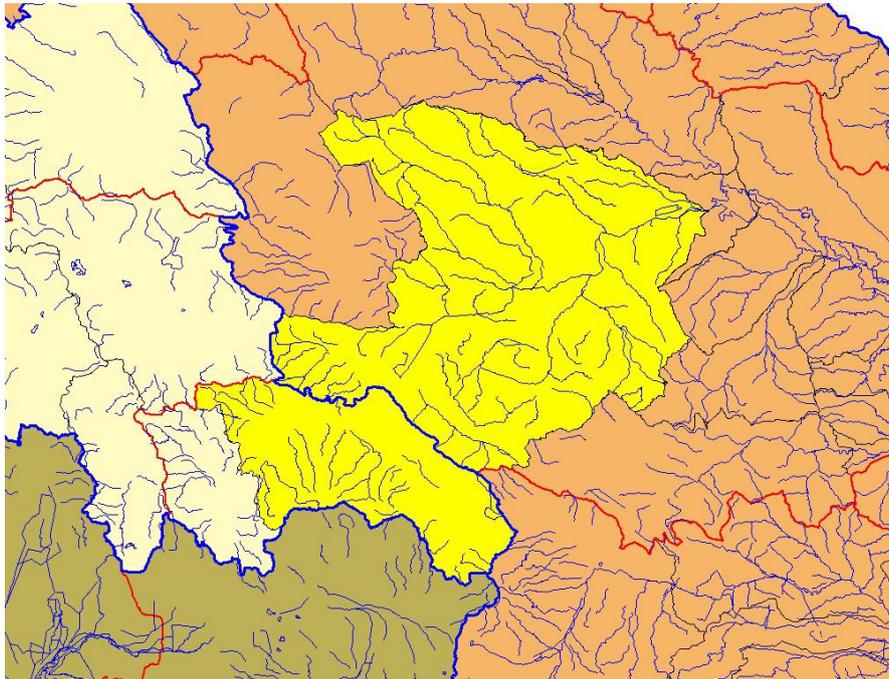


Figura 4 Patrón de drenaje de la subcuenca Río Salado-Nadadores. (INEGI 1981).

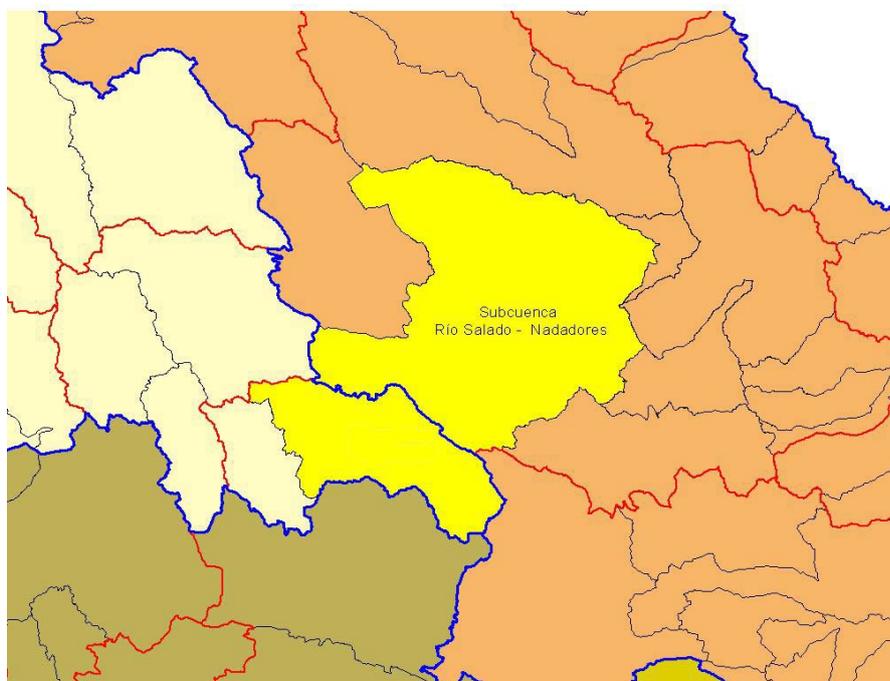


Figura 5 Subcuenca Río Salado-Nadadores. (INEGI 1981).

Ríos, pozas y lagunas

Aunque las lluvias en el Valle de Cuatro Ciénegas son escasas, tiene abundante agua subterránea la cual emerge a la superficie a través de innumerables manantiales. El agua que fluye de estos manantiales forma un intrincado sistema hidrológico compuesto por ríos (figura 6), pozas (figura 7) y humedales (figura 8).



Figura 6 Río Mezquites (Grall, 1995).

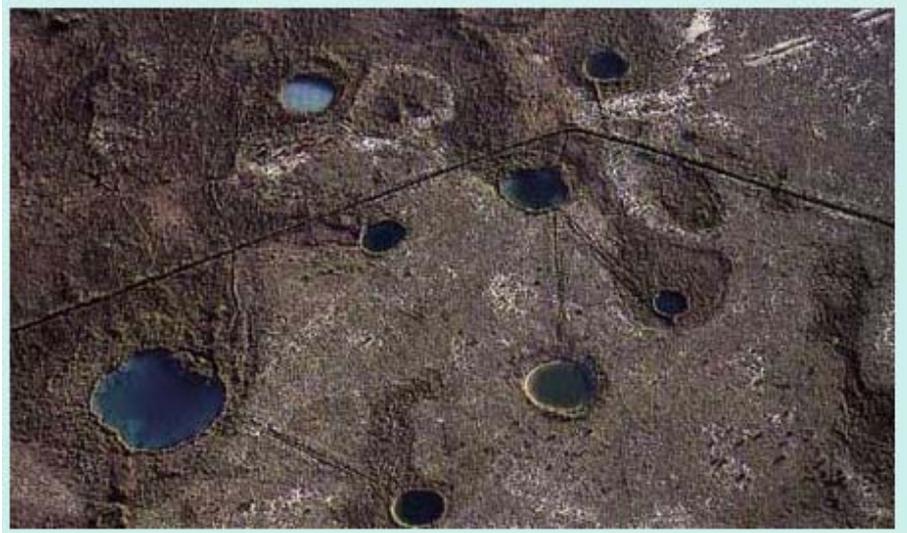


Figura 7 Vista área de las pozas (Grall, 1995).



Figura 8 Humedales (Grall, 1995).

La elevación del Valle es de alrededor de 740 msnm y está rodeado por la Sierra de la Madera al norte, la cual tiene una elevación superior a los 3 000 msnm, al sureste por la Sierra San Marcos la cual tiene una elevación de 2 500 msnm. La Sierra de La Fragua franquea el valle en el lado Oeste, con elevaciones que van de 1 000 a 1 800 msnm (Minckley y Gerald, 1969). Estas montañas que rodean al Valle de Cuatro Ciénegas originalmente formaban una cuenca cerrada, por lo que es posible que en aquel tiempo se formaran en la parte más baja pantanos y áreas inundadas someras.

Las pozas tienen profundidades de menos de un metro hasta 10 metros, y diámetros de unos pocos centímetros hasta 200 metros. La mayoría de las pozas se localizan en las faldas de la Sierra San Marcos y Pinos.

El río más importante del Valle es el Río Mezquites (figura 6). Este nace cerca del rancho Tierra Blanca. Cerca de su nacimiento tiene de 2 a 8 metros de ancho, 2 metros de profundidad y la corriente es lenta. Al Noreste de la Sierra San Marcos pasa a través de un humedal grande y en este punto se le unen aguas del sistema Mojarral. En este lugar tiene un ancho que va de 2 m hasta 20 m y una profundidad de 2.5 m. La descarga de este río es muy estable. En tiempos anteriores, el río drenaba hacia una depresión cerrada que se encontraba en la parte Este. En la actualidad descarga hacia canales que fluyen fuera del vaso de Cuatro Ciénegas.

Existen dos lagunas de dimensión considerable dentro del Valle llamadas Playitas y Churince, la primera representa un sistema alterado al que llega agua procedente de un canal artificial y la segunda un sistema relativamente intacto dentro del Valle.

HIDROGEOLOGÍA

TIPO DE ACUÍFERO

Con base en la información principalmente geológica de estudios previos, se establece la naturaleza, distribución y fronteras del acuífero Cuatro Ciénegas, que es motivo de la presente publicación de la disponibilidad de aguas subterráneas.

El Acuífero Cuatro Ciénegas se define como el que está formado por los depósitos que rellenan el Valle, compuestos por los Depósitos Aluviales, Eólicos y lacustres del Cuaternario, así como por El Conglomerado Reynosa.

De acuerdo con las características litológicas de estas formaciones, se considera que el acuífero es predominantemente de tipo libre, aunque posiblemente en la parte centro del Valle sea un tanto semiconfinado por la posible presencia de arcillas lacustres.

El basamento hidrogeológico del acuífero se encuentra en la cima de las Formaciones del Cretácico Superior (Georgetown, Del Río, Buda, Eagle Ford y Austin) que por sus características arcillosas se consideran generalmente de baja permeabilidad, aunque localmente pueden presentar fracturamiento favorable para ser explotadas localmente por medio de pozos que aportan bajos caudales.

Las fronteras laterales del acuífero son de carácter impermeable en el contacto de los depósitos de relleno del Valle con las formaciones arcillosas del Cretácico Superior en las estribaciones de las sierras que circundan el Valle.

En el Puerto El Salado se identifica una frontera de flujo hacia el Valle La Madrid-Sacramento.

Las rocas calizas fracturadas y cavernosas de las Formaciones Aurora y Cupido constituyen otros acuíferos en la zona. Estos acuíferos calizos no son explotados por medio de pozos en la región. Su recarga se da por medio de la infiltración de la lluvia en las sierras en donde afloran estas Formaciones.

Con base en los aspectos regionales de la geología, topografía y climatología, se postula que la recarga regional de estos acuíferos calizos se origina en las sierras altas de la Zona Geohidrológica de Ocampo localizada al norte. En las sierras que rodean al Valle de Cuatro Ciénegas se produce una recarga local. La descarga de estos acuíferos calizos se manifiesta en una serie de manantiales caudalosos que brotan en el propio Valle, que peculiarmente se distribuyen entorno a la Sierra San Marcos y Pinos. La descarga de estos manantiales que se reporta en 4800 lps (ININSA, 1980) y en 3100 lps (Fondo Mundial para la Naturaleza-Protección de la Fauna Mexicana, 1999), indudablemente está controlada por las fallas y fracturas regionales, particularmente por las fallas inversas de cobijadura antes descritas.

Los acuíferos calizos son de tipo libre en las áreas de las sierras en donde afloran las formaciones que los constituyen. El acuífero de la Formación Aurora es confinado en el subsuelo del Valle de Cuatro Ciénegas por las rocas arcillosas del Cretácico Superior, mientras que la Formación La Peña lo separa del acuífero calizo de la Formación Cupido, cuya base se encuentra en la Formación San Marcos o equivalentes Formación Patula (La Virgen y La Mula) y Formación Barril Viejo (Padilla).

Los límites de la Zona Geohidrológica son al noroeste la falla inversa La Madera que funciona como un barrera impermeable; al noreste el contacto entre los depósitos aluviales permeables y las rocas arcillosas de baja permeabilidad del Cretácico Superior sobre las estibaciones de las Sierra Menchaca y El Capulin; al

oriente las trazas del Anticlinal Sacramento y anticlinales que pasan por los cerros Real Viejo-Bocatoche y cañada El Pañal; al sur el contacto entre la Formación Cupido y la Formación San Marcos sobre el flanco oriente del potrero estructural del Anticlinal San Marcos y Pinos; al sur también el Anticlinal La Fragua y la falla inversa La Fragua; y al oriente el parteaguas superficial sobre la Sierra La Fragua y Meseta Grande.

El sistema acuático del Valle de Cuatro Ciénegas esta compuesto por varios subsistemas los cuales tienen un funcionamiento propio ligado de alguna manera con uno o varios de los demás subsistemas. Los subsistemas se pueden identificar para su mejor comprensión y observación de la siguiente manera:

- Subsistema Churince
- Subsistema La Becerra
- Subsistema Los Mezquites
- Subsistema Poza Azul
- Subsistema Escobedo
- Subsistema Pozas Azules
- Subsistema Esquila (Mineros del Norte)
- Subsistema El Anteojo

El subsistema acuático o complejo Churince es un humedal compuesto básicamente por una poza (exurtorio perenne), principal fuente de agua que vierte de forma obligada sobre el río churince (un angosto cauce de muy baja pendiente) que en la parte media de su trayectoria se forma, (probablemente por una disminución de pendiente casi plano), una lagunilla conocida como laguna intermedia o de los güeros (por los peces blancos que ahí se encuentran); finalmente este río vierte sus agua, considerablemente disminuidas en el trayecto, sobre la Laguna Grande o Laguna de Churince.

Este subsistema se encuentra sobre un cuerpo sedimentario yesífero compuesto por alternancias de horizontes de arenas finas de yeso y anhidrita con capas arcillo limosas.

Las aportaciones de agua superficial, subsuperficial y subterránea mantienen la humedad del cuerpo yesífero y permiten la existencia de pequeñas Ciénegas o charcas que aparecen y desaparecen en función de la sobresaturación de agua permitiendo la existencia de cierta biota característica de este humedal.

El subsistema acuático o complejo Churince atraviesa por una situación muy particular cuyo efecto mas perceptible es la disminución del volumen de agua disponible en la Laguna de Churince y su posible relación con el proceso acelerado de la formación de grietas y hundimientos denominados localmente como “abras”, que pudiera drenar el agua del río churince y llevar a condiciones de frontera la existencia de dicha Laguna y hacia un nuevo.

PARÁMETROS HIDRÁULICOS

No se cuenta con suficientes pruebas de bombeo para determinar con claridad los parámetros de las propiedades hidráulicas del acuífero. La única información con que se cuenta al respecto proviene de la prueba de bombeo realizada por ININSA (1980) en el pozo DGZA-172 localizado en el sector sur de la población de Cuatro ciénegas.

De esta prueba de bombeo se reporta una transmisividad de $0.00477 \text{ m}^2/\text{s}$.

De acuerdo con los valores de los parámetros hidráulicos de los medios porosos (Freeze y Cherry, 1979) y considerando la composición litológica de los depósitos que rellenan el Valle de Cuatro Ciénegas, la conductividad hidráulica del acuífero puede variar en orden de magnitud entre 10^{-6} y 10^{-2} m/s y el coeficiente de almacenamiento entre 0.01 y 0.2.

PIEZOMETRÍA

Del acuífero Cuatro Ciénegas no se tienen registros piezométricos históricos solo se cuentan con tres piezometrías que corresponden al año de 1979 y a los meses de septiembre de 1998 y noviembre de 1998. La Dirección del Área Natural Protegida de Cuatro Ciénegas (ANP) en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología (INE) instalaron en 2007 la cantidad de 12 piezómetros digitales (leveloger y barologer) distribuidos en las diferentes pozas del valle, formalizando un acuerdo a finales de 2007 en el que el INE pone a resguardo los piezómetros y la Dirección del ANP toma la información para al final publicarla en la página del INE (www.ine.gob.mx). Además, a finales de 2007, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), realiza la perforación de 11 pozos con la finalidad de instalar piezómetros digitales, los cuales estarán manejados por personal de la Dirección del ANP bajo convenio por firmar.

La piezometría del año 1979 es la reportada en el estudio de ININSA (1980), la piezometría del mes de septiembre de 1998 fue realizada por el Departamento de Aguas Subterráneas de esta Gerencia Estatal en Coahuila y la del mes de noviembre de 1998 fue la que resultó del trabajo realizado por la empresa Rubriselva (1999). La piezometría del mes de septiembre 1998 cubrió toda la zona del acuífero, en cambio las del año 1979 y noviembre de 1998 se concretaron a la parte norte del Valle.

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

Con base en los datos piezométricos del mes de septiembre de 1998, fueron elaborados planos de profundidad y elevación al nivel estático del acuífero. Debido a los pocos datos de la piezometría del año 1979, no fue posible elaborar un plano de evolución del nivel estático, solo se pudo obtener abatimientos en unos cuantos pozos para el periodo 1979-septiembre de 1998.

PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

Las profundidades al nivel estático en el mes de septiembre de 1998 en la población de Cuatro Ciénegas se registró entre 20 y 30 m, en el área de San Vicente, Las Carpas y El Venado entre 10 y 30 m, en el área de San Juan y Explosivos Mexicanos entre 10 y 50 m, en el área de Antiguos Mineros del Norte se encontró a 5 m, en la localidad de Nueva Atalaya se registró a 12 m, y en el área de Seis de Enero y San Francisco entre 25 y 30 m.

La configuración de la profundidad al nivel estático muestra que generalmente los niveles más profundos tienden a presentarse en las márgenes del Valle y los más someros hacia el centro del mismo. Esto indica, por una parte que los bordes del Valle son áreas de recarga relacionadas con la infiltración de los escurrimientos superficiales que bajan de las sierras que rodean al Valle, y por otro lado que en el centro del Valle se acentúa una condición de descarga por evaporación del nivel freático somero.

ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

Las elevaciones del nivel estático en el mes de septiembre de 1998 en la población de Cuatro ciénegas se registraron entre 715 y 720 msnm, en el área de San Vicente y Las Carpas entre 780 y 790 msnm, en el área de Los Laguneros, San Juan y Explosivos Mexicanos entre 600 y 700 m, en el área de Antiguos Mineros del Norte y El Venado se encontró entre 700 y 740 msnm, en el área de Nueva Atalaya, San Francisco y Seis de Enero se registró entre 700 y 760 msnm.

La distribución de las equipotenciales muestra que generalmente las cargas hidráulicas más altas tienden a presentarse en los bordes del valle y las más bajas hacia el centro del mismo. Esta distribución revela que el movimiento del agua subterránea generalmente se da desde los bordes del valle hacia el centro del mismo, lo cual comprueba que en las márgenes del valle existe recarga por medio de la infiltración de los escurrimientos superficiales y en el centro descarga por evaporación.

También pone de manifiesto una entrada al acuífero por flujo lateral a través del Cañón El Papalote-Molino del Rey proveniente del Acuífero Ocampo ubicado al noroeste. De la misma forma en el Cañón El Salado se identifica una salida del acuífero por medio de flujo subterráneo hacia el Valle de La Madrid.

EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

La evolución del nivel estático para el periodo 1979-septiembre de 1998 solo se pudo obtener en el área de la población de Cuatro Ciénegas, que es en donde se lleva a cabo la mayor extracción de agua subterránea, resultando abatimientos totales hasta de -8.89 m, que significa ritmos de abatimiento anual de 0.47 m/año.

En las otras áreas en donde se explota el acuífero por medio de pozos, no se pudo establecer la evolución del nivel estático debido a la falta de datos piezométricos para el año 1979.

SISTEMAS DE FLUJO REGIONAL

Los sistemas de flujo regionales son los más importantes para ambos Valles. Los sistemas de flujo regionales proporcionan la principal recarga a los acuíferos, lo cual fue confirmado por los tiempos de residencia (> 1000 años) de las aguas subterráneas de ambos Valles. La recarga principal se da en las partes más altas que circundan a los Valles, producto del agua de precipitación y su posterior infiltración en el medio fracturado y karstificado. Posteriormente, esta agua, en promedio, se mueve muy lentamente para recorrer varias decenas de kilómetros a través de las calizas y llegar hasta las zonas de descarga en las porciones centrales de ambos Valles. Los mecanismos de descarga se llevan a cabo mediante procesos de evapotranspiración en ambos Valles; mientras que sólo en el Valle de Cuatro Ciénegas se tienen de manera adicional los manantiales (pozas) como zonas de descarga del agua subterránea.

SISTEMAS DE FLUJO INTERMEDIO

Los sistemas de flujo intermedio corresponden a aguas de infiltración en las partes relativamente cercanas a los valles, las cuales tienen tiempos de residencia de varias decenas a centenas de años. Dados los resultados isotópicos, estos sistemas de flujo no son los más importantes en la recarga de los acuíferos, no obstante si contribuyen a los volúmenes que se presentan en la descarga de los sistemas.

SISTEMAS DE FLUJO LOCAL

El sistema de flujo local esta representado por las zonas de riego intensivo tanto en El Hundido como en Cuatro Ciénegas donde los excesos de riego permiten la infiltración del agua al acuífero, evidenciado por la presencia de nitratos y tritio. También se identifico la recarga local por infiltración en los canales de distribución del agua de las pozas en la zona de Cuatro Ciénegas.

HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El análisis hidrogeoquímico y su relación con la calidad del agua subterránea, no se pudo documentar para el Acuífero Cuatro Ciénegas, debido a la falta de información hidrogeoquímica para hacerlo. Sin embargo se presenta algunos aspectos relevantes de la hidrogeoquímica de los manantiales que manifiestan la descarga de los acuíferos calizos regionales. De alguna manera, el acuífero en depósitos de relleno del valle y los acuíferos calizos, sostienen afinidad hidrogeoquímica en vista de que mantienen continuidad hidráulica por medio de flujo vertical en el área del Valle.

A respecto, se hace referencia a los planos elaborados por ININSA (1980) siguientes: plano de clasificación química del agua subterránea según Piper, plano de Sólidos Totales Disueltos y plano de concentración de Sulfatos. Para complementar la información química de los manantiales, el Departamento de Aguas Subterráneas de esta Gerencia Estatal realizó un muestreo de los principales manantiales del Valle en el mes de marzo de 1999.

Los manantiales de la región presentan un tipo de agua sulfatada cálcica con concentraciones de STD que varían entre 1000 y 2500 mg/l. Las concentraciones de sulfatos varían entre 500 mg/l y 1400 mg/l. Los contenidos de cloruros varían entre 100 y 150 mg/l.

Los elevados contenidos salinos en las aguas de los manantiales del Valle de Cuatro ciénegas denotan la presencia de un sistema de flujo con gran trayectoria de recorrido a través de los acuíferos calizos de la región. Por otra parte el predominio de sulfatos en esta agua se relaciona con el proceso de disolución de evaporitas reportadas en las Formaciones del Cretácico Inferior, especialmente en la Formación Cupido.

El agua de los manantiales de la región no es de buena calidad para consumo humano, ya que las concentraciones de STD y sulfatos, rebasan los límites permisibles que marca la normatividad oficial de 1000 mg/l y 400 mg/l respectivamente.

De acuerdo con el plano de clasificación de aguas subterráneas para fines de riego, según Wilcox, elaborado por ININSA (1980); las aguas de los manantiales del valle presenta peligro de salinidad muy alto y de sodicidad bajo.

En cuanto a las posibles fuentes potenciales de contaminación de los acuíferos de la región, no se tiene documentación de alguna que se puedan considerar como un riesgo latente de contaminación de las aguas subterráneas. Sin embargo, el uso de compuestos químicos en las actividades agrícolas de la zona, puede representar una fuente de contaminación difusa

CONCLUSIÓN

De acuerdo con la información recopilada en esta monografía se puede concluir que Cuatro Ciénegas es el humedal mas importantes de México y del mundo, además cuenta con muchas especies endémicas. Es actualmente una de las reservas biológicas de mayor trascendencia para el desarrollo científico del país.

Por otra parte la información geológica e hidrogeológica de este trabajo permite dar una idea de las rutas del agua subterránea y saber las zonas de mayor infiltración y escurrimientos superficiales debido al material que conforman el suelo.

Con estudios realizados por el Lesser y Asociados, S.A. de C.V., Estudio de evaluación hidrogeológica e isotópica en el Valle del Hundido, Coahuila. Esto se hizo para saber si existía conexión Hidráulica entre los Valles de Cuatro Ciénegas y el Valle del Hundido, el cual causo gran controversia ya que los resultados fueron que no había conexión entre ambos Valles, estos eran independientes.

Debido a esto se permitieron la sobre explotación de los Valles vecinos lo cual ha afectado la disminución del nivel de agua de algunas de las pozas del Valle de Cuatro Ciénegas, como el de la laguna churince.

También se provocaron serios disturbios, como son la interconexión artificial de los manantiales, la disminución de las áreas inundadas dentro del valle

En diferentes puntos del valle, se han abierto a través del tiempo áreas agrícolas, muchas de las cuales fueron abandonadas, pero no se ha realizado ningún estudio que muestre los cambios en la vegetación en estos sitios. Sin embargo, es notorio que la recuperación no ha sido completa. A esto hay que agregar la introducción de plantas y animales exóticos de los cuales se conocen algunas de las especies pero no su situación actual, ni los efectos sobre otros recursos.

LITERATURA CITADA

Anderson, M.P. and W.W. Woessner 1982. Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and advective Transport. Academic Press. P 382.
http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=1616173791Referencias.pdf

C.N.A. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Que establece las disposiciones para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. <http://vlex.com.mx/vid/28185156>

Fritz P. and Fontes J.Ch. *et al.*1980, Handbook of Environmental Isotopes Geochemistry, Vol. 1, The Terrestrial Environment; A. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, p 545.
http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=1613640121capitulo1.pdf

Freeze. R. A., and J A. Cherry, 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
<http://waterdata.usgs.gov/ut/nwis/gw>

Fondo Mundial para la Naturaleza y Protección de la Fauna Mexicana, A. C., 1999. Planeación del uso del agua en el Valle de Cuatro ciénagas, Coahuila.http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/DR_0528.pdf.

Goldhammer, R. K., P.J. Lehmann, R. G. Todd, J. L. Wilson, W. C. Ward and C. R. Johnson. 1991, Sequence stratigraphy and Cyclostratigraphy of the Mesozoic of the Sierra Madre Oriental, Northeast México, A field guidebook. SEPM, Gulf Coast Section, p 85. .
<http://www.ideam.gov.co/temas/guiaaguas/Anexo%204.pdf>

García, J., A. Contreras-Balderas and J. I. González. 1997. Estructura trófica, cambios estacionales de las aves en el matorral desértico micrófilo Larrea tridentata del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila, México. The Era of Allan. R. Phillips: A Fest Scthrifl. P 49-55.
http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rea_de_Protecci%C3%B3n_de_la_Flora_y_Fauna_Cuatroci%C3%A9negas

Grall, George 1995. Cuatro Ciénegas: México desert aquarium. National Geographic, 188. p. 85-97.
http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=11616173791Referencias.pdf

Iván Restrepo. Cuatrociénegas, joya natural en peligro. La Jornada. 11 de noviembre de 2002.
<http://www.jornada.unam.mx/2002/11/11/020a2pol.php?printver=0>

ANGELICA ENCISO L. La reserva de Cuatro ciénegas, en riesgo por la expansión agrícola. La Jornada noviembre de 2002.
<http://www.jornada.unam.mx/2002/11/12/042n1soc.php?origen=soc-jus.html>

Rangel, M 1997 Hidrogeología ambiental aplicada a los sistemas acuíferos La Colorada y Matape-Empalme: implicaciones sobre la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea. Tesis Msc. Universidad de Sonora.
<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/medina.html>

.INEGI, 1985. Cartas geológica e hidrológica de aguas superficiales escala 1:250,000, Hojas: Ocampo G13-3, Nueva Rosita G14-1, Monclova G14-4 y Tlahualilo de Zaragoza G13-6. <http://www.inegi.gob.mx>

INE-SEMARNAP. 1999. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. México. <http://www.inegi.gob.mx>

ININSA, 1980 Fondo Mundial para la Naturaleza-Protección de la Fauna Mexicana, 1999).

Lesser y Asociados, S.A. de C.V., 2001. Estudio de Evaluación Hidrogeológica e Isotópica en el Valle del Hundido. Coah.

McKee J. W., N. W. Jones, and L. E. Long. 1990. Stratigraphy and provenance along the San Marcos Fault, central Coahuila, México. Geological Society of American Bull., v. 102, p. 539 – 614.
http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=11613653891capitulo3_Fisiograf%EDa.pdf

McCoy, C. L. Jr. 1984. Ecological and zoogeographic relationships of amphibians and reptiles of the Cuatro Ciénegas basin, p. 49-60, en: Paul C. Marsh ed. Biota of.
<http://www.desertfishes.org/cuatroc/literature/3decade/3decade.html>

Minckley, W. L. and Gerald A. C. 1969. Environments of the Bolson of Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, México, University of the Texas at El Paso. Science series number two.
http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&file=11616173791Referencias.pdf

PEMEX., 1971. Planos geológicos escala 1.50,000, Estación Socorro (Hoja Atlas 45-13) y Vega-El Represito (Hoja Atlas 47-13 y 45-10).

Pinkava, D. J. 1984. Vegetation and flora of the Bolson of Cuatro Ciénegas region, Coahuila, Mexico: IV, Summary, endemism and corrected catalogue, p. 23-48, en:
http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=11613644391capitulo2.pdf

Padilla y Sánchez, R. 1985. Las estructuras de la curvatura de Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. Revista del Instituto de Geología de la UNAM. Vol. 6, No. 1, p. 1-20.
http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=11613657331capitulo4_Geolog%EDa_y_Geof%EDsica.pdf

Rubriselva, S. A. de C. V., 1998. Estudio de Reactivación de Redes de Monitoreo del Acuífero Cuatrociénegas-Ocampo. Realizado para la C. N. A., contrato GAS-008-PRO-98.
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/DR_0528.pdf.

