

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL SISTEMA
CHURINCE, CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA.**

POR:

JESÚS IGNACIO RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO

DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

SALTILLO, COAHUILA, MEXICO.

MAYO DEL 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL SISTEMA CHURINCE,
CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA**

POR:

JESÚS IGNACIO RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ

**QUE SE SOMETE AL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada

Presidente del Jurado



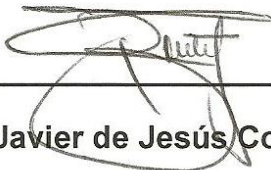
Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor Principal



MC. Juan Carlos Ibarra Flores

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"
Coasesor



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Coasesor

Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de Ingeniería
MC. Luis Rodríguez Gutiérrez



SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. MAYO DEL 2014

DEDICATORIA

Con amor, admiración y respeto a mis padres Damiana Domínguez Morelos y Josafat Rodríguez Villalva les dedico este trabajo de tesis como agradecimiento por toda la confianza que han depositado en mí y por haberme dado las herramientas para construir mi más grande sueño.

A mis hermanos José Ángel, Zita Idania, Rosa Elia, Paula, Ana Delia y Olga que para mí representa lo más importante en mi vida, gracias por apoyarme incondicionalmente.

A mis amigos que estuvieron siempre apoyándome (Inés Moreno, Dalila, Martha, Norma, Anabel, Olivia, Mario, Rodrigo, Kalachis, Ulises, Alberto, Jesús Omar, Humberto, Rodolfo, Mesi, Alejandro).

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a esta hermosa institución (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), por haberme dado la oportunidad de realizar una carrera y por haberme acobijado durante 4 años y medio en sus instalaciones. En segundo lugar agradezco a todo el personal del departamento de Riego y Drenaje por contribuir en mi formación académica.

AL DR. LUIS SAMANIEGO MORENO

Por su asesoría y por permitirme realizar un trabajo de investigación en un tema de mi interés y gusto.

DR. JAVIER CORTÉS BRACHO

Le Agradezco todos los conocimientos transmitidos como asesor y también como profesor de esta institución.

AL MC. JUAN CARLOS IBARRA FLORES

Por los consejos, la información y el apoyo en la revisión de tesis.

AL ING. ROGER VILLALOBOS ARÉVALO

Gracias por recibirnos siempre con los brazos abiertos en Cuatro Ciénegas y por todo el apoyo brindado para poder realizar este trabajo.

A mis compañeros de generación que me apoyaron para obtener los datos de campo (Inés Móreo, Martha, Yaxmin, Norma, Honey, Jose Benito, Alberto, Mosqueda, Jesús Omar, Alejandro Omar, Pedro, Humberto, Juan Manuel, Hermenegildo, Alexander, Juan Isidro).



A los alumnos de la materia de drenaje agrícola que participaron en la perforación de los pozos y muestreo de cada punto (Antonio, Gloria, Lourdes, Daniel, Andersi, Diego, Luis, Kau, Ismael, Eduardo, José Puck, Israel, Dreyli, Maya).



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	X
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 OBJETIVOS	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	3
2.2 ORIGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	3
2.2.1 Clasificación descrita por Custodio y Llamas (1976).....	3
2.2.2 Clasificación descrita por Vélez (1999)	3
2.3 MOVIMIENTOS DEL AGUA EN EL SUELO.....	4
2.4 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA	4
2.5 ACUÍFERO.....	5
2.6 TIPOS DE ACUÍFEROS.....	6
2.6.1 Clasificación por la presión hidrostática	6
2.6.2 Clasificación en función del tipo de porosidad.....	8
2.7 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACUÍFEROS.....	9
2.7.1 Porosidad y porosidad efectiva	9
2.7.2 Permeabilidad o conductividad hidráulica (K).....	9
2.7.3 Transmisibilidad (T)	10
2.7.4 Coeficiente de almacenamiento (S).....	10
2.8 MÉTODO DEL AGUJERO DE BARRENA PARA CALCULAR (K)	10
2.9 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA	13
2.9.1 Temperatura.....	13

2.9.2 Conductividad eléctrica	13
2.9.3 pH.....	13
2.10 NIVEL FREÁTICO	14
2.11 NIVEL PIEZOMÉTRICO.....	14
2.12 SUPERFICIE FREÁTICA.....	14
2.13 TIPOS DE SUPERFICIES FREÁTICAS.....	15
2.14 RECARGA DE ACUÍFEROS	16
2.14.1 Recarga Natural	16
2.14.2 Recarga Artificial	16
2.15 VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO EN LOS ACUÍFEROS	17
2.16 MEDICIÓN DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS	17
2.17 MAPAS DE SUPERFICIES FREÁTICAS (ISOHYPAS).....	18
2.18 MAPAS DE NIVELES FREÁTICOS A IGUAL PROFUNDIDAD (ISOBATAS)	19
2.19 INTERPRETACIÓN DE LAS SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS	19
2.20 ESTUDIOS PREVIOS.....	22
2.20.1 Estudio hidrogeológico de los acuíferos El Hundido y Cuatro Ciénegas. Coahuila. (IMTA, 2005)	22
2.20.2 Estudio Bacteriológico y conexión entre los valles El Hundido, Calaveras y Cuatrociénegas	23
2.20.3 Estudio de impacto ambiental sobre la reserva ecológica del valle de Cuatro Ciénegas Coahuila ante la apertura del proyecto agropecuario del valle del Hundido. Proyecto SEMARNAT CONACYT clave CO1- 0083.	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE TRABAJO	25
3.1.1 Suelo	26
3.1.2 Climatología	26
3.1.3 Hidrología de Cuatrociénegas	27
3.1.4 Infraestructura hidráulica	28
3.1.5 Aprovechamiento del agua subterránea.....	29

3.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	30
3.3 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS.....	32
3.4 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN	33
3.5 DATOS OBTENIDOS	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. RECOMENDACIONES	55
VII. LITERATURA CITADA	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de agua de riego por su conductividad eléctrica (CE). 13	
Cuadro 2. Límites del acuífero 0528 Cuatrociénegas	27
Cuadro 3. Datos de algunos canales de Cuatrociénegas	28
Cuadro 4. Datos obtenidos el 26 de mayo del 2013 realizada entra las 8:00 – 14:00 horas	34
Cuadro 5. Datos obtenidos el 17 de octubre del 2013 realizada entra las 8:00 – 14:00 horas	36
Cuadro 6. Datos de recuperación de niveles con fecha 17 de octubre del 2013.	37
Cuadro 7. Precipitaciones registradas entre el 26 de mayo y el 17 de octubre del 2013 en Cuatrociénegas.	38
Cuadro 8. Valores de conductividad hidráulica calculados	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución vertical del agua subterránea	5
Figura 2. Tipos de acuíferos de acuerdo con la presión hidrostática del agua almacenada en los mismos.....	7
Figura 3. Clasificación de los acuíferos en función del tipo de porosidad.....	9
Figura 4. Método del agujero de barrena.....	11
Figura 5. Escala de pH y su interpretación.....	14
Figura 6. Ejemplos de superficies freáticas.....	15
Figura 7. Diferentes formas de relación de la superficie freática con la topografía.....	20
Figura 8. Formas de las isopiezas y líneas de corriente en ríos conectados al acuífero de diferente forma ya sea recargando o drenando.....	20
Figura 9. Esquemas del efecto de las fallas geológicas en las superficies freáticas.....	21
Figura 10. Infraestructura hidráulica	29
Figura 11. Ubicación del lugar de trabajo.....	31
Figura 12. Distribución de la red de 21 pozos de observación en el área de Churince.....	33
Figura 13. Situación de la laguna Churince (laguna grande) el 26 de mayo del 2013.....	35
Figura 14. Situación de la laguna Churince en la fecha del segundo muestreo.....	37
Figura 15. Plano topográfico del área de estudio.....	40
Figura 16. Plano de isobatas realizado con datos de 26 de mayo del 2013.....	41
Figura 17. Plano de isobatas con datos del 17 de octubre del 2013.....	42
Figura 18. Plano de conductividad hidráulica (K) del 17 octubre del 2013.....	43
Figura 19. Plano de isohypsas con datos del 26 de mayo del 2013.....	44
Figura 20. Plano de isohypsas con datos del 17 de octubre del 2013.....	45

Figura 21. Plano de la distribución de la CE del agua de cada pozo en el día 26 de mayo del 2013.....	46
Figura 22. Plano de la distribución de la CE del agua de cada pozo en el día 17 de octubre del 2013.	47
Figura 23. Plano del comportamiento del pH del agua subterránea en el día 26 de mayo del 2013.....	48
Figura 24. Plano de distribución del pH del agua en el día 17 de octubre 2013.	49
Figura 25. Plano de temperaturas del 26 de mayo del 2013.	50
Figura 26. Plano de temperaturas del 17 de octubre del 2013.	51
Figura 27. Plano de sólidos disueltos en el agua del 26 de mayo del 2013.....	52
Figura 28. Plano de sólidos disueltos en el agua del 17 de octubre del 2013. .	53

RESUMEN

México no es la excepción, entre la mayoría de los países que han perdido una porción de su biodiversidad, ya sea por causas naturales o antrópicas, debido a la falta de visión de largo plazo y de alternativas tecnológicas y productivas viables, dan como consecuencia una sobreexplotación de sus recursos naturales. Un ejemplo claro, es el sistema de posas de Churince en Cuatro Ciénegas Coahuila, que en el verano del 2006 la laguna grande llegó un nivel crítico y en octubre del 2011 se secó por completo, debido a la sobre explotación del acuífero.

Lo anterior, motiva a la realización de este trabajo, que esencialmente consiste en obtener datos de Nivel Freático, Temperatura del Agua, Conductividad Eléctrica, Potencial de Hidrogeno, Sólidos Disueltos, datos de tiempo contra recuperación de nivel freático, a lo largo del arroyo que suministra agua a la laguna Churince, por medio de una red de pozos de observación que se perforaron en el año 2012 por alumnos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Para posteriormente realizar planos de isolíneas del comportamiento freático (Isohypsas e Isobatas). Interpretando cada mapa y así, tratar de comprender el comportamiento del agua subterránea en el lugar.

Los cambios observados en el agua subterránea son: aumento del nivel freático, pH y temperatura del agua, disminución en la conductividad eléctrica y sólidos disueltos, a causa de la recarga del acuífero por medio de varios eventos de precipitación entre el 26 de mayo y 17 de octubre que en total suman 120.5 mm. Por otra parte se observó que el flujo del agua subterránea es similar a la superficial y no cambia con la recarga del acuífero y aumento de nivel piezométrico.

I. INTRODUCCIÓN

México no es la excepción de entre la mayoría de los países que han perdido una porción de su biodiversidad y recursos naturales, debido a procesos socioeconómicos que han dejado huellas de deterioro sobre el territorio nacional. Las condiciones de pobreza, falta de visión de largo plazo y de alternativas tecnológicas y productivas viables han ocasionado una sobreexplotación de los recursos naturales (PROFAUNA, 1999).

Maderey (1967) menciona que el aprovechamiento del agua subterránea en México data de los tiempos precoloniales, en los que cenotes o pozos naturales permitieron el desarrollo de las civilizaciones en la zona de Yucatán, mientras que en el valle de México, los manantiales de la región permitieron el florecimiento de diversas culturas, entre ellas la grandiosa cultura Azteca.

El agua subterránea en las zonas áridas y semiáridas es la principal fuente de suministro para las actividades humanas, debido al agotamiento o no existencia de fuentes superficiales. Su explotación se ha venido incrementando en el mundo desde tiempos atrás por la alta demanda, ya que su consumo sigue creciendo por el aumento de población, nuevas áreas de riego y zonas industriales, creando nuevos proyectos de extracción a grandes profundidades con nuevas tecnologías de perforación. Tomando en cuenta que la recarga de dichos acuíferos es limitada por precipitaciones y cuerpos de agua superficiales. El monitoreo es de vital importancia para poder comprender el comportamiento del agua subterránea y tratar de tener un equilibrio, evitando su abatimiento o descenso.

PROFAUNA (1999) menciona que el sistema hidrológico superficial del valle de Cuatrociénegas, formaba una cuenca cerrada que se mantuvo aislada hasta que fue conectada, por medio de canales artificiales, con los municipios de Lamadrid y Sacramento ubicados al oriente. Como resultado del dragado de canales y exportación del agua fuera del valle y dentro del mismo, se provocaron serios disturbios, como la disminución de las áreas inundadas y cambios en los niveles de agua en muchas de las pozas. Los cambios en las poblaciones de los organismos que viven en los ambientes acuáticos, no han sido cuantificados, por lo que se desconoce el nivel de pérdida. El total de agua drenada por medio de canales artificiales, cuantificada en los puntos de salida del valle o en el destino final del mismo, se estima entre 1,730 y 2,620 l s^{-1} , sin cuantificar las pérdidas durante el trayecto. Por otra parte, Rodríguez (2007) describe que el descenso en las pozas en la Reserva Ecológica del valle de Cuatro Ciénegas se empezó a notar con la aparición de distintas explotaciones agropecuarias que se asentaron en lo que es el Valle El Hundido, al ser incorporados a los sistemas de riego 72 pozos sometiendo al acuífero a un régimen interno de explotación, lo que provocó que en 5 años se mostraran los efectos en algunos pozos como son: Chiqueros, San Marcos Atalaya, Churince y Los Caballos, entre otros.

I.I Objetivos

El objetivo principal es evaluar la situación actual del agua subterránea en el Sistema Churince, Cuatro Ciénegas, Coahuila. Mediante las siguientes actividades: medición del nivel freático, cálculo de la conductividad hidráulica en diferentes puntos del acuífero, medición de parámetros de calidad de agua como la Temperatura, Conductividad Eléctrica, Potencial de Hidrogeno y Sólidos Disueltos.

Palabras clave: agua subterránea, flujo del agua subterránea de Churince, características e infraestructura hidráulica de Cuatro Ciénegas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Hidrología subterránea

Vélez (1999) define a la hidrología subterránea como aquella parte de la hidrogeología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución del agua terrestre en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

2.2 Origen del agua subterránea

2.2.1 Clasificación descrita por Custodio y Llamas (1976)

Casi toda el agua subterránea es **agua meteórica** proveniente de la precipitación. En algunos sitios se encuentra **agua de formación** presente en la roca durante su formación o deposición, y generalmente de alto contenido salino. En menores cantidades existe también la llamada **agua juvenil**, formada químicamente dentro del subsuelo y traída a la superficie por rocas intrusivas. Tanto el agua de formación como el agua juvenil con frecuencia son la fuente de minerales indeseables en el agua subterránea.

2.2.2 Clasificación descrita por Vélez (1999)

- ◆ **Aguas vadasas o meteóricas** son las originadas en el ciclo hidrológico del agua.
- ◆ **Precipitaciones ocultas** son aguas que provienen de la condensación del vapor de agua atmosférico en los poros del suelo.

- ◆ **Aguas juveniles** son aquellas de origen profundo, como es el caso de un magma granítico que al enfriarse expulsa un pequeño volumen de agua. Estas aguas provienen del interior de la tierra y nunca han estado en contacto con la superficie.
- ◆ **Aguas fósiles** son aguas vadasas atrapadas en el terreno y que permanecen en él durante miles de años.
- ◆ **Aguas geotermales** son aguas vadasas que siguen un camino complicado, calentándose en las zonas profundas y volviendo a subir a la superficie.
- ◆ **Aguas marinas** son las aguas del mar que han invadido recientemente los sedimentos costeros.

2.3 Movimientos del agua en el suelo

Paulus (1977) menciona que la infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra, diferente de la percolación, que es el movimiento del agua a través del suelo. Estos dos fenómenos son producidos por la gravedad.

2.4 Distribución vertical del agua subterránea

La distribución vertical del agua subterránea se divide en dos principales zonas de acuerdo a Custodio y Llamas (1976) (Figura 1).

- A. **zona de saturación:** se encuentra limitada por la superficie freática en la que el agua llena completamente todos los huecos existentes entre los materiales del suelo.
- B. **Zona de aireación o zona vadosa:** situada entre la superficie freática y la superficie del terreno tiene una pequeña porción saturada de agua permanente y otras en las que ocasionalmente puede producirse saturación, pero transcurrido un tiempo estas últimas dejan de estar saturadas al perder el agua gravífica por esta razón se conoce también esta zona con el nombre de zona no saturada. En ella a su vez se distinguen tres subzonas:

- **Subzona sometida a evapotranspiración:** comprendida entre la superficie del terreno y los extremos radiculares de la vegetación. El agua capilar aislada o suspendida, de esta zona es la que emplean las plantas para sus funciones.
- **Subzona intermedia:** sus características son totalmente similares a la zona anterior y está situada por debajo de ella. Contiene agua de retención y agua capilar aislada.
- **Subzona capilar:** es la de transición a la zona saturada y alcanza una altura sobre la superficie freática que depende de las fuerzas capilares.

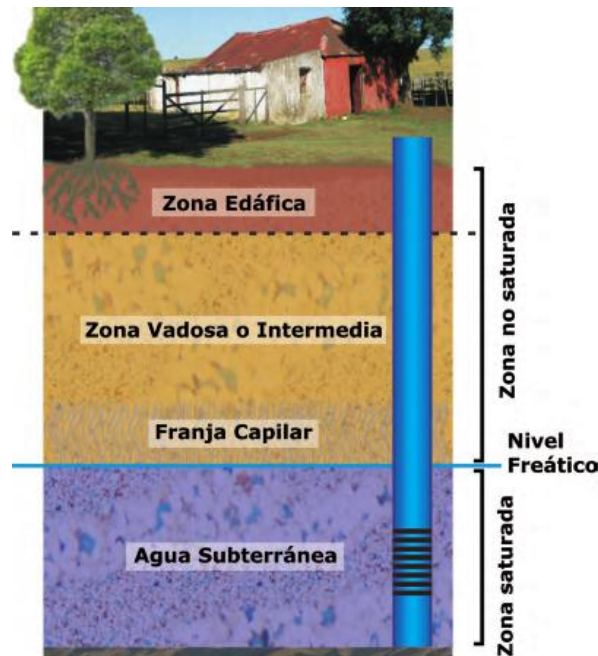


Figura 1. Distribución vertical del agua subterránea

2.5 Acuífero

Una formación geológica que contiene agua y que la transmite de un punto a otro en cantidades suficientes para permitir su desarrollo económico, recibe el nombre de acuífero (Paulus, 1977).

Collazo y Montaña (2012) denominan acuífero a todo aquel estrato o formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a

través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación. No todas las formaciones geológicas tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua, encontrándose formaciones que pudiendo contener agua no la transmiten en condiciones naturales y por lo tanto no es posible extraerla, son llamados acuícludos, otras formaciones no son capaces de almacenar ni transmitir el agua subterránea, son impermeables y a estas se las llama acuífugos y por último se encuentran los acuitardos, que son formaciones semipermeables, que transmiten el agua muy lentamente y que resulta muy difícil su extracción mediante obras de captación, pero que son importantes para la recarga de acuíferos subyacentes, debido a la posible filtración vertical o drenaje.

2.6 Tipos de acuíferos

2.6.1 Clasificación por la presión hidrostática

Custodio y Llamas (1976) clasifican los acuíferos de acuerdo con la presión hidrostática del agua almacenada en los mismos de la siguiente manera (Figura 2):

- **Acuíferos libres no confinados o freáticos:** son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua confinada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica. En estos, al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente la superficie obtenida por los niveles del agua de cada pozo forma una superficie real (superficie freática).
- **Acuíferos cautivos, confinados o a presión:** en estos acuíferos el agua está sometida a una presión superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. Por ello, durante la perforación de pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo del mismo se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición.

2.6.2 Clasificación en función del tipo de porosidad

Collazo y Montaña (2012) mencionan tres tipos de acuíferos de acuerdo a su porosidad (porosos, fracturados y kársticos) como se observa en la Figura 3.

- **Acuíferos de porosidad primaria, porosos o sedimentarios:** constituidos por formaciones geológicas sedimentarias. Los materiales suelen ser gravas y principalmente arenas, que varían en su composición y tamaño en función de su origen geológico. Estos materiales pueden estar sueltos o no consolidados (generalmente son formaciones recientes, de edad cuaternaria).
- **Acuíferos de porosidad secundaria, fisurados o fracturados:** formados por rocas duras de origen ígneo o metamórfico. La porosidad en estos acuíferos viene dada por la presencia de zonas de alteración, fracturas, fallas o diaclasas, única forma que tiene el agua de almacenarse y de circular. Hay que tener en cuenta que para que el agua pueda circular, estas fracturas tienen que estar abiertas y comunicadas.
- **Acuíferos por disolución, químicos o kársticos:** compuestos por rocas de origen carbonático (calizas, margas, dolomías), se desarrollan en forma secundaria por disolución del carbonato. El agua en estos acuíferos circula por entre los huecos con una velocidad mayor que en los acuíferos porosos o fracturados.



Figura 3. Clasificación de los acuíferos en función del tipo de porosidad.

2.7 Propiedades físicas de los acuíferos

2.7.1 Porosidad y porosidad efectiva

La porosidad de un acuífero es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen del acuífero como lo describe Serieys (2004). La porosidad depende de la forma y colocación de las partículas, la granulometría y grado de compactación. La porosidad es una medida de la cantidad de agua que un acuífero puede almacenar, pero no tiene en cuenta la atracción molecular entre la superficie del sólido y el fluido adyacente. Es decir que no representa el agua que se puede extraer del acuífero, la cual es denominada porosidad efectiva, que es el volumen de agua liberado por un acuífero mediante la gravedad entre el volumen total de acuerdo a como lo describe Collazo y Montaña (2012).

2.7.2 Permeabilidad o conductividad hidráulica (K)

Se refiere a la facilidad que tiene un acuífero en dejar pasar el agua a través de él, y depende de las características del medio, porosidad, tamaño, forma y arreglo de las partículas, compactación y de la viscosidad del fluido. Es por lo tanto el principal parámetro que caracteriza las propiedades hídricas de

los materiales y el que registra mayor variación en función del material. Se mide en distancia sobre tiempo (Collazo y Montaña, 2012).

2.7.3 Transmisibilidad (T)

El coeficiente de transmisibilidad como lo menciona Serieys (2004), es la razón de flujo en metros cúbicos por día a través de una sección transversal vertical del acuífero, cuya altura es igual a su espesor y cuyo ancho es de un metro.

$$T = K \cdot B$$

Dónde:

- ◆ K: conductividad hidráulica del acuífero
- ◆ B: espesor del acuífero

2.7.4 Coeficiente de almacenamiento (S)

Se define como el volumen de agua, por unidad de superficie del acuífero, que se extrae o almacena en él al producirse un cambio unitario de potencial. De esta definición se deduce que el coeficiente de almacenamiento es adimensional. En los acuíferos confinados el coeficiente de almacenamiento oscila entre 10^{-5} y 10^{-3} . Mientras, en los acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento oscila entre 0.1 y 0.3 (Reyna, 2010).

2.8 Método del agujero de barrena para calcular (K)

El método del agujero de barrena (Beers, 1983) (The auger hole method) fue originado por Diserens en 1934. Es un método, sencillo y fiable para medir la conductividad hidráulica del suelo por debajo del nivel freático a una pequeña distancia (unos decímetros) por debajo de la parte inferior del orificio. Se utiliza sobre todo en relación con el diseño de sistemas de drenaje en las tierras anegadas y en las investigaciones de infiltración de canales.

El principio general es muy simple, consiste en un agujero perforado en el suelo a cierta profundidad por debajo del nivel freático. Cuando se alcanza el equilibrio con el agua subterránea circundante, se extrae una parte del agua del

pozo. El agua se filtra en el agujero de nuevo, y la velocidad a la que el agua se eleva en el agujero se mide y se calcula luego por una fórmula adecuada la conductividad hidráulica (K) para el suelo, como se observa en la Figura 4. Todo esto tiene que ser hecho con la perturbación mínima del suelo.

$$\text{Si } S \geq \frac{1}{2} H \quad K = \frac{4000 * r * \Delta Y}{\left(\frac{H}{r} + 20\right) \left(2 - \frac{Y}{H}\right) * Y * \Delta t} \quad \text{Si } S=0 \quad K = \frac{3600 r^2 * \Delta Y}{(H + 10r) \left(2 - \frac{Y}{H}\right) Y * \Delta t}$$

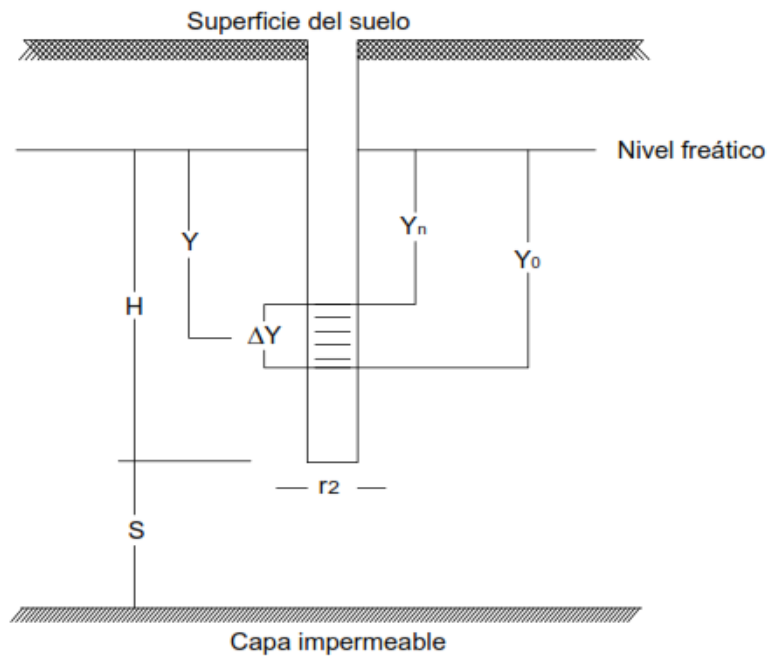


Figura 4. Método del agujero de barrena.

- H = profundidad del agujero por debajo del nivel freático.
- Y_0 = distancia entre el nivel de las aguas subterráneas y la elevación de la superficie del agua en el agujero después de la eliminación del agua en el momento de la primera lectura.
- Y_n = distancia entre el nivel del agua subterránea y la elevación de la superficie del agua en el agujero después de la eliminación del agua en el momento de la última lectura.
- $\Delta Y = Y_n - Y_0$ la subida del nivel del agua en el pozo durante el momento de la medición.

- $Y = (Y_n - Y_0)/2 = Y_0 - 1/2 H$ distancia entre el nivel de las aguas subterráneas y el nivel medio del agua en el orificio durante el momento de la medición.
- r = radio del agujero.
- S = profundidad de la capa impermeable por debajo de la parte inferior del orificio.
- K = conductividad hidráulica.
- Δt = intervalo de tiempo desde la primera medición hasta la última.

El uso de este método se limita a las zonas con alto nivel de las aguas subterráneas y para suelos donde una cavidad de forma conocida se puede mantener durante todo el ensayo. Por lo tanto en ciertos suelos arenosos es necesario utilizar un tubo perforado como ademe. La profundidad requerida de los orificios depende de la naturaleza, espesor y la secuencia de capas de suelo en el área de investigación y de la profundidad a la que se requiere determinar la conductividad hidráulica.

La eliminación del agua del orificio puede comenzar cuando se alcanza el equilibrio con el agua subterránea que rodea. Las observaciones se hacen ya sea con un intervalo de tiempo constante, con intervalos fijos para la subida del agua o con intervalos irregulares de los dos. Dependiendo del equipo disponible.

Se debe tener cuidado para asegurarse de que no más de aproximadamente 25 por ciento del agua retirada del agujero haya fluido devuelta al final de las mediciones. En pocas palabras las mediciones deben ser completadas antes de $Y_n < 3/4 Y_0$ o, lo que es más fácil de calcular, antes de $\Delta Y > 1/4 Y_0$ (ver Figura 4). En esta fórmula K se expresa en m/día. Todas las demás cantidades están en centímetros o en segundos.

2.9 Características fisicoquímicas del agua subterránea

2.9.1 Temperatura

La temperatura del agua subterránea es poco variable y responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar. En profundidad depende del gradiente geotérmico, que aumenta 1 grado cada 30 m de profundidad (Collazo y Montaña, 2012).

2.9.2 Conductividad eléctrica

Según Alcántar y colaboradores (1992) la conductividad eléctrica es la facilidad con que una solución conduce o lleva corriente eléctrica entre dos polos expresando la concentración total de sales disueltas en el agua y es muy útil para fines de diagnóstico de clasificación de aguas de riego. La mayor parte de las aguas utilizadas para riego, presentan valores de conductividad eléctrica (CE) menores de 2.25 mS cm^{-1} como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de agua de riego por su conductividad eléctrica (CE)

Clasificación	$\mu\text{S/cm}$ ($\mu\text{mhos/cm}$)
C1. Agua baja en sales	<250
C2. Agua media en sale	250 – 750
C3. Agua alta en sales	750 – 2250
C4. Agua muy alta en sales	>2250

2.9.3 pH

El pH es la concentración de iones de hidrógeno de una solución expresada como logaritmo negativo. Es una medida de la acidez y basicidad o alcalinidad del agua, lo cual permite tener una idea de los iones predominantes de esta. La concentración de iones H^+ e iones OH^- varía de acuerdo a la escala convencional de pH de 0 - 14 como se observa en la Figura 5. Esta concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de agua y su magnitud puede determinarse mediante un potenciómetro y electrodos o colorimétricamente con indicadores (Alcántar, *et al.*, 1992).

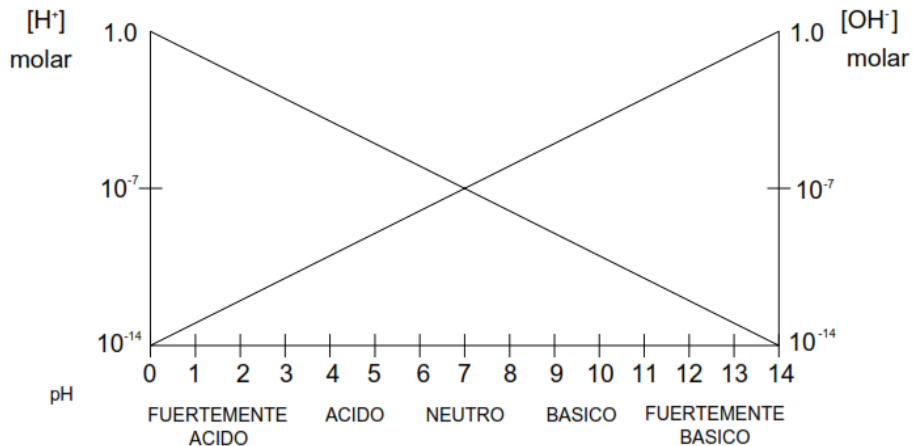


Figura 5. Escala de pH y su interpretación.

2.10 Nivel freático

El Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de Chile (2004) define al nivel freático como la cota o nivel de saturación del agua de un acuífero libre medido desde la superficie del suelo. Es el límite superior del agua subterránea, en la cual el agua se encuentra a una presión atmosférica.

2.11 Nivel piezométrico

Para el caso de acuíferos libres coincide con el nivel freático de acuerdo al Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de Chile (2004) y en el caso de acuíferos confinados corresponde al nivel al que se eleva el agua al interior de una captación por efecto de la presión del agua al interior del acuífero.

2.12 Superficie freática

De acuerdo con Custodio y Llamas (1976), la superficie freática se define como el lugar geométrico de puntos de agua que soportan una presión igual a la atmosférica y define el límite de saturación de un acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica correspondiente a los puntos situados en el límite de saturación.

2.13 Tipos de superficies freáticas

Clasificadas por la separación de las isopiezas y su concavidad o la disposición relativa de las líneas de corriente (Custodio y Llamas, 1976).

- *Superficie cilíndrica*: las isopiezas son rectas paralelas.
- *Superficie radial*: las isopiezas son curvas y las líneas de corriente tienden a converger.
- *Superficie plana*: la separación entre isopiezas constante.
- *Superficie parabólica*: la separación entre isopiezas disminuye hacia aguas abajo.
- *Superficie hiperbólica*: la separación entre isopiezas aumenta hacia aguas abajo.
- *Superficie elíptica*: la separación entre isopiezas aumenta tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo a partir de una de ellas.

Las superficies reales pueden ser simples, mixtas o complejas si participan varios tipos (Figura 6).

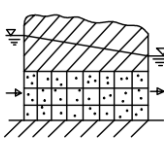
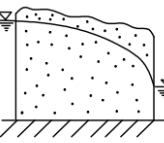
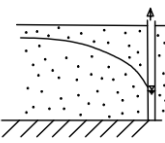
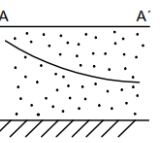
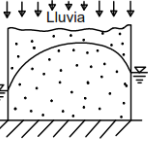
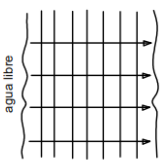
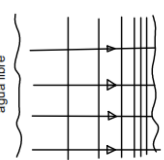
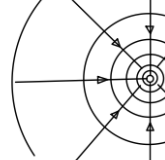
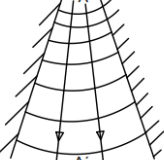
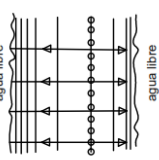
Tipo	Cilíndrica plana	Parabólica cilíndrica	Parabólica radial convergente	Hiperbólica radial divergente	Elíptica cilíndrica
Perfil según el flujo					
Isopiezas					

Figura 6. Ejemplos de superficies freáticas.

2.14 Recarga de acuíferos

2.14.1 Recarga Natural

Las precipitaciones reabastecen los acuíferos por infiltración y percolación, dependiendo de la topografía del terreno, cobertura vegetal, temperatura y de la permeabilidad del suelo. La percolación e infiltración pueden ocurrir también de los ríos, embalses, lagunas, o de flujos subterráneos provenientes de cuencas adyacentes. El proceso de recarga natural es generalmente lento y su velocidad depende de la conductividad hidráulica de las formaciones geológicas en las cuales fluye el líquido (Serieys, 2004).

2.14.2 Recarga Artificial

Serieys (2004) define la recarga artificial, como el proceso de abastecer de agua a un acuífero mediante obras hechas con ese propósito y consiste básicamente en obtener agua de una fuente cercana, transportarla hasta el sitio de recarga, inyectarla con el método más adecuado y monitorear el nivel piezométrico y la calidad del agua mediante pozos de monitoreo. La recarga artificial permite disminuir el descenso de los niveles freáticos de una zona con balance hídrico negativo.

Algunos métodos pueden ser:

- Inundaciones que consiste en esparcir agua sobre la superficie del terreno para que se infiltre lentamente.
- La creación de redes de canales en los cuales circule agua de alguna fuente cercana con velocidades pequeñas para evitar la erosión y facilite la infiltración.
- La recarga también se puede realizar por medio de estanques escavados, espaciados entre sí pero interconectados para obtener una mayor área de infiltración.

- La modificación del lecho de un río también permite la recarga del acuífero mediante el taponamiento de la corriente de agua con el fin de aumentar el área de infiltración.
- Utilización de aperturas naturales (fracturas geológicas o cavernas), como tuberías para recargar, de tal manera que conduzcan el agua hasta la formación de interés.
- Inundación en áreas con hoyos excavados que atraviesan el estrato confinante para el caso de acuíferos confinados.

2.15 Variación de almacenamiento en los acuíferos

El nivel de las aguas subterráneas varía con el tiempo y de forma muy diversa (Custodio y Llamas, 1976), debido a que la recarga de los acuíferos se produce de forma discontinua, con mayor intensidad en unas épocas que otras y de forma variable, al no ser todos los años iguales desde el punto de vista hidráulico. Unas veces debidas a causas directas que suponen un cambio en el almacenamiento subterráneo tales como:

- Sucesión de épocas secas y épocas húmedas.
- Variación de niveles en ríos y lagos conectados directamente con el acuífero.
- Extracción de agua por bombeo o recarga por inyección.

En general se trata de variaciones pequeñas en acuíferos no explotados, pero pueden ser muy resaltantes en acuíferos con núcleos de bombeo importantes. La sucesión de varios años secos o húmedos pueden dar la impresión de que los niveles piezométricos tienen una tendencia a subir o a bajar; en ocasiones esta tendencia desaparecerá si se tuviese un registro de niveles de 30 o más años (Custodio y Llamas, 1976).

2.16 Medición de los niveles piezométricos

La única forma disponible para medir los niveles piezométricos en un acuífero, es mediante una perforación que permita un acceso directo al mismo.

Las perforaciones para medir los niveles piezométricos son los pozos existentes en la zona, excavaciones hasta el nivel del agua y los piezómetros que son a modo de pozos, pero de pequeño diámetro, realizados especialmente con este objetivo. Se deben de aprovechar los accesos al acuífero ya existentes y que sean suficientemente representativos como pozos, galerías, zonas pantanosas, fuentes, ríos conectados al acuífero, entre otros. Los pozos y galerías en producción provocan afectaciones a los niveles piezométricos y dan valores dinámicos que varían según el régimen de explotación (Custodio y Llamas, 1976). Richards (1994) menciona que los pozos de observación generalmente se instalan a una profundidad suficiente para alcanzar la profundidad mínima que adquiera la capa freática. Para medir la profundidad de la capa freática, se puede utilizar un pozo de barrena sin ademar, cuando los suelos son arenosos, y se derrumban, o cuando se desea un pozo permanente, se puede perforar y ademar con un tubo ranurado.

En pozos y piezómetros, el nivel del agua se mide en general con una cinta métrica y un dispositivo para delatar el nivel del agua. La profundidad del nivel piezométrico se mide desde una determinada referencia y es preciso conocer la cota de la referencia respecto a un cierto punto fijo, tal como el nivel del mar. Ello supone una nivelación topográfica de las distintas referencias. Con los datos de nivel piezométrico obtenidos de una serie de puntos, se deben trazar las curvas de nivel freático (isohypsas), que definirán la superficie piezométrica, a partir de estas curvas se pueden trazar las líneas de corriente (red de flujo), que son trazadas ortogonalmente a las isopiezas (Custodio y Llamas, 1976).

2.17 Mapas de superficies freáticas (isohypsas)

Richards (1994) describe como isohypsas a los planos de superficies freáticas. Utilizando datos de las elevaciones freáticas respecto a un mismo punto de referencia que puede ser el nivel del mar (Cota del Nivel Freático, CNF), se trazan curvas o líneas uniendo puntos cuyo nivel freático tiene la misma elevación. Cuando hay cambios fuertes de pendientes, se requiere

mayor número de puntos de muestreo para trazar dichas líneas e inversamente. Los planos sirven para determinar el movimiento horizontal del agua subterránea a través de los recorridos de las líneas de corriente, sus posibles fuentes de alimentación o sumideros. Dicho movimiento se efectúa por la gravedad y perpendicular a las curvas isohypsas.

2.18 Mapas de niveles freáticos a igual profundidad (isobatas)

En un plano a escala del área de trabajo, se localizan los puntos donde fueron barrenados los pozos de observación y en cada uno de ellos se colocan las profundidades de los niveles freáticos desde la superficie del suelo, para trazar líneas o curvas uniendo puntos de profundidades freáticas iguales, llamadas isobatas. Estos mapas muestran la jerarquización de las áreas con nivel freático elevado, indicando las áreas en las cuales puede ser necesario drenaje artificial si se deseara bajar el nivel freático para realizar diferentes actividades (Richards, 1994).

2.19 Interpretación de las superficies piezométricas

De acuerdo con Custodio y Llamas (1976), el estudio de las superficies piezométricas permite obtener datos básicos sobre el movimiento y comportamiento del agua subterránea. La superficie piezométrica representa la situación en un instante determinado, y puede variar de una época a otra variando su almacenamiento de agua.

- Cuando la superficie topográfica es cortada por la superficie piezométrica de acuíferos libres, se producen fuentes o manantiales, o se descarga agua a un río o a otro cuerpo de agua.
- En zonas con recarga abundante y baja transmisibilidad (baja permeabilidad y/o escaso espesor de la zona permeable) la superficie freática es parecida a la superficie topográfica. Mientras que en zonas con menor recarga y materiales suficientemente permeables hasta gran profundidad, la superficie freática es muy tendida o plana (Figura 7).

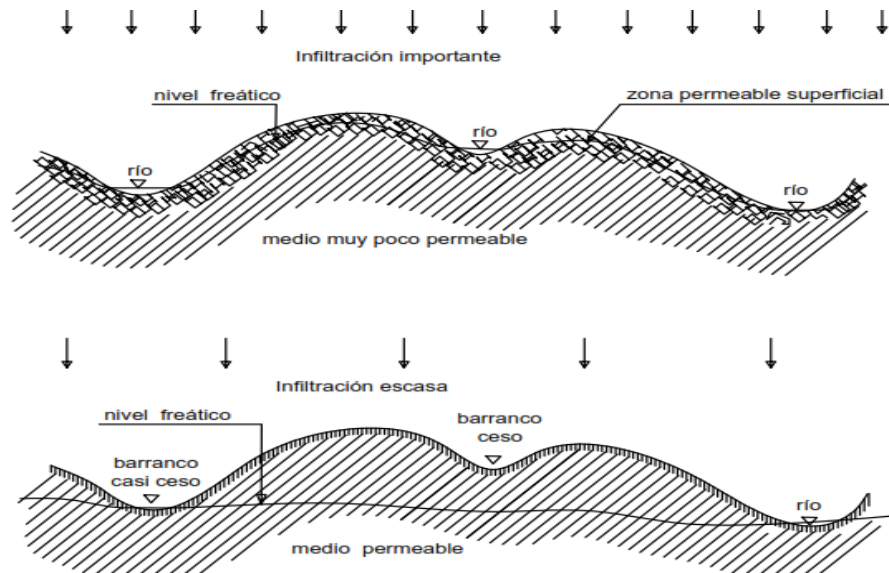


Figura 7. Diferentes formas de relación de la superficie freática con la topografía.

- Cuando el flujo se dirige hacia una línea, en general debe interpretarse como un drenaje a lo largo de la misma (río efluente, canal efluente, galería, zona de fractura permeable, entre otros.) e inversamente cuando estas se alejan de la misma significa una fuente de recarga (Figura 8).

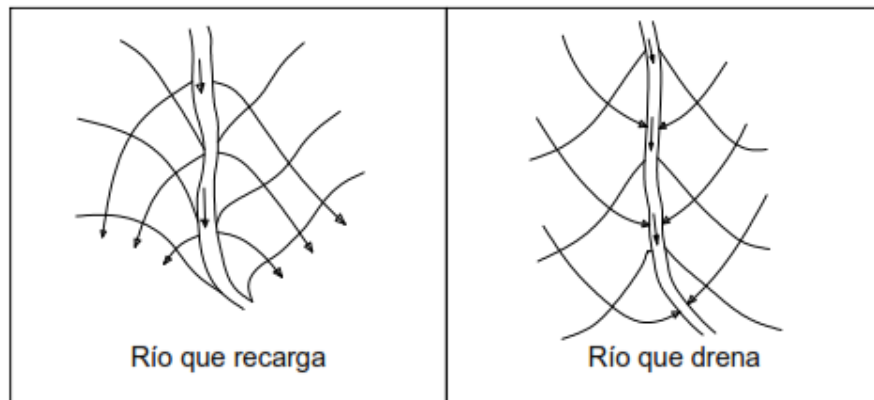


Figura 8. Formas de las isopiezas y líneas de corriente en ríos conectados al acuífero de diferente forma ya sea recargando o drenando.

- La presencia de curvas cerradas indican áreas de recarga o descarga localizadas, pero no necesariamente las zonas de descarga o recarga dan origen a curvas cerradas.

- En las proximidades de los ríos y masas de agua que cambian de nivel con rapidez se tienen efectos dinámicos, en los planos de isopiezas pueden aparecer como depresiones o crestas paralelas a las orillas en las proximidades de las mismas. Estas formas son rápidamente cambiables y en general no aparecen igual en mapas de diferentes épocas.
- La observación de superficies piezométricas puede señalar ciertas estructuras geológicas (Figura 9) que supongan un cambio notable de permeabilidad. Tales como fallas, zonas de fallas y diques que actúen como una barrera poco permeable o como una zona de alta permeabilidad.

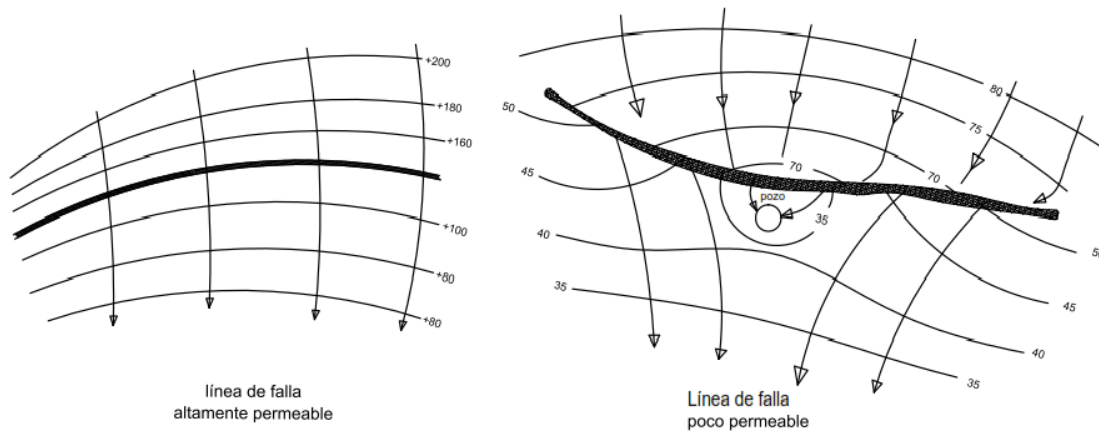


Figura 9. Esquemas del efecto de las fallas geológicas en las superficies freáticas.

En todas estas interpretaciones es esencial que la superficie piezométrica este bien dibujada a partir de un número suficiente de datos, y que se tenga cierta base geológica para la interpretación.

2.20 Estudios previos

2.20.1 Estudio hidrogeológico de los acuíferos El Hundido y Cuatro Ciénegas. Coahuila. (IMTA, 2005)

El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento hidrodinámico del acuífero El Hundido y su conexión con el acuífero de Cuatrociénegas, Coahuila.

Los trabajos de campo incluyeron el censo de aprovechamientos de agua subterránea, 9 pruebas de infiltración y 1 prueba de bombeo en ambos valles para caracterizar los materiales geológicos, hidrometría de los aprovechamientos para conocer los volúmenes de agua subterránea que se extraen, nivelación de los brocales de 40 aprovechamientos distribuidos en ambos valles, dos perforaciones exploratorias a 200 y 250 m de profundidad en la Sierra La Fragua.

Algunos resultados y conclusiones fueron los siguientes:

- Los niveles piezómetros en la red de observación muestran que es imposible que haya un flujo subterráneo de Cuatrociénegas a El Hundido.
- El contenido de sales disueltas en El Hundido es mayor que en Cuatrociénegas. Por lo tanto, que las aguas de Cuatrociénegas no pueden ser recargadas por El Hundido.
- Las pruebas de carbono-14 demuestran que las aguas de El Hundido son más antiguas que las de Cuatrociénegas. Debido a que no existen fuentes subterráneas de radiocarbono, es imposible que haya un flujo subterráneo de El Hundido a Cuatrociénegas, ya que esto implicaría un rejuvenecimiento de las aguas.

2.20.2 Estudio Bacteriológico y conexión entre los valles El Hundido, Calaveras y Cuatrociénegas

La revista Ciencia y Desarrollo (2004), describe el trabajo de Valeria Suoza que inicio en el año 2000 cuando la NASA se interesó en Cuatro Ciénegas, bajo hipótesis de que su agua podría ser un símil de la encontrada en Marte, e invito a la doctora Valeria Suoza. Durante 3 años y medio trabajó en el diseño de una metodología apropiada para el estudio del lugar y finalmente, presentó un informe al inicio de 2004.

En octubre de 2001, Valeria Suoza recogió muestras de ADN ambiental, acompañada de su equipo de la UNAM, el de la Universidad de Arizona y el grupo de espeleólogos italianos denominado La Veta, quienes filtraron grandes volúmenes de agua y rompieron las células para extraerles ADN. Durante el proyecto "Identificación de genes marcadores de la patogénesis en eteropatógenos por medio de microarreglo", se encontró que los tres valles (El Hundido, Calaveras y Cuatrociénegas) comparten el agua y comparten la misma temperatura.

2.20.3 Estudio de impacto ambiental sobre la reserva ecológica del valle de Cuatro Ciénegas Coahuila ante la apertura del proyecto agropecuario del valle del Hundido. Proyecto SEMARNAT CONACYT clave CO1-0083.

El objetivo principal de este trabajo fue determinar el comportamiento hidráulico del acuífero del Hundido y su conexión con el valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila. A partir del análisis de la información geológica, geohidrológica, geoquímica, isotópica, métodos geofísicos, hidrología subterránea, hidráulica de pozos y la aplicación del Método DRASTIC. A partir del modelo estructural de cabalgamientos se concluyó que la Sierra La Fragua se sobrepone a cabalgamientos frontales, con la Sierra San Marcos; las escamas de despliegue como los contactos entre las formaciones, producen

comunicación entre los valles del Hundido y de Cuatrociénegas (Rodríguez, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características del área de trabajo

Cuatrociénegas se encuentra en la región del desierto Chihuahuense, el cual se encuentra localizado entre los dos macizos montañosos más grandes de México, al este la Sierra Madre Oriental y al oeste la Sierra Madre Occidental. La humedad que viene tanto del Golfo de México como del Pacífico es bloqueada por ambas montañas, fenómeno que dio origen al desarrollo de este desierto. El valle de Cuatrociénegas es considerado el humedal más importante dentro del Desierto Chihuahuense y uno de los humedales más importantes en México. A nivel internacional se lo considera como un humedal prioritario en el mundo. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) lo incluye entre los sitios prioritarios para la conservación. En este valle subsisten una gran cantidad de especies endémicas. Por ello, el valle fue declarado como Área Natural Protegida en la categoría de protección de flora y fauna en 1994 (PROFAUNA, 1999).

Concentrarte (2013) describe al ecosistema acuático de Cuatrociénegas como un verdadero oasis, con más de 400 cuerpos de agua los cuales varían en color, profundidad, salinidad y temperatura. Este ecosistema es único en el mundo. Tanto en las pozas como en el desierto, hay una gran concentración de biodiversidad que se debe a que aquí se mezclan los ecosistemas del desierto y el humedal, en los cuales se encuentran más de 70 especies endémicas.

CONAGUA (2009) menciona que la laguna de Churince, es una depresión topográfica natural con dimensiones aproximadas de 1 kilómetro de largo, medio kilómetro de ancho y profundidad menor que 1 m. Es alimentada por la descarga de la “poza” del mismo nombre, por el escurrimiento superficial del área adyacente y por el acuífero de la porción occidental de Cuatrociénegas,

que tiene su descarga natural en esta depresión topográfica; el caudal de estas alimentaciones varía estacional y anualmente en respuesta a las variaciones de la lluvia. La laguna se encoge en los intervalos en que la cantidad de agua evaporada en ella es mayor que la alimentación que recibe, y se expande en caso contrario. Así, en los años 2003 y 2004 la laguna se extendió porque la lluvia fue relativamente abundante; en cambio, en el año 2005 su extensión se redujo porque fue excepcionalmente seco.

3.1.1 Suelo

El valle de Cuatrociénegas se encuentra constituido por suelos de tipo aluvial, que son el resultado del acarreo y acumulación de materiales hacia las partes más bajas. Algunos de ellos son de los tipos salino y yesoso, siendo el producto de la evaporación provocada por las altas temperaturas. Las características químicas de los suelos salinos están determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes; de esta manera en el valle los suelos se agrupan en tres tipos: suelos salinos, sódicos salinos y sódicos no salinos. Por su origen, los suelos en su mayoría presentan gran cantidad de sales disueltas del tipo carbonatos, sulfatos y yesos. Estas sales además del suelo, se encuentran en solución en las pozas de la región y en forma de sales cíclicas que son transportadas por el viento. En consecuencia, el gran contenido de sales disueltas en estos suelos, presenta una limitante muy fuerte para el establecimiento de la agricultura en la región (PROFAUNA, 1999).

3.1.2 Climatología

CONAGUA (2009) clasifica el clima de la región como semiárido por su grado de humedad, cálido por su temperatura y con lluvias en verano. La lluvia media anual de la zona de Cuatrociénegas es de 214.2 milímetros, con fuertes fluctuaciones de un año a otro: ciclos secos se alternan con ciclos lluviosos. La lluvia media anual varía en el área entre 180 milímetros en sus porciones sur y occidental, y 340 milímetros en su borde oriental. En general, la lluvia sobre las sierras es más cuantiosa que sobre los valles. La temperatura media anual en

Cuatrociénegas es de 21.4 grados Celsius. Debido a las elevadas temperaturas y a la escasa humedad ambiental, la evaporación potencial anual es mayor que 2000 milímetros.

3.1.3 Hidrología de Cuatrociénegas

Cuatrociénegas pertenece a la región hidrológica Bravo – Chonchos, dentro de la cuenca Presa Falcón – Río Salado, correspondiente a la subcuenca Río Salado - Nadadores. El valle formaba una cuenca cerrada, y es en 1887 cuando se explota por primera vez agua del valle con propósitos agrícolas, la canalización de algunos de los manantiales de mayor producción de agua han disminuido las áreas pantanosas (PROFAUNA, 1999).

La Comisión Nacional del Agua a través del diario de la federación publicado el 31 de enero de 2003, da a conocer los límites del acuífero 0528 denominado Cuatrociénegas, con una extensión superficial de unos 1389 km² y los límites se describen en el cuadro 2 (CONAGUA, 2009).

Cuadro 2. Límites del acuífero 0528 Cuatrociénegas

Vértice	Longitud	Latitud	Vértice	Longitud	Latitud
1	101°58'38.6"	26°38'3.5"	17	101°56'56.8"	27°6'34.5"
2	102°1'29.3"	26°33'23.4"	18	101°51'40.4"	27°6'56.8"
3	102°3'0"	26°34'14.9"	19	101°52'40.5"	27°4'38.1"
4	102°6'43.6"	26°35'17.4"	20	101°44'45.4"	26°51'25.1"
5	102°10'26"	26°39'21.3"	21	101°45'30.9"	26°49'45.9"
6	102°31'18"	26°46'35.3"	22	101°48'13.4"	26°47'47.5"
7	102°29'49.9"	26°48'45"	23	101°48'19.9"	26°42'46.4"
8	102°31'39.5"	26°50'50.8"	24	101°41'30.6"	26°33'34.3"
9	102°31'9.7"	26°58'40.6"	25	101°33'5.8"	26°29'21.5"
10	102°26'33.9"	27°1'35.2"	26	101°29'20.9"	26°26'3.0"
11	102°20'13.6"	27°1'24.8"	27	101°35'34.0"	26°27'0.8"
12	102°9'59.2"	26°59'22.2"	28	101°41'43.6"	26°24'16.0"
13	102°6'3.2"	27°0'0.9"	29	101°46'15.2"	26°26'16.6"
14	102°4'46.8"	27°1'38.8"	30	101°51'59.4"	26°30'38.1"
15	102°1'11.8"	27°2'33.3"	31	101°51'49.2"	26°32'56.0"
16	102°1'4.4"	27°5'57.7"			

El sistema acuífero de Cuatrociénegas como lo menciona Concentrarte (2013) se encuentra aislado del mar, ríos o cualquier otro cuerpo agua que lo recargue. En la actualidad la única fuente que suministra agua al valle son las precipitaciones escasas de la región. El agua producida por las lluvias escurre de las montañas a través de cañones o canales y al llegar al valle se infiltra rápidamente, ya que sus suelos actúan como esponja por estar constituidos por arenas y guijarros, con poca cobertura vegetal, de esta forma absorben el 40 por ciento del agua producida por las precipitaciones, minimizando la evaporación instantánea del agua por las altas temperaturas. La recarga natural del acuífero tiene lugar por la infiltración de la lluvia en los afloramientos de calizas acuíferas y de los escurrimientos superficiales a lo largo de los arroyos. La principal zona receptora de recarga es la Sierra de San Marcos y Pinos (CONAGUA, 2009).

3.1.4 Infraestructura hidráulica

La infraestructura hidráulica más importante del valle son un conjunto de canales que conducen el agua de los manantiales a los centros de riego dentro y fuera del valle (Figura 10). Estos canales se empezaron a construir desde el siglo XVI cuando los españoles llegaron a la zona. Los canales más antiguos son: canal del Anteojo en 1950, la Escobeda en 1906, la Angostura en 1895, canal Nuevo de 1958-1962, Orozco 1906, Saca del Fuente 1906 y Becerra 1964. Además de estos cales se han construido canales nuevos, en el cuadro 3 se muestran algunos datos de ellos (IMTA, 2005).

Cuadro 3. Datos de algunos canales de Cuatrociénegas

Nombre	Longitud	Caudal	Descripción
Santa Tecla	54.6 Km	220 – 320 lps	Se utiliza en el Ejido Sacramento para el riego de 3000 has.
Saca Salada	65 Km	800 – 1300 lps	Se aprovecha en el Ejido La Madrid para el riego de 673 has.
La Becerra	57.2 Km	580 – 640 lps	Se utiliza para el riego de 772 has en el Ejido de Cuatrociénegas.

riego en la zonas de San Buenaventura y Nadadores. En total, en la zona de Cuatrociénegas se utilizan 31.8 millones de metros cúbicos por año en la agricultura: 14.0 de extracción subterránea y 17.8 de extracción superficial.

3.2 Localización del proyecto

El área de trabajo se encuentra en el sistema hidrológico Churince, dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, en el estado de Coahuila, en las coordenadas geográficas 26°50'53" N, 102°8'32" O y con una elevación de 767 metros sobre el nivel del mar (msnm), entre la Sierra de la Fragua y la Sierra de San Marcos y Pinos, como lo muestra la Figura 11. La decisión de este lugar se dio por diferentes motivos:

- ▣ En la actualidad en el valle de Cuatrociénegas existen varios proyectos de extracción de agua para uso agrícola, ya sea a través de canales superficiales o por medio de pozos profundos, lo cual representa una problemática que ha creado grandes cambios en los humedales del valle.

- ▣ En el área de estudio hay gran facilidad para la perforación de pozos dado que el suelo está constituido principalmente por arena, y además es un lugar con un nivel freático realmente poco profundo que en algunos casos llega hacer menor de un metro.

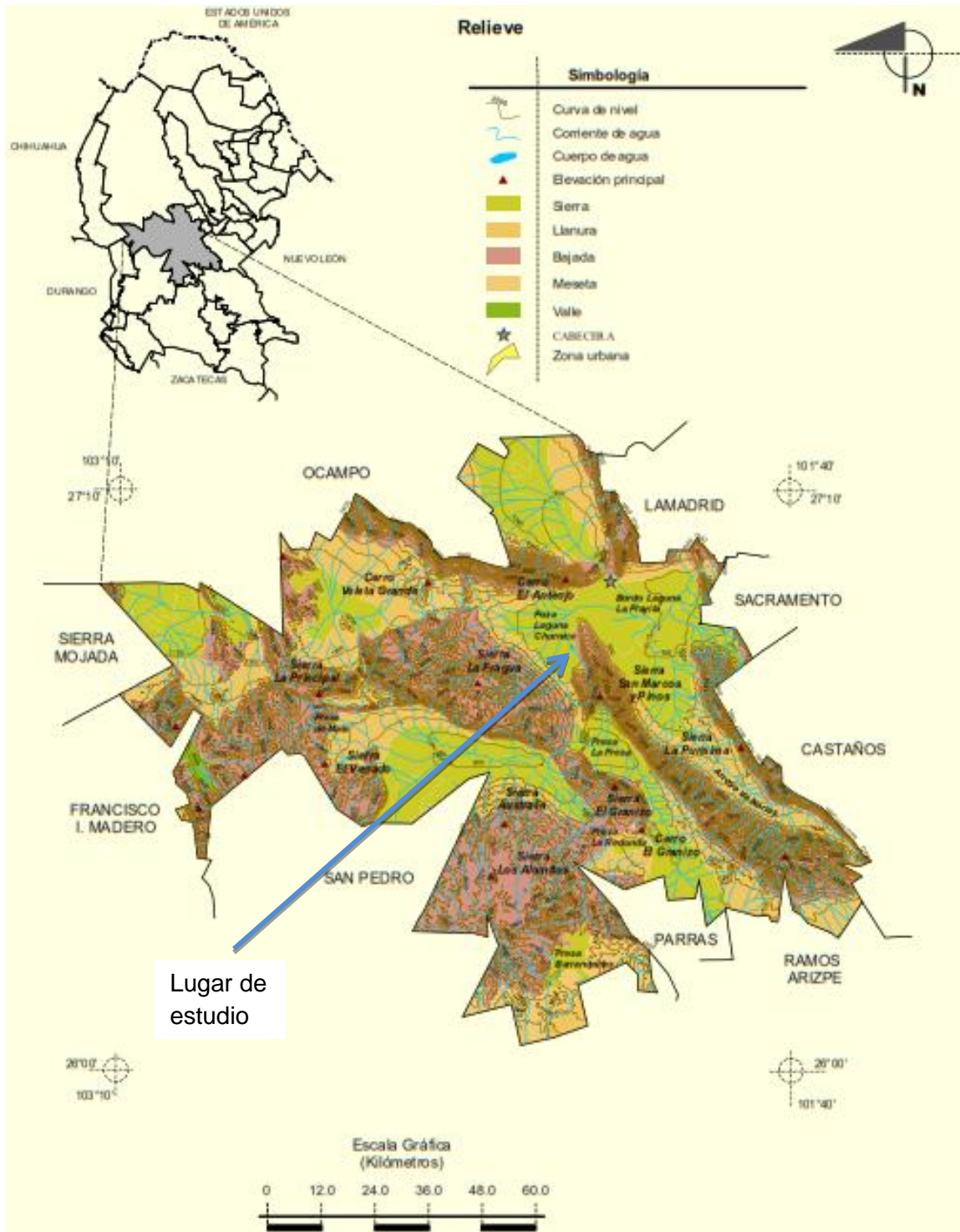


Figura 11. Ubicación del lugar de trabajo.

3.3 Metodología para la obtención de datos

- I. En primer lugar se realizó una cuadrícula con 21 puntos separados a 250 metros entre sí a través de imágenes satelitales del Google Earth®.
- II. Con ayuda de la estación total se procedió al trazado y ubicación de los puntos en campo, tomando los datos de elevación sobre el nivel del mar (msnm) y coordenadas proyectadas UTM zona 13 norte.
- III. La perforación se realizó con barrenas cerradas de 4 pulgadas de diámetro y extensiones de 1 metro, aplicando presión en ellas y al mismo tiempo girándola hasta lograr una profundidad de un metro por debajo del nivel freático, una vez obtenida esta profundidad se abatieron los pozos y se dejaron recuperar hasta su nivel normal. Esto con la finalidad de que al fluir el agua al pozo esta destapara los poros dañados por la fricción de la barrena con la pared del pozo.
- IV. Una vez terminada la perforación de los pozos se esperó hasta el día siguiente para poder hacer la toma de datos. La medición del nivel estático se realizó a través de una sonda eléctrica que al entrar en contacto con el agua se cierra un circuito eléctrico, lanzando una señal de sonido, posteriormente se extrajo una muestra de agua de cada pozo y con ayuda de un multiparámetros portátil (HI98130), se tomaron la medición de parámetros de calidad de agua como son: la Temperatura (T°), Conductividad Eléctrica (CE), Potencial de Hidrogeno (pH) y Sólidos disueltos (TSD).
- V. El procesamiento de datos se realizó con la ayuda de programas computacionales. En primer lugar se ordenaron los datos en hojas de cálculo (Excel®), para después extraerlos a programas de sistemas de información geográfica (Surfer 11®, autoCAD 2013® y Global Mapper 15®) y así presentar los resultados en mapas, en los cuales se observa

la distribución de: la CE en el agua, T, pH, TDS, conductividad hidráulica del suelo, ubicación de zonas con un nivel freático poco profundo (isobatas) y determinación del sentido del flujo del agua subterránea (isohypsas). La conductividad hidráulica se calculó por el método del agujero de barrena (The auger hole method), con datos de recuperación contra tiempo de algunos pozos.

3.4 Distribución de los puntos de observación

A través de una imagen satelital (Figura 12) del software Global Mapper 15 se muestra la ubicación de los pozos dentro de la red de observación. Los puntos se encuentran ubicados estratégicamente a lo largo del arroyo que inicia en la poza Churince, pasando por la laguna intermedia y finalizando en la laguna grande, con una separación de 250 metros.

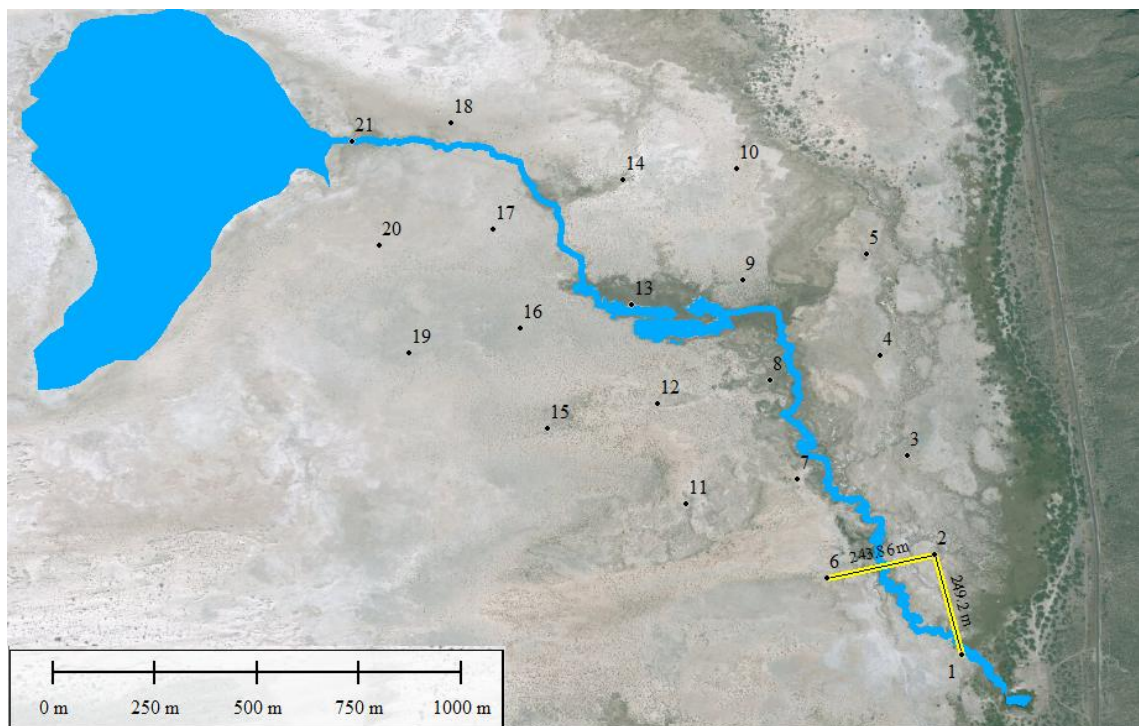


Figura 12. Distribución de la red de 21 pozos de observación en el área de Churince.

3.5 Datos obtenidos

En el Cuadro 4 se presentan los datos del primer muestreo que fue el 26 de mayo del 2013. El día del muestreo, la laguna Churince (laguna grande) se encontraba totalmente seca y el arroyo mantenía un flujo de agua hasta la laguna intermedia como se observa en la Figura 13.

Cuadro 4. Datos obtenidos el 26 de mayo del 2013 realizada entre las 8:00 – 14:00 horas

No. Pozo	COORD X	COORD Y	COTA MSNM	N.E m.	C.N.F m.	P.H	C E mS cm ⁻¹	T °C	SD mg l ⁻¹
1	784691.84	2972065.28	767.00	1.11	765.89	7.20	4.51	24.1	2.25
2	784627.14	2972306.76	767.00	1.14	765.86	7.06	7.31	23.7	3.65
3	784562.59	2972547.73	766.92	1.48	765.44	7.73	9.00	22.6	4.52
4	784497.73	2972789.70	766.48	1.25	765.23	7.52	4.79	23.2	2.37
5	784459.46	2973036.09	766.15	1.43	764.72	7.36	3.90	23.4	1.94
6	784391.46	2972244.09	766.60	0.86	765.74	7.35	3.58	24.3	1.80
7	784321.00	2972483.00	767.30	1.54	765.76	7.32	3.40	22.3	1.70
8	784256.17	2972724.97	766.01	0.64	765.37	7.07	3.50	23.4	1.76
9	784191.08	2972966.76	765.99	1.19	764.80	7.32	6.30	23.4	3.12
10	784173.46	2973239.09	765.34	1.59	763.75	7.41	6.52	22.7	3.25
11	784079.88	2972418.39	766.66	1.45	765.21	7.35	3.70	21.7	1.84
12	784013.87	2972660.05	766.47	1.42	765.05	7.19	5.77	22.6	2.90
13	783949.82	2972901.92	765.03	0.26	764.77	7.18	3.58	20.8	1.82
14	783924.46	2973205.09	765.05	0.80	764.25	7.21	3.98	22.4	1.96
15	783773.10	2972595.53	765.93	0.95	764.98	7.59	4.63	23.2	2.31
16	783708.29	2972837.40	765.66	0.78	764.88	7.62	3.59	23.6	1.79
17	783643.63	2973078.70	765.34	1.25	764.09	8.07	7.76	22.0	3.81
18	783545.46	2973334.09	765.03	1.87	763.16	7.65	4.85	21.8	2.41
19	783466.70	2972772.33	765.02						

20	783396.82	2973033.13	764.95
21	783329.26	2973285.24	764.16

MSNM= Metros Sobre el Nivel del Mar, N.E= Nivel Estático, CNF= Cota de Nivel Freático, T°=Temperatura, CE= Conductividad Eléctrica, pH=Potencial de Hidrogeno, SD= Sólidos disueltos.

Nota: los valores faltantes en los pozos 20 y 21 de la tabla anterior se debe a que los pozos se encontraban ensolvados y en el caso del pozo 19 no se pudo determinar su ubicación en campo.



Figura 13. Situación de la laguna Churince (laguna grande) el 26 de mayo del 2013.

El Cuadro 5 presenta los datos obtenidos del segundo muestreo que se realizó el 17 de octubre del 2013. En el momento del segundo muestreo la laguna Churince (laguna grande) mostraba una recarga superficial (Figura 14) dada por el arroyo que tenía un flujo de agua que iniciaba desde la poza Churince hasta la laguna grande pasando primero por la laguna intermedia que en su caso se encontraba en su máximo almacenamiento.

Cuadro 5. Datos obtenidos el 17 de octubre del 2013 realizada entra las 8:00 – 14:00 horas

No. Pozo	COORD X	COORD Y	COTA MSNM	N.E m.	C.N.F m.	C.E mS cm ⁻¹	PH	SD mg l ⁻¹	T °C
1	784691.84	2972065.28	767.00	0.74	766.26	3.11	8.22	1.52	26.2
2	784627.14	2972306.76	767.00	0.64	766.35	2.69	8.48	1.36	25.2
3	784562.59	2972547.73	766.92	1.03	765.89	9.37	7.98	4.74	23.9
4	784497.73	2972789.70	766.48	0.84	765.64	3.23	7.88	1.61	23.8
5	784459.46	2973036.09	766.15	0.88	765.27	3.55	8.44	1.77	24.6
6	784391.46	2972244.09	766.60	0.69	765.91	4.35	7.66	2.17	23.6
7	784321.00	2972483.00	767.30	1.37	765.93	2.89	8.62	1.40	26.9
8	784256.17	2972724.97	766.01	0.41	765.60	7.54	7.29	3.76	23.5
9	784191.08	2972966.76	765.99	0.67	765.32	2.29	8.39	1.14	24.1
10	784173.46	2973239.09	765.34	1.14	764.20	6.56	7.92	3.28	23.4
11	784079.88	2972418.39	766.66	1.14	765.52	2.7	8.56	1.36	24.7
12	784013.87	2972660.05	766.47	1.14	765.33	2.05	8.73	1.04	24.7
13	783949.82	2972901.92	765.03	0.00	765.03				
14	783924.46	2973205.09	765.05	0.26	764.79	5.57	8.87	2.78	24.7
15	783773.10	2972595.53	765.93	0.58	765.35	4.69	8.23	2.35	24.7
16	783708.29	2972837.40	765.66	0.47	765.19	4.57	8.29	2.28	24.2
17	783643.63	2973078.70	765.34	0.51	764.83	4.32	8.45	2.15	24.1
18	783545.46	2973334.09	765.03	0.76	764.27	4.06	8.82	2.03	24.7
19	783466.70	2972772.33	765.02						
20	783396.82	2973033.13	764.95	0.39	764.56	2.49	9.08	1.24	25.2
21	783329.26	2973285.24	764.16	0.07	764.09	5.43	8.33	2.70	24.5

MSNM= Metros Sobre el Nivel del Mar, N.E= Nivel Estático, CNF= Cota de Nivel Freático, T°=Temperatura, CE= Conductividad Eléctrica, pH=Potencial de Hidrogeno, SD= Sólidos disueltos.

Nota: los datos de calidad de agua que se manejaron no se pudieron medir en el pozo 13 en el segundo muestreo por motivo de inundación del lugar, por otra parte el pozo 19 no se pudo determinar su ubicación en campo.



Figura 14. Situación de la laguna Churince en la fecha del segundo muestreo.

Los datos de recuperación contra tiempo, que se utilizaron para el cálculo de la conductividad hidráulica del suelo, por el método del agujero de barrena, se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Datos de recuperación de niveles con fecha 17 de octubre del 2013.

Datos de recuperación de niveles del 17 de octubre 2013							
Pozo # 1		Pozo #7		Pozo # 12		Pozo # 17	
N.D	Tiempo	N.D	Tiempo	N.D	Tiempo	N.D	Tiempo
(cm)	(Seg)	(cm)	(seg)	(cm)	(seg)	(cm)	(seg)
115	0	140	0	132	0	100	0
114	30	139	6	131	5	98	8
113	65	138	16	130	10	96	16
112	96	137	26	129	16	94	24
111	125			128	22	92	34
110	154					90	46
109	182					88	57
108	212						
107	240						

N.D= Nivel Dinámico

El Cuadro 7 contiene las precipitaciones transcurridas en el periodo de estudio, del valle de Cuatrociénegas. Considerando solo las lluvias mayores de un milímetro ya que las menores de un milímetro son consideradas inapreciables.

Cuadro 7. Precipitaciones registradas entre el 26 de mayo y el 17 de octubre del 2013 en Cuatrociénegas.

Estación	Fecha	Precipitación mm	Fecha	Precipitación mm
CCGCL	13/06/2013	11.1	26/08/2013	0.2
CCGCL	15/07/2013	13.1	15/09/2013	2.7
CCGCL	16/07/2013	4.3	16/09/2013	1.1
CCGCL	17/07/2013	2.5	17/09/2013	2
CCGCL	20/07/2013	2.5	20/09/2013	12.5
CCGCL	21/07/2013	6.5	21/09/2013	2.2
CCGCL	28/07/2013	3.1	28/09/2013	12.6
CCGCL	21/08/2013	3.7	06/10/2013	24.2
CCGCL	22/08/2013	1.4	12/10/2013	3.1
CCGCL	23/08/2013	2	13/10/2013	9.7
				Total 120.5 mm

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis e interpretación de la información que brindan los mapas de isolíneas del comportamiento freático, conjuntamente con los datos de observación arrojan los siguientes resultados.

El Cuadro 8 muestra los valores de conductividad hidráulica de suelo del área de estudio, calculados por el método del agujero de barrena. En el cual resalta el pozo 12 con un valor de conductividad hidráulica de 4.08 m/día.

Cuadro 8. Valores de conductividad hidráulica calculados

N. pozo	D.P cm	PTP cm	N.E cm	Yn cm	Y0 cm	ΔY cm	Y0/4	Δt seg	Y cm	H cm	K m/día
1	12	174	74	33	41	8	10.25	240	37	100	0.36176723
12	12	212	114	14	18	4	4.5	22	16	98	4.08673895
17	12	235	51	37	49	12	12.25	57	43	184	1.31298966

D.P= Diámetro del Pozo, PTP= Profundidad Total del Pozo, N.E= Nivel Estático, Yn= Profundidad de Recuperación o Ultima Lectura, Y0= Profundidad Abatida, ΔY = Rango Abatido, Δt = Inérvalo de Tiempo Durante las Mediciones, Y= Yn-Y0, H= Profundidad del Agujero por debajo del Nivel Freático, K= Conductividad Hidráulica

Básicamente el área de estudio se encuentra plana (Figura 15), ya que dentro del terreno solo se observa un desnivel de 2.84 metros del primer punto al último, con pendiente (0.15 %) al noroeste en la misma dirección del arroyo.

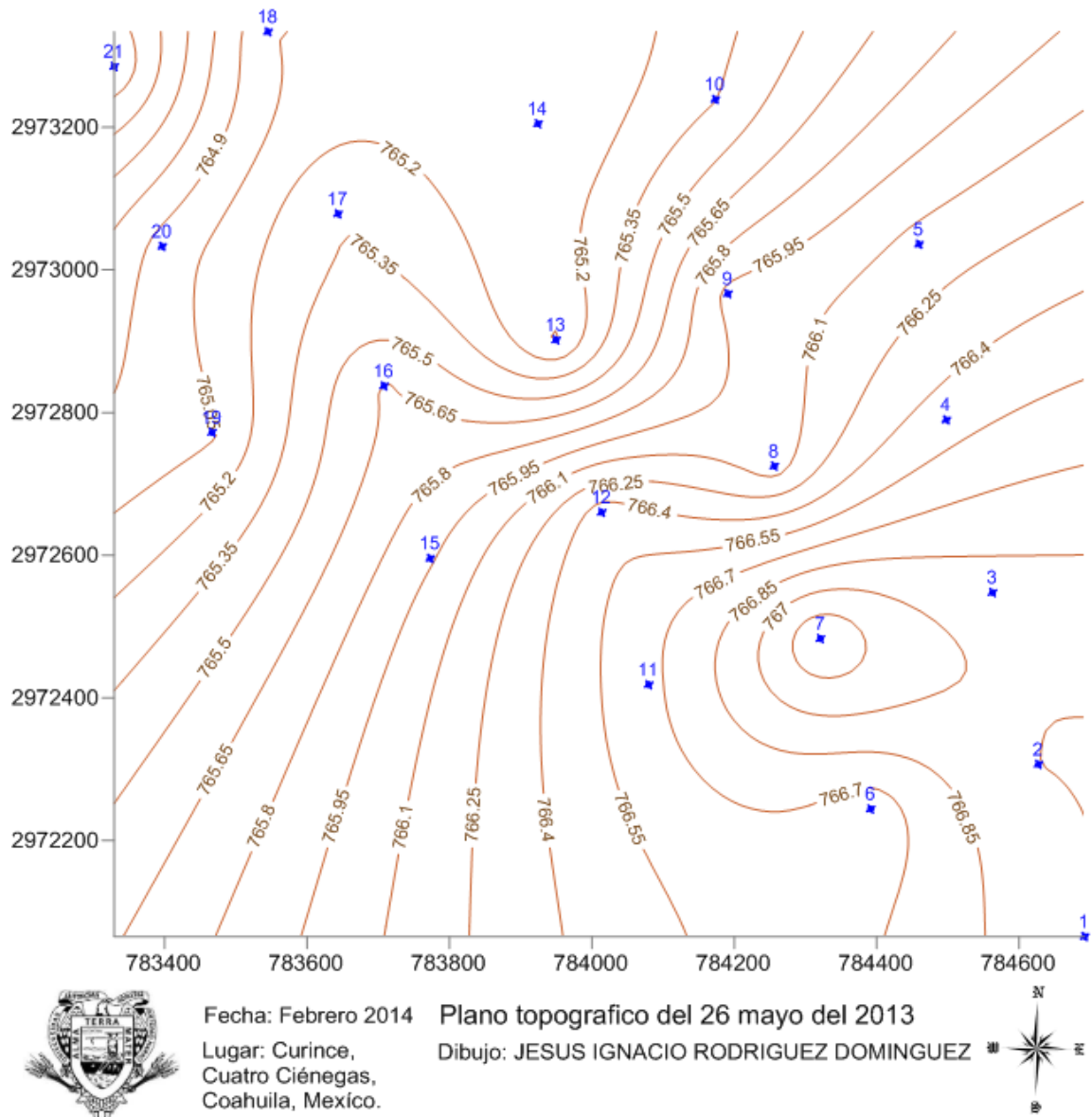


Figura 15. Plano topográfico del área de estudio

El plano de isobatas correspondiente al mes de mayo (Figura 16), muestra en color rojo las áreas más afectadas o con niveles freáticos elevados, que coincide con la ubicación de la laguna intermedia y parte del arroyo el cual el día del muestreo contenía agua desde la poza Churince hasta la laguna intermedia.

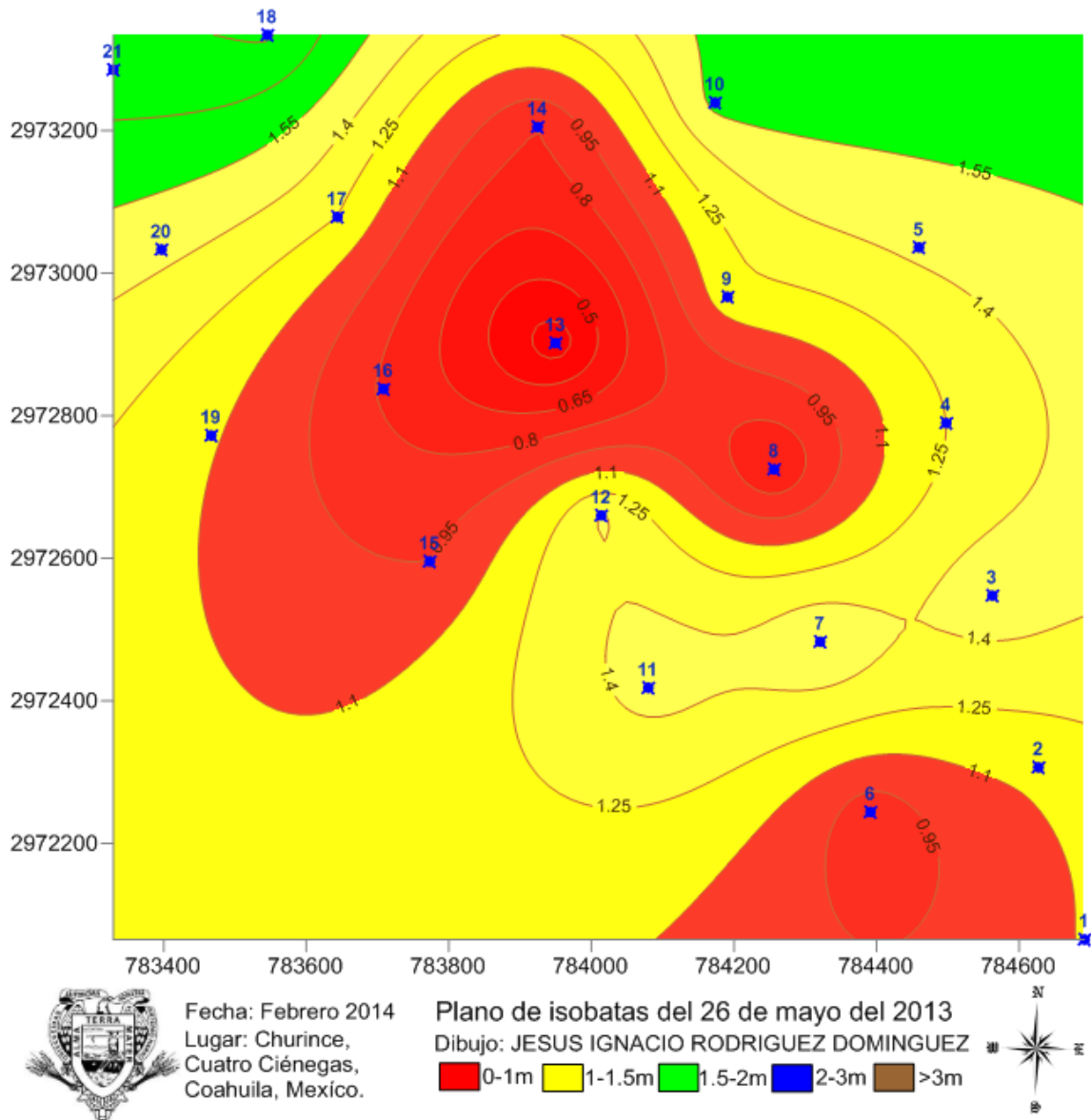


Figura 16. Plano de isobatas realizado con datos del 26 de mayo del 2013.

En el plano de isobatas de octubre (Figura 17) se observa una gran área con nivel freático menor de un metro debido a las precipitaciones registradas en el área de estudio, lo que supone una recarga del acuífero y aumento del nivel freático en gran parte del área, de lo cual destacan los puntos 17 y 18 con un aumento de 74 y 111 centímetros respectivamente. Mientras que los puntos 6 y 7 tan solo fue de 17 cm. Estas diferencias en los niveles se deben a que el agua subterránea fluye a los puntos más cercanos de la laguna como lo muestran los planos de isohypsas (Figuras 19 y 20).

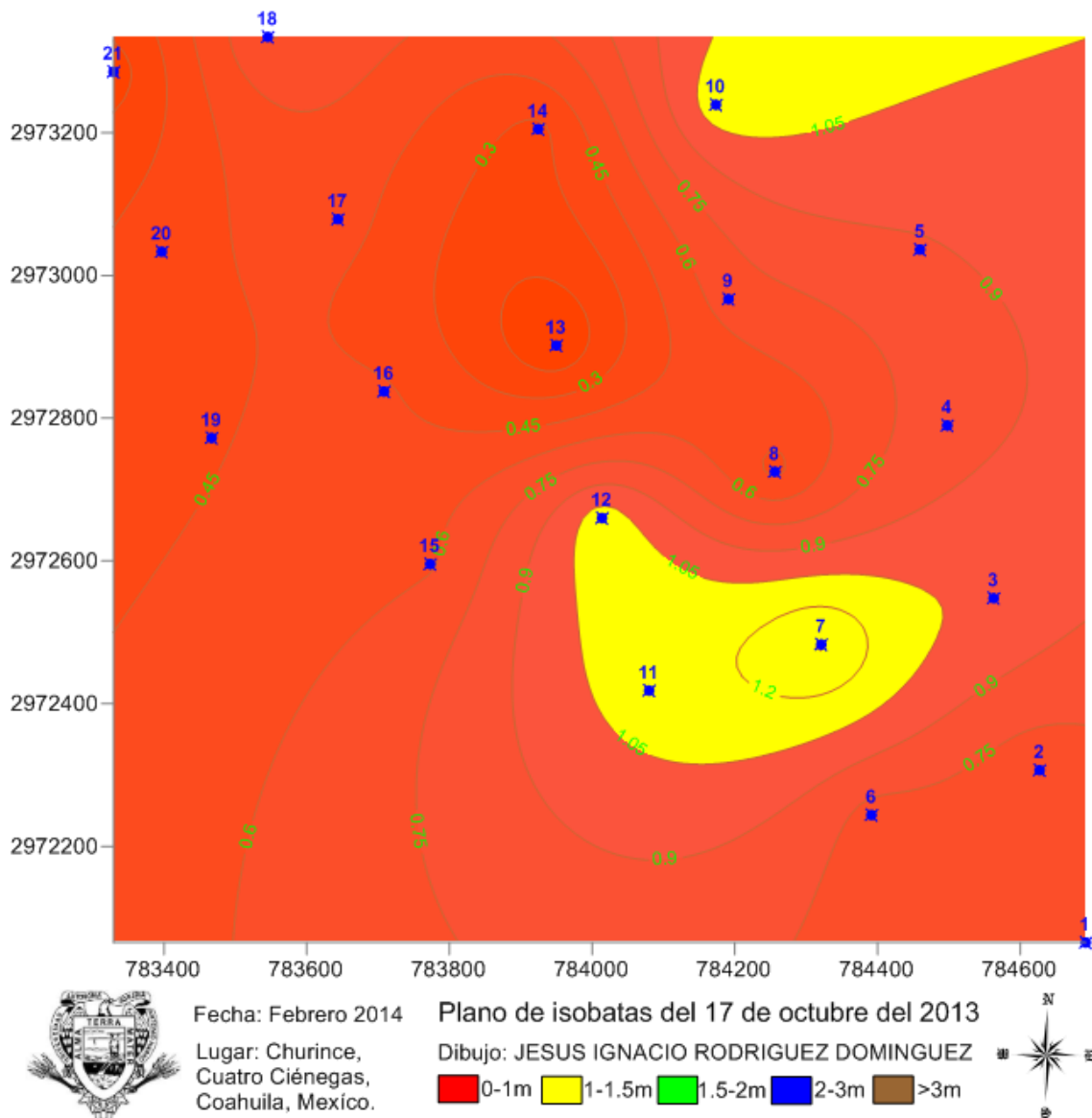


Figura 17. Plano de isobatas con datos del 17 de octubre del 2013.

La conductividad hidráulica del acuífero libre de Churince, se presenta de forma muy variable, con valores más altos en el centro del área, que corresponde a los pozos 8, 11, 12, y 15, como se muestra en el plano (Figura 18). Dichos cambios se pudieran deber a diferentes tipos de suelos, diferente grado de compactación, diferente tamaño de partículas, entre otros.

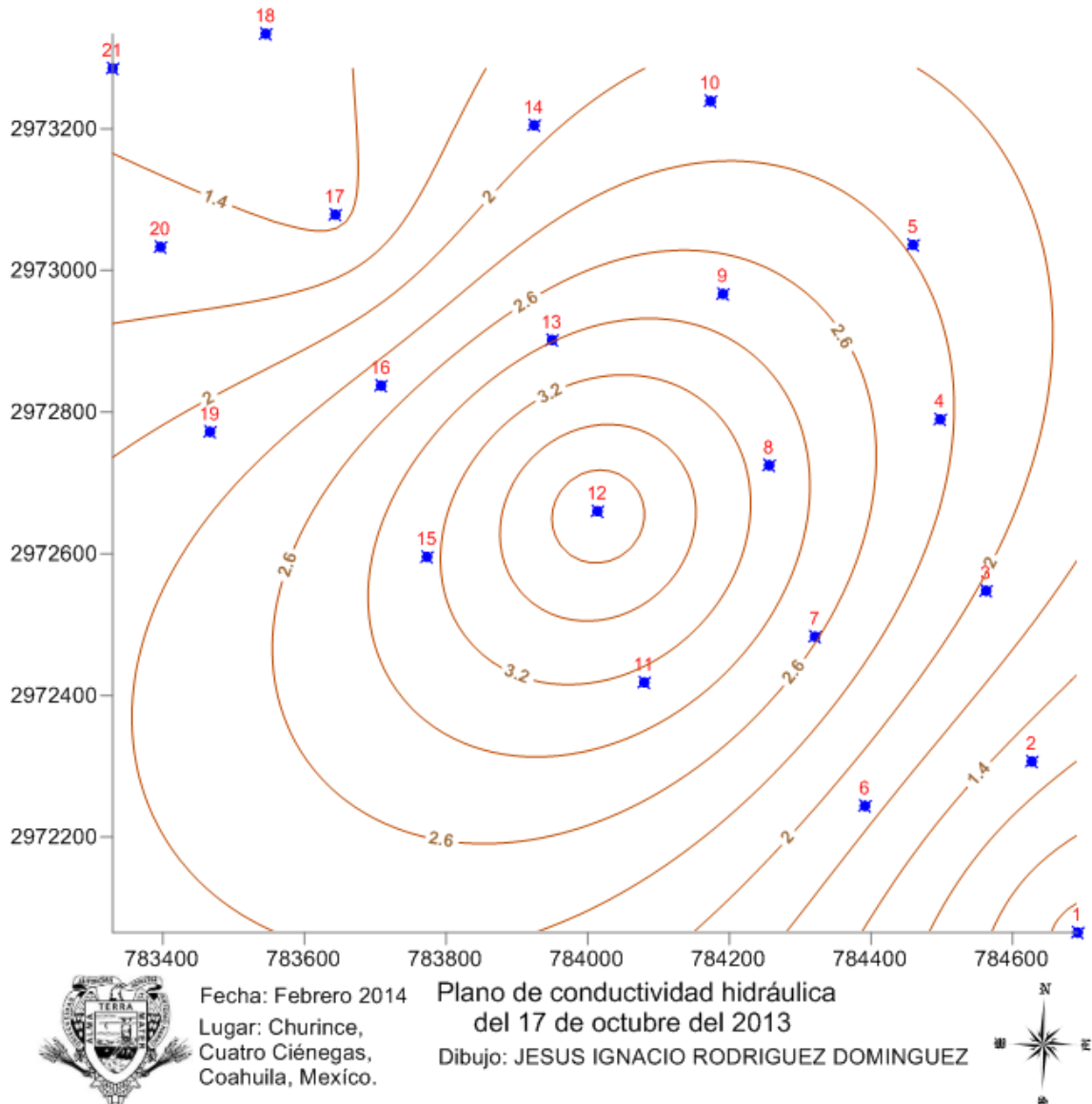


Figura 18. Plano de conductividad hidráulica (K) del 17 octubre del 2013.

En el plano de isohypsas de mayo (Figura 19) se muestra el flujo del agua subterránea que se presenta de sureste a noroeste, en el mismo sentido que el arroyo, tan solo hay un cambio en la parte norte que muestra un flujo al pozo número 10.

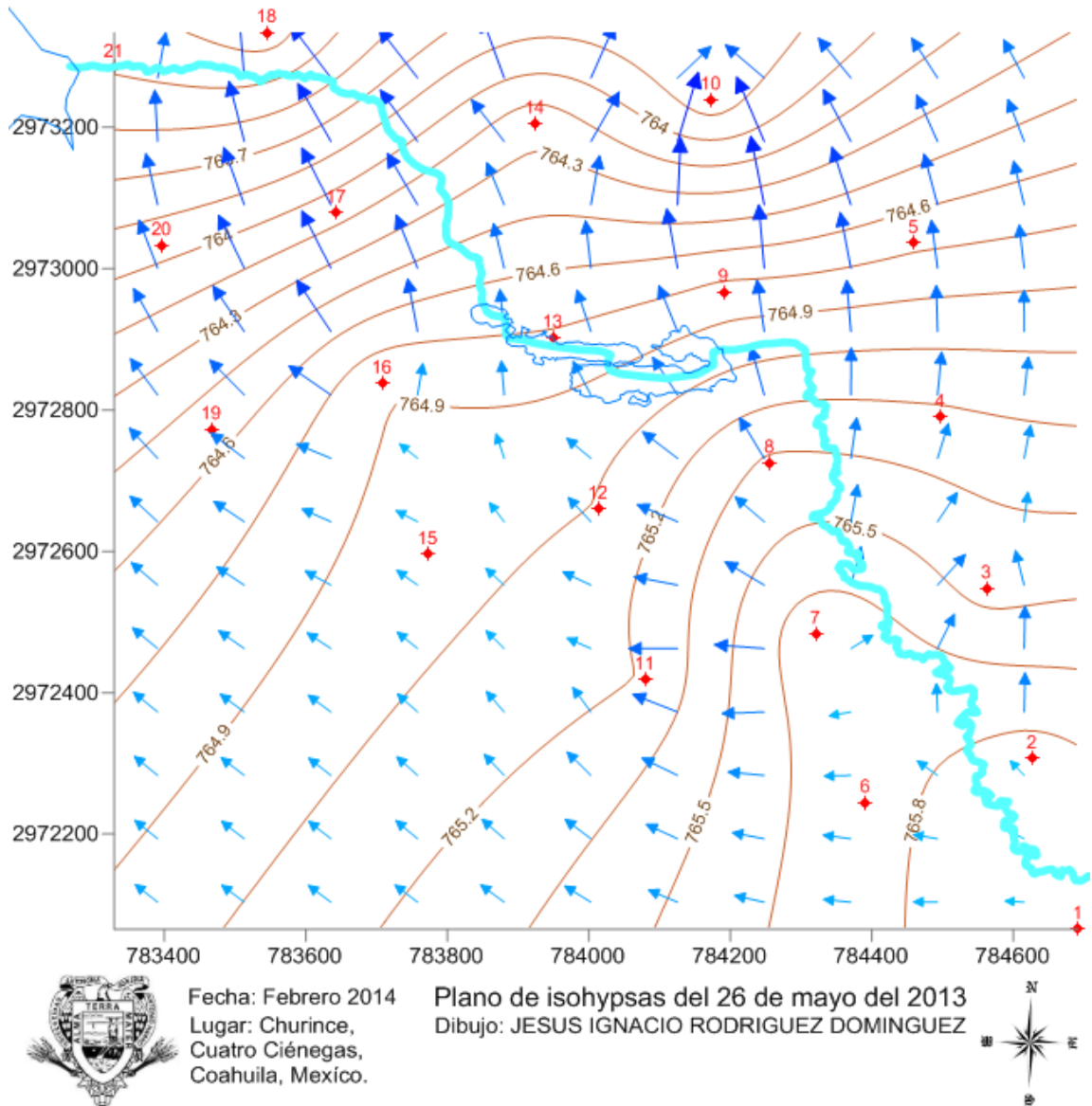


Figura 19. Plano de isohypsas con datos del 26 de mayo del 2013.

Considerando la recarga del acuífero y aumento de los niveles piezométricos, el flujo del agua subterránea se comporta de la misma manera que en el mes de mayo, el único cambio que se presenta en este tiempo es la disminución de la pendiente de la superficie piezométrica en la parte más cercana a la laguna, dicho cambio se debe al aumento del manto freático en esa misma área por la acumulación de agua (Figura 20).

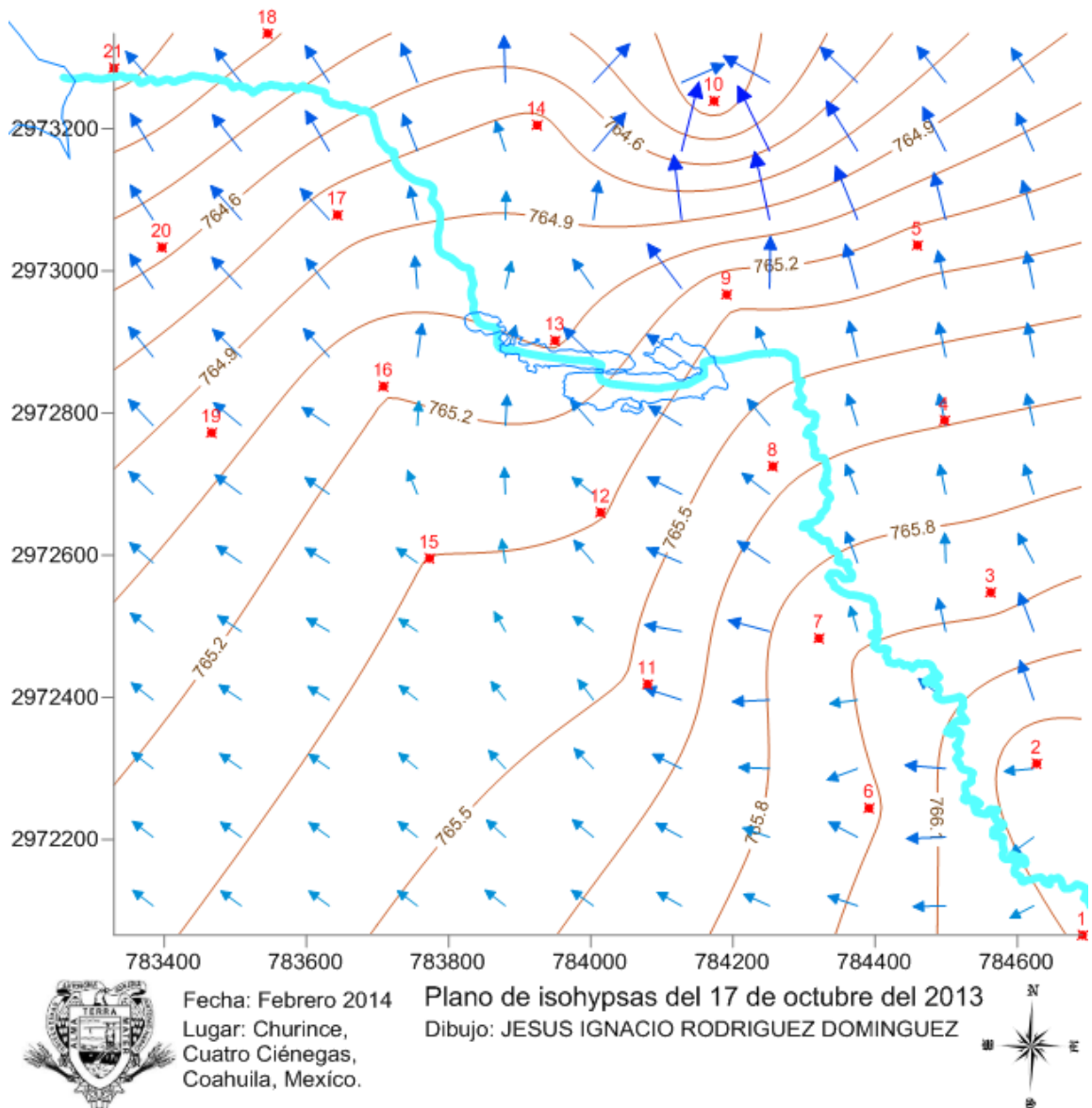


Figura 20. Plano de isohypsas con datos del 17 de octubre del 2013.

En el plano de CE (Figura 21) del agua subterránea del acuífero libre de Churince en el mes de mayo, se presentan valores de conductividad eléctrica de forma muy variada, resaltando con mayor concentración de sales los puntos 2, 3, 9, 10 y 17. Y con menor salinidad los puntos 6, 7 y 8.

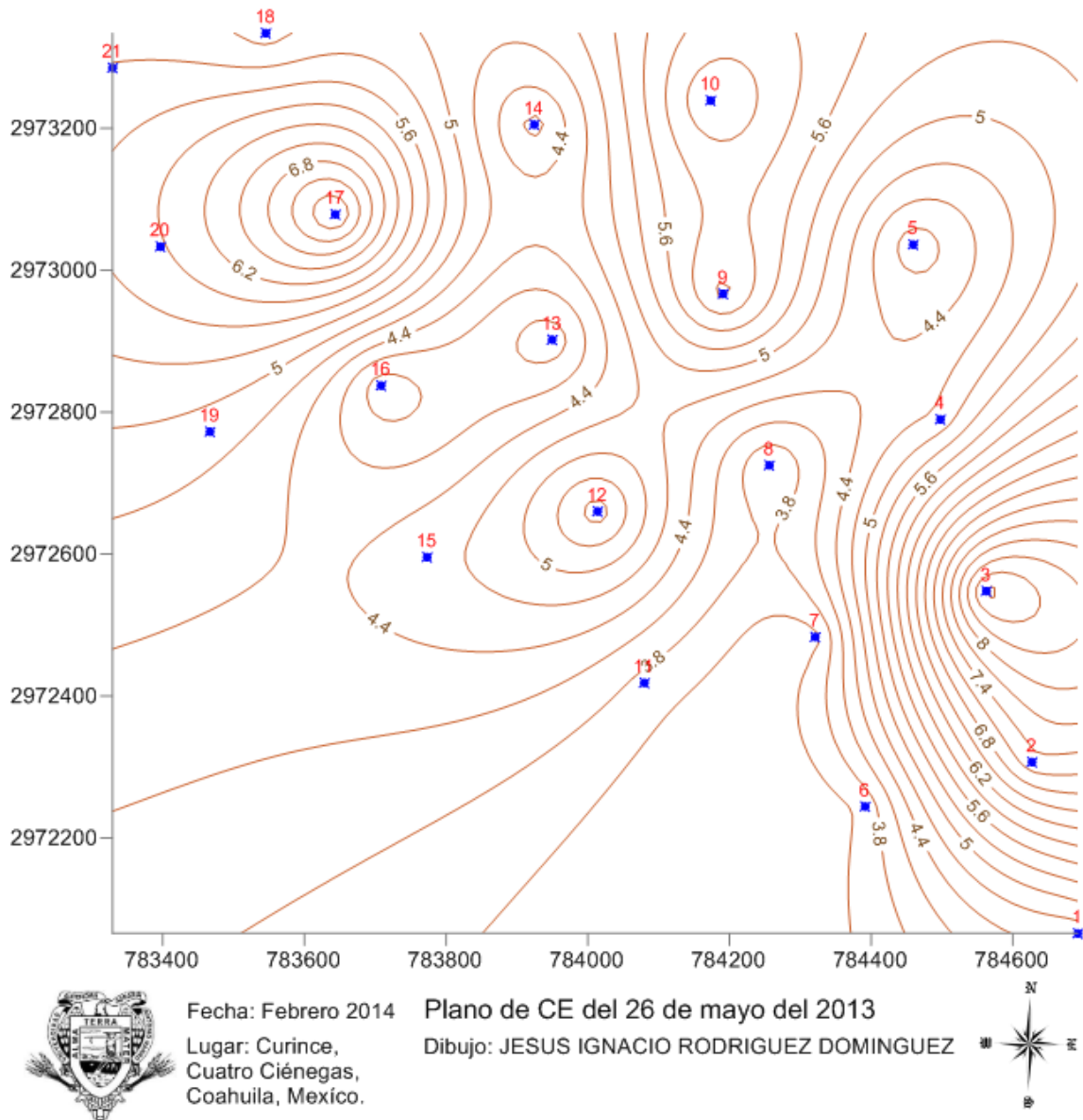


Figura 21. Plano de la distribución de la CE del agua de cada pozo en el día 26 de mayo del 2013.

Comparando el plano de CE de octubre (Figura 22) con el de mayo (Figura 21), la mayoría de los puntos la CE disminuyó y en el caso de los pozos 3, 6, 8, 10, 14, 15, y 16 la CE aumentó.

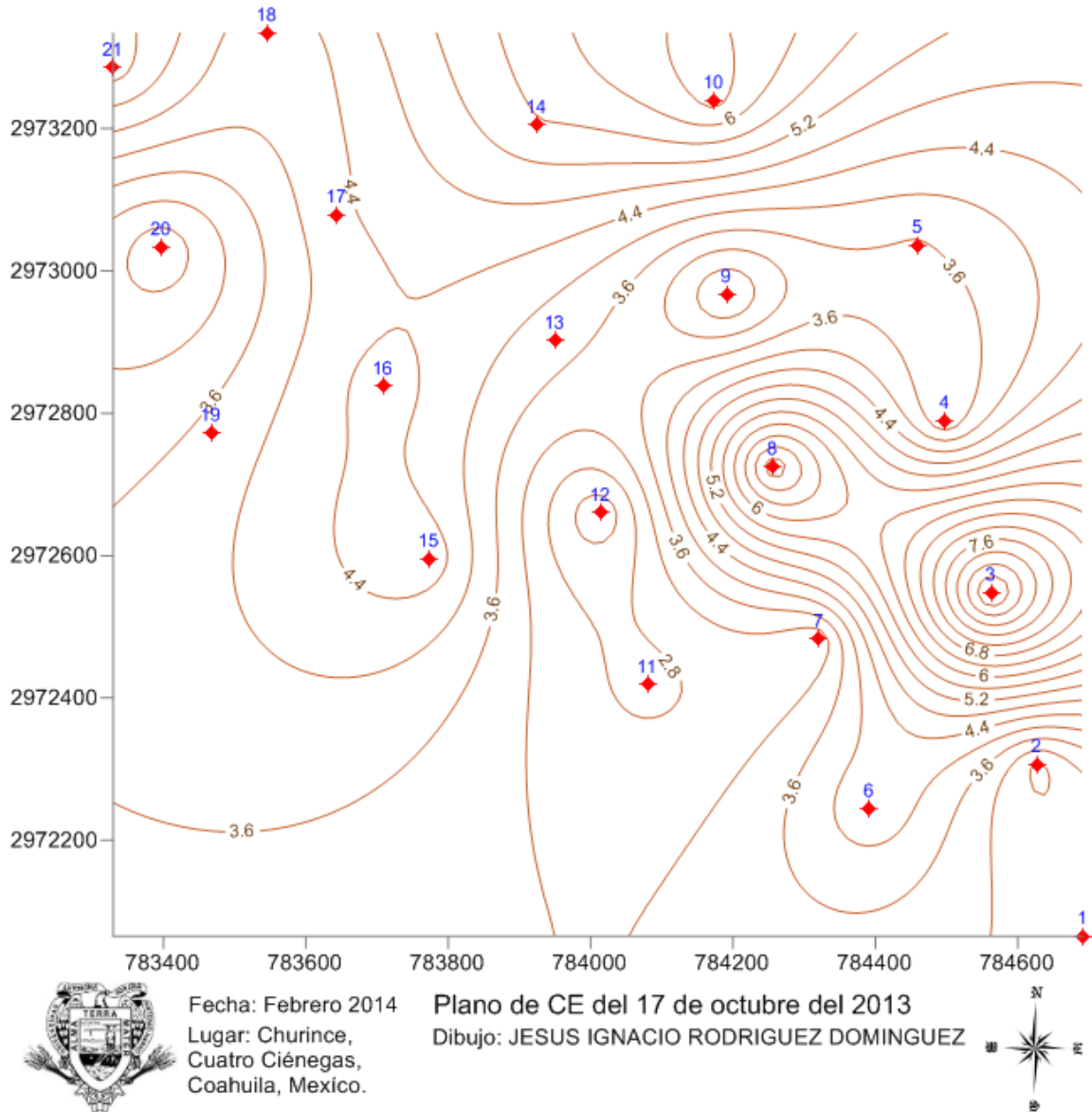


Figura 22. Plano de la distribución de la CE del agua de cada pozo en el día 17 de octubre del 2013.

El pH del agua subterránea de Churince en el mes de mayo varía en un rango de 7.06 – 8.07 como se muestra en la Figura 23. Dichos datos pueden ser por las variaciones de temperatura del agua en cada pozo.

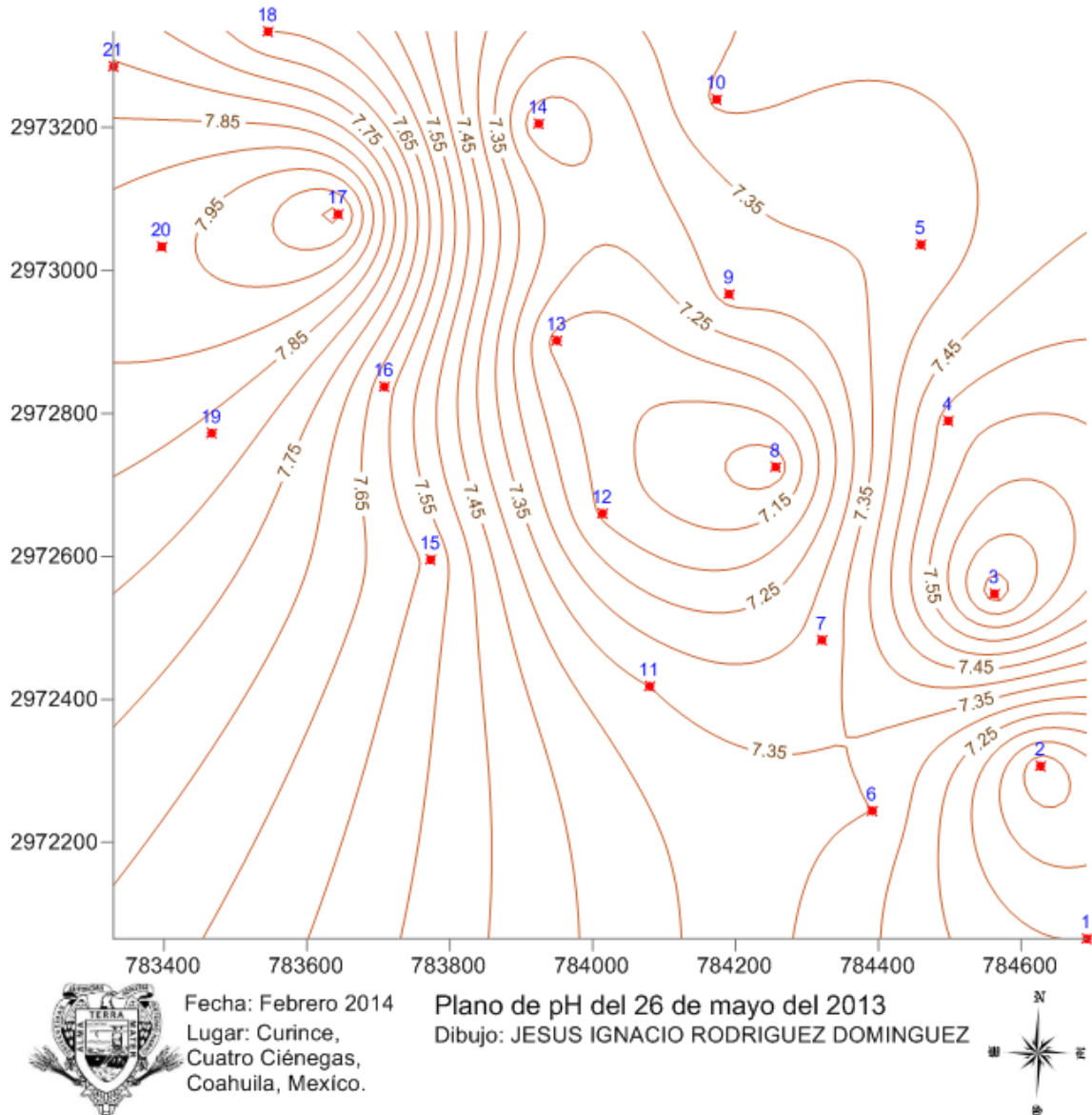


Figura 23. Plano del comportamiento del pH del agua subterránea en el día 26 de mayo del 2013.

En el plano de la distribución del pH del mes de octubre (Figura 24), se observa un agua alcalina, por aumento del pH en todos los puntos muestreados, dicha variación depende de factores que entre otros, pudieran ser: lixiviación de carbonatos, disminución del CO₂ disuelto, entre otros.

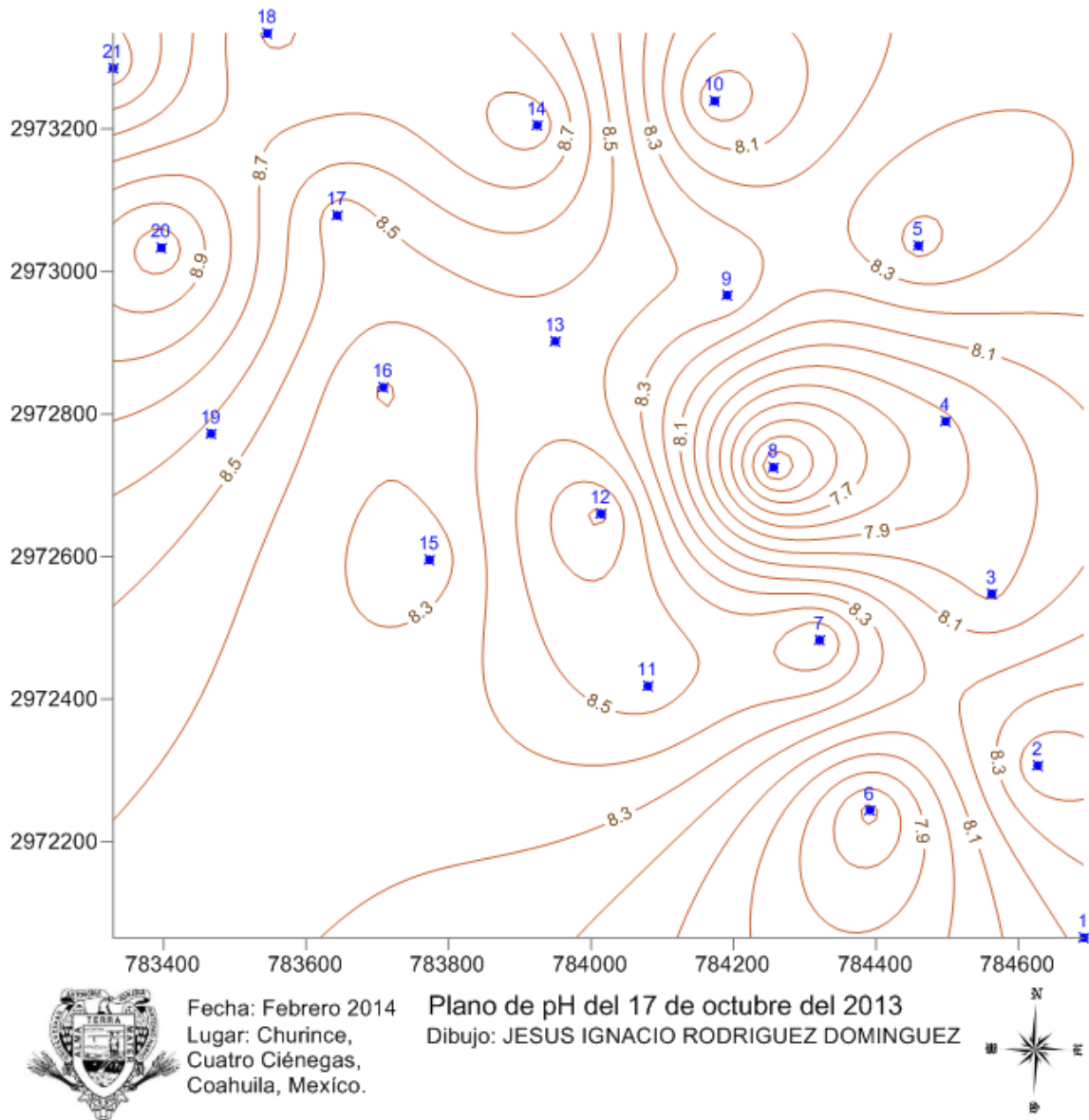


Figura 24. Plano de distribución del pH del agua en el día 17 de octubre 2013.

Dentro del valle existen variaciones en la temperatura del agua siendo más baja en los puntos cercanos al arroyo y más alta en los puntos más lejanos, como se observa en el plano de temperatura (Figura 25). Estas variaciones pudieran deberse a una diferente influencia de la capa de magma que se encuentra por debajo de la sierra de San Marcos y por la variación en la hora de muestreo considerando que las mediciones no se realizaron a la misma hora del día.

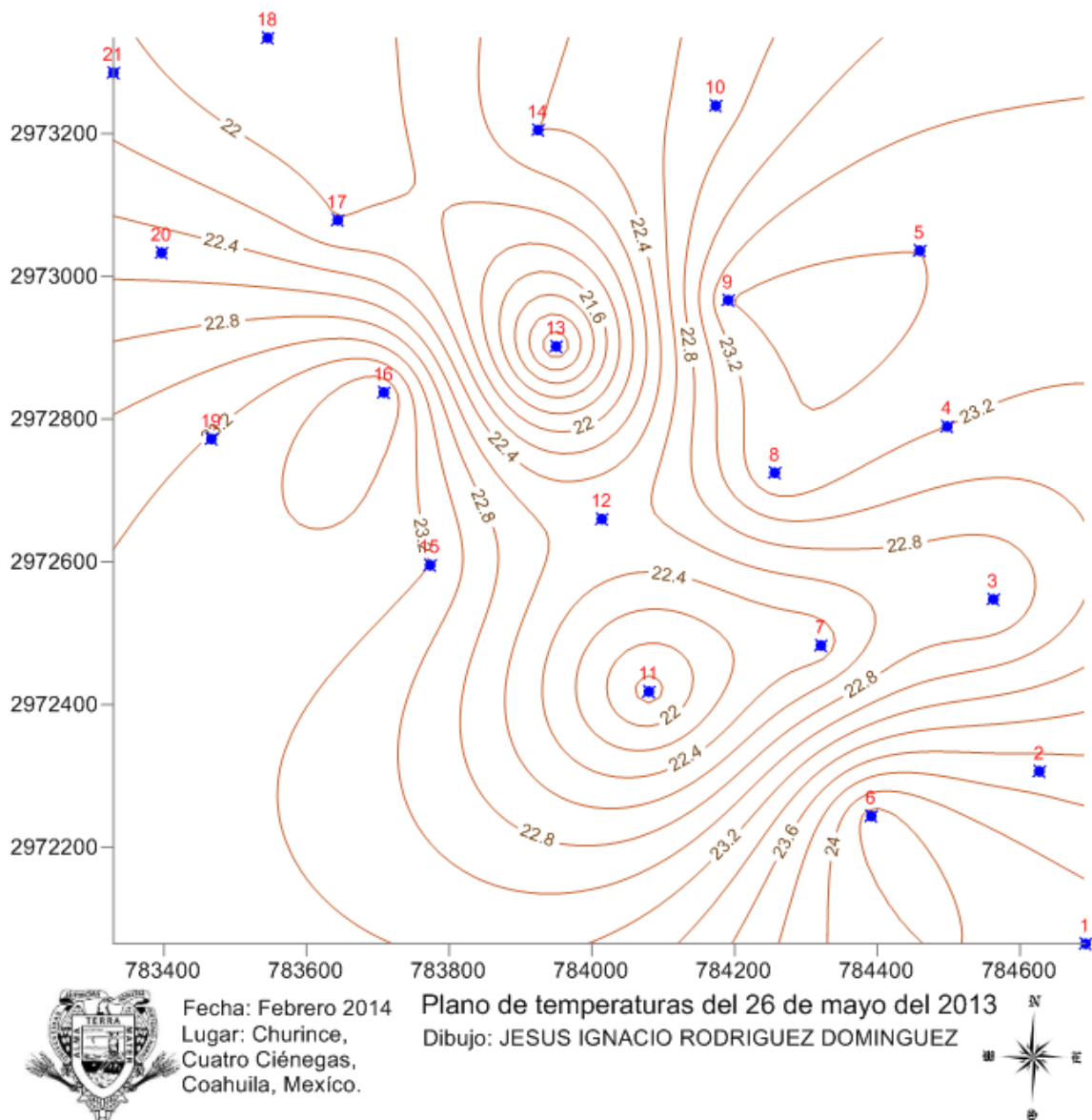


Figura 25. Plano de temperaturas del 26 de mayo del 2013.

La Figura 26, muestra el plano de temperaturas de octubre, y se observa un aumento en la temperatura del agua en comparación con el mes de mayo, excepto en el punto número 6 en el cual la temperatura se redujo. Algunos de los factores que pudieran intervenir en estos cambios son: aumento de la temperatura atmosférica, cambio de temperatura de la capa de magma de la sierra de San Marcos, variación por la hora de muestreo, entre otros.

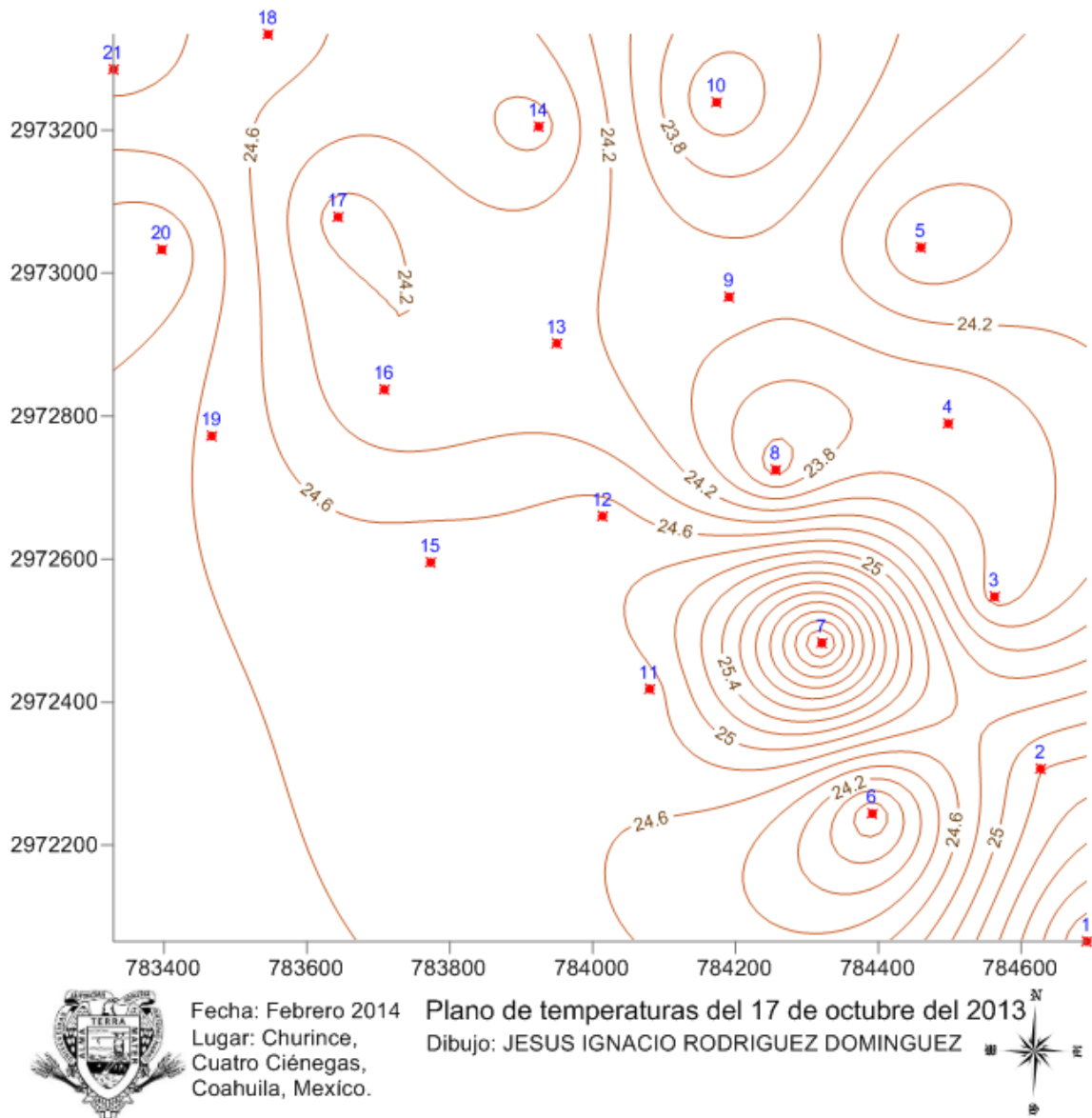


Figura 26. Plano de temperaturas del 17 de octubre del 2013.

La concentración de sólidos disueltos del agua (Figura 27) tiene el mismo comportamiento que la salinidad, dado que la conductividad eléctrica depende de la cantidad de sales disueltas.

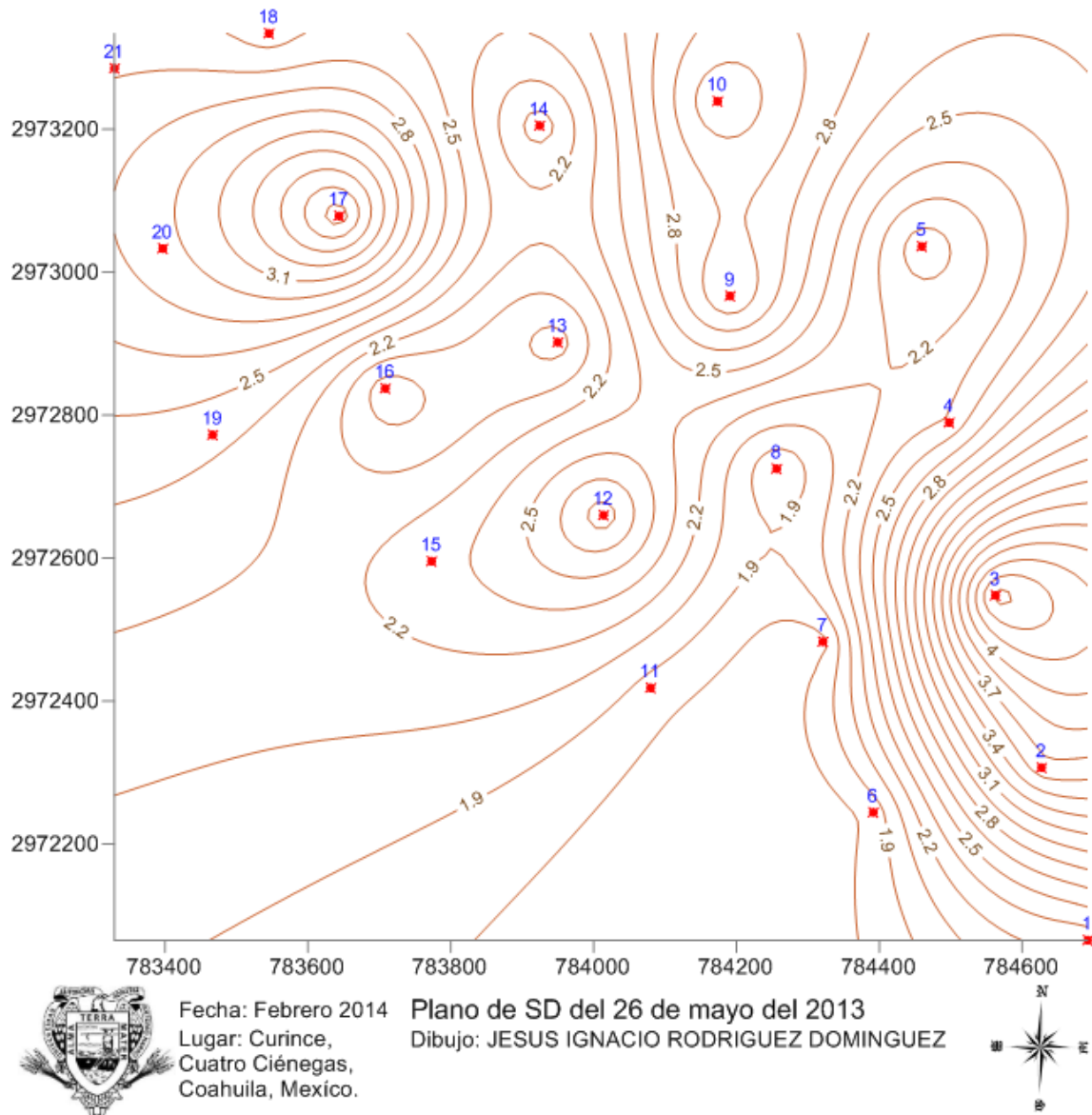


Figura 27. Plano de sólidos disueltos en el agua del 26 de mayo del 2013.

En el plano de sólidos disueltos del mes de octubre (Figura 28) se manifestó una disminución en los puntos 1, 2, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 17, 18 y un aumento en los puntos 3, 6, 8, 10, 14, 15, y 16 de la concentración de sólidos disueltos en el agua. Esto puede ser por haberse presentado mayor lixiviación de sales en algunos lugares que otros.

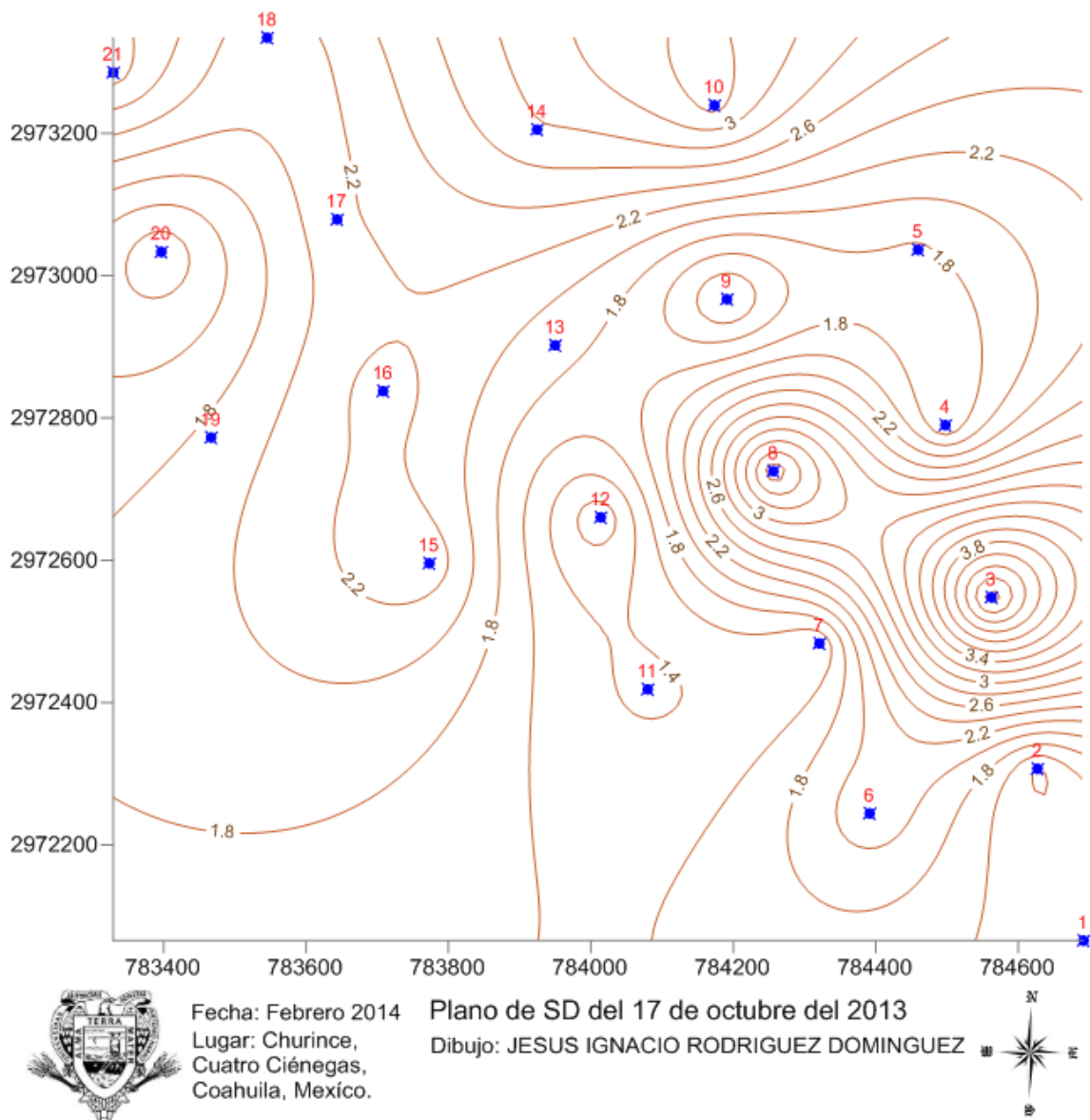


Figura 28. Plano de sólidos disueltos en el agua del 17 de octubre del 2013.

V. CONCLUSIONES

A partir del mapa de equipotenciales o plano de cotas de la superficie freática, se puede concluir que el flujo del agua subterránea se comporta de igual manera que el flujo del agua superficial en mayor parte del terreno. Con un rumbo general sureste – noroeste. De esta manera, el desagüe principal de agua subterránea y superficial es la laguna Churince (laguna grande). Por otra parte, el flujo subterráneo no cambio con el aumento del nivel piezométrico o con la recarga natural del acuífero.

Con respecto a las Isobatas y a los valores de nivel freático medidos, se observa un aumento de área con nivel freático menor de un metro, esto significaría una recarga, la cual puede ser por las precipitaciones registradas en el periodo de estudio que en general suman 120.5 milímetros. El área en la cual se manifestó mayor elevación del nivel freático o recarga pertenece a las cercanías de la laguna grande, lo cual comprueba que el flujo subterráneo obtenido es correcto. La recarga del acuífero no solo se observó en los datos de nivel freático, sino también en el aumento de área de la laguna intermedia y aparición de un flujo superficial, el arroyo.

En la comparación de datos de CE, pH, Temperatura y Sólidos Disueltos de las dos fechas de muestreo, ningún punto mantuvo alguna característica igual y todos los datos se comportaron de diferente forma con el aumento del nivel piezométrico.

De acuerdo a las características del suelo y del nivel freático, el acuífero en el que se trabajó se clasifica en un acuífero libre y de porosidad primaria (poroso o sedimentario).

VI. RECOMENDACIONES

A fin de determinar en qué partes la laguna Churince tiene aportaciones por flujo subterráneo y en qué puntos pudiera existir lo contrario, se recomienda ampliar la red de piezómetros ya establecida hasta cubrir todo el perímetro de la laguna. Una vez terminada dicha ampliación sería apropiado realizar un monitoreo mensual para observar su comportamiento a lo largo de un año.

Dado la importancia del agua para la agricultura dentro y fuera del valle no es conveniente dejar de explotar los manantiales pero si sería apropiado realizar proyectos de recuperación de áreas inundadas. Tales trabajos pudieran ser realizar, recargas artificiales o simplemente elevar el nivel al cual se extrae el agua de las pozas, para que solo se drene el agua sobrante de los manantiales. Dicho trabajo serviría para elevar el nivel freático, aumentar las áreas inundadas y recuperar el hábitat de muchas especies endémicas.

VII. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G., Etchevers, B. J. D. y Aguilar, S. A. 1992. Los análisis físicos y químicos, su aplicación en agronomía. Colegio de posgraduados montecillo estado de México. 1 ed. Pp. 62-76
- Beers, W.F.J., 1983. The auger hole method. Ed. ILRI. 6 ed. Lugar. P. 32
- Ciencia y Desarrollo. 2004. Cuatro Ciénegas: Oasis en el desierto de Coahuila. Escenario de una gran diversidad biológica. Nueva época volumen 30 número 176. México. Pp 7-14
- Collazo, C. M. P. y Montaña, X. J., 2012. Manual de agua subterránea. Ministerio de ganadería agricultura y pesca dirección general de desarrollo rural. ISBN: 978-9974-594-09-8. Ed. Denad internacional S.A. 1 ed. Montevideo, Uruguay. Pp. 1-29
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2009. Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea, acuífero (0528) Cuatrociénegas, Estado de Coahuila. Diario Oficial de la Federación. México DF. P.17
- Concentrarte. 2013. Cuatro Ciénegas la mirada de sus niños. 2 ed. Celsa impresos, S.A de C.V. comarca lagunera. P.102
- Custodio, E. y M. R. Llamas. 1976. Hidrología subterránea. Tomo I. Ed. Omega, S. A. Barcelona España. Pp. 516-552
- Departamento de conservación y protección de recursos hídricos (DEPTO. DE CONS. Y PROTEC. DE REC. HID). 2004. Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos establecido en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, decreto supremo n° 46 de 2002. Chile. P. 32
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2005. Estudio hidrogeológico de los acuíferos El Hundido y Cuatrociénegas, Coah. Mexico. P 314.
- Maderey, R. L. E. 1967. Aguas subterráneas en México. Universidad nacional autónoma de México. 1 ed. P. 77
- Moliner, H. J. 2005. Hidrogeología tipos de acuíferos. Universidad de Santiago de Compostela. Sevilla. En línea: <http://blog.pucp.edu.pe/media/3815/20110520-Tipos%20de%20acuiferos.pdf>. Consultado en enero-2014.
- Paulus, L. K. 1977. Hidrología para ingenieros. 2 ed. Ed Mcgraw-hill Latinoamérica, S. A. Pp. 157-178.

- Protección de la fauna Mexicana, A.C. (PROFAUNA). 1999. Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Cuatrociénegas México. Instituto nacional de ecología. 1ed. P.167
- Reyna, T. 2010. Hidrogeología. Universidad nacional de Córdoba facultad de ciencias exactas, físicas y naturales. P. 37
- Richards, L. A. 1994. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de agricultura de los Estados Unidos de América. 8 reimpresión. Pp. 119-135
- Rodríguez, M. J. M. 2007. Estudio de impacto ambiental sobre la reserva ecológica del valle de Cuatro Ciénegas Coahuila ante la apertura del proyecto agropecuario del valle del hundido. Proyecto SEMARNAT CONACYT clave CO1-0083. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey Nuevo León. P.238
- Serieys, N. 2004. Impacto de recarga artificial sobre la calidad del agua en acuíferos sensibles de la sabana de Bogotá. Tesis de posgrado universidad de los Andes. P. 89
- Vélez, O. M. V. 1999. Hidráulica de aguas subterránea. Facultad de minas, universidad nacional de Colombia sede Medellín. 2 ed. P.134