



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

Caracterización hidrogeológica de un sector del acuífero del Valle de Iguala, Guerrero.

Que para obtener el grado de
Ingeniera Geóloga
PRESENTA

**Alejandra Noemí
García Romero**

Director:

Dr. José Antonio Hernández Espriú

2012





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Caracterización hidrogeológica de un sector del
acuífero del Valle de Iguala, Guerrero.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA GEÓLOGA

P R E S E N T A

ALEJANDRA NOEMÍ GARCÍA ROMERO

DIRECTOR:

Dr. José Antonio Hernández Espriú



MÉXICO, D.F.

2012



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE HIDROGEOLOGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

Este documento representa la novena tesis del Grupo de Hidrogeología de la Facultad de Ingeniería (UNAM) como parte de su contribución científica y de formación de recursos humanos especializados en la evaluación de acuíferos.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Si con alguien estoy agradecida es con Dios, que como su hija me ha colmado de bendiciones y ha permitido que en mi vida siempre haya personas maravillosas que han caminado a mi lado para que lograra llegar al final en esta etapa de mi vida.

Con mis papás Ángel y Silvia, mi hermana Adriana, Moisés, Lalo, la Sra. Aurora y el Sr. Moisés por su apoyo en diferentes formas mientras luchaba por llegar aquí.

Con mi tutor, Antonio Hernández Espriú, por su gran apoyo y enseñanza durante mi educación universitaria y la realización de este trabajo. Eres un excelente profesor y una gran promesa de una mejor educación para los alumnos. Ha sido todo un honor aprender de ti.

Con los profesores que durante los dos primeros años de carrera me formaron como ingeniera y algo más, así como con los profesores Gustavo Tolson, Alfredo Victoria, Héctor Macías, Blanca Buitrón, Noé Santillán, Eduardo Aguayo, Gilberto Silva, Claudia Mendoza, Leovigildo Cepeda, Juan Carlos Cruz, Miguel Vera, Ricardo Padilla, Javier Arellano, Dante Morán, Luis Espinosa, Carlos Chong, Guadalupe Alvarado y Jorge Nieto de los que adquirí más que conocimientos de Geología.

Con mis sinodales Claudia Arango, Javier Arellano, Alberto Arias y Martín Vidal por su apoyo para mejor este trabajo.

Con Arturo de los Santos, Carlos Jiménez y Fabián Durán por su apoyo para lograr que este trabajo llegara a su culminación.

Dedico esta tesis...

A mis padres y mi hermana, que pese a las diferencias, siempre han estado ahí para darme lo mejor, compartir su tiempo, su esfuerzo y su amor. No sólo conmigo sino también con mi hermoso pequeño. Porque cuando el mundo ha dudado de mis capacidades, ustedes no creyeron y siempre me exigieron ser mejor.

A mi abuelo Ramón por ser un hombre tan fuerte, único y amarme tanto; a mi tía Columba, una mujer con muchas virtudes y ejemplo a seguir como madre; a mi tío Esteban y mi tía Chela, por años de apoyo incondicional a la familia; a mis primos Sergio, Mariana, Edris y Alexis, que son personas maravillosas con un futuro brillante; a mi hermosa sobrinita Lizeth, a mi tía Rosita, Lupita, Rocio, Guillermina, Yolanda, Veda, Esperanza, a mi tío Jorge y familia en general.

A mis hermanos del alma Andrés, Arturo y Fernando por ser amigos incondicionales durante tantos años, y estoy segura que por muchos más.

A los amigos que he ido cultivando durante cada etapa de mi vida y tengo el gusto de que sigan formando parte de ella.

A los compañeros de la universidad con los que compartí muchas experiencias durante estos años, las cuales permitieron que ahora seamos amigos.

A Carlos Jiménez por su apoyo mientras escribía mi tesis y estar a mi lado en los buenos y malos momentos



Al Flako, que llegaste a mi vida en las circunstancias menos esperadas, produciendo sentimientos que no logro poner en palabras pero que hacen indispensable mencionarte en estas líneas por el gran valor y lugar que ocupas en mi vida. Gracias por demostrarme todo lo que significo para ti... ¡te amo!

Pero la dedico en especial a la mayor bendición de mi vida... MI AMADO HIJO, DANTE ABINOAM. Por llenar mi vida de felicidad y experiencias maravillosas e inigualables desde hace más de nueve años, por ser mi compañía en el sillón muchas noches mientras hacía mis tareas, porque muchas mañanas tu primera pregunta al despertar fue si había dormido, por ser un buen compañero de clases, porque cada día que veo tus hermosos ojos me haces sentir invencible y me recuerdas que hay un ser maravilloso por el que debo luchar. Soy una mujer muy afortunada por ser tu madre. El esfuerzo de estos años y este trabajo son tuyos porque sin tener opción cediste del tiempo que era para ti, para que lograra unos de mis sueños. El cual nos ofrece un mejor futuro. No hay suficientes palabras en el mundo para expresar lo orgullosa que me siento de ti y el gran amor que te tengo.

"El miedo ha favorecido más el conocimiento general del ser humano que el amor, pues el miedo quiere adivinar quién es el otro, qué es lo que puede, qué es lo que quiere: equivocarse en eso constituiría un peligro y una desventaja. El amor, por el contrario, tiene un secreto impulso a ver en el otro la mayor cantidad posible de cosas bellas o a elevarlo lo más alto posible: equivocarse a ese respecto sería para el amor un placer y una ventaja, y actúa de ese modo."

Friedrich Nietzsche

RESUMEN

El incremento de la población mexicana en las últimas décadas ha traído como consecuencia el aumento en la demanda del agua potable, lo que ha provocado sobreexplotación en los acuíferos y ha puesto en riesgo el abastecimiento del agua en la población.

Considerando lo anterior y con base en el análisis geológico, geofísico e hidrológico de la zona del Valle de Iguala, Guerrero, se estableció un modelo hidrogeológico conceptual para comprender el comportamiento del acuífero. En el área de estudio la presencia de rocas sedimentarias marinas (Formación Morelos y Mezcala) y terrígenas continentales (Grupo Balsas) que van del Cretácico Superior al Oligoceno, fueron intrusadas por el granito-granodiorita Coxcatlán durante el Eoceno. Sobreyaciendo las rocas sedimentarias del Oligoceno se encuentra la Riolita Tilzapotla del Oligoceno Tardío o los depósitos del Recientes. La principal unidad acuífera corresponde al conglomerado de matriz calcáreo-arenosa, limo y arcilla del Grupo Balsas de edad paleógena. Con ayuda de la exploración geofísica basada en el método Magnetotelúrico, se determinó que la unidad acuífera está a una profundidad de 30 m aproximadamente y tiene un espesor que varía de 50 a 250 m; así mismo, se identificó la presencia de un lente arcilloso a una profundidad promedio de 20 m, que confina en algunas zonas la parte superior del acuífero.

Basado en la red piezométrica, se observó que la dirección preferencial del flujo subterráneo es noreste-suroeste, se detectaron zonas de deformación en las líneas equipotenciales debido a la incipiente extracción de agua en la ciudad de Iguala y se identificó que el acuífero está conectado hidráulicamente con la Laguna de Tuxpan debido a que la laguna le aporta agua al acuífero. Los parámetros hidráulicos se estimaron por medio de la interpretación de dos pruebas de bombeo de larga duración con un caudal constante mediante el método de Cooper-Jacob. Los valores de transmisividad obtenidos son 5 [m^2/d] y 493 [m^2/d], mientras que el valor de la conductividad hidráulica horizontal es de 0.07 [m/d] y 10.64 [m/d]. Los valores obtenidos de la conductividad hidráulica horizontal son consistentes con la literatura para materiales de arenas arcillosas a arenas medias y conglomerados. La disparidad de los valores obtenidos en la transmisividad y la conductividad hidráulica horizontal nos indica una marcada heterogeneidad en el acuífero.

El comportamiento del acuífero granular del Valle de Iguala es de libre a semiconfinado, con una transmisividad y conductividad hidráulica horizontal de baja a media con caudales de extracción que van de 1.5 lt a 12 lt. Por lo que se clasifica como un acuífero de baja a mediana importancia hidrogeológica.

ABSTRACT

The rise of the Mexican population in recent decades has resulted in an increased water demand, which has resulted in overexploitation of aquifers and has endangered the water supply in the population.

Because of this and based on geological, geophysical and hydrological analysis of the Iguala Valley area, Guerrero, a conceptual hydrogeological model was established for understanding the behavior of the aquifer. In the study area, the presence of marine sedimentary rocks (Morelos Formation and Mezcala) and continental terrigenous (Balsas Group) from Late Cretaceous to Oligocene, were intruded by the granite-granodiorite Coxcatlán during the Eocene. Overlying Oligocene sedimentary rocks are the Late Oligocene rhyolite Tilzapotla or recent's deposits. The principal aquifer unit corresponds to the calcareous sandy matrix, silt and clay conglomerate Balsas group of Paleogene age. Geophysical exploration based on Magnetotelluric method help to establish the depth of the aquifer approximately at 30 m and a thickness ranging from 50 to 250 m, the presence of a clay lens were identified between an average depth of 20 m in some areas confining the top of the aquifer.

Based on the piezometric grid, a preferential direction northeast-southwest of groundwater flow was observed, deformation zones in the equipotential lines were detected due to incipient water extraction in the city of Iguala. because the lake brings water to the aquifer it is hydraulically connected to Tuxpan Lagoon. The hydraulic parameters were estimated through the interpretation of two long duration pumping tests with a constant flow through the Cooper-Jacob method. The transmissivity values obtained are 5 [m^2 / d] and 493 [m^2 / d], while the value of horizontal hydraulic conductivity is 0.07 [m / d] and 10.64 [m / d]. The values of horizontal hydraulic conductivity are consistent with the literature for materials of clayey sands to medium sands and conglomerates. The disparity between the values obtained in the transmissivity, horizontal hydraulic conductivity indicates a marked heterogeneity in the aquifer.

The behavior of Iguala Valley granular aquifer is water-table to semiconfined, with a horizontal hydraulic conductivity, transmissivity and low to medium with extraction volumes ranging from 1.5 lt to 12 lt. It is classified as an aquifer of low to medium hydrogeological importance.

ÍNDICE DETALLADO	Pág.
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	6
1.3. Objetivos	6
1.3.1. General.....	6
1.3.2. Específicos	6
1.4. Localización.....	7
1.5. Vías y medios de comunicación.....	9
1.6. Población y actividad económica.....	9
Capítulo 2 METODOLOGÍA Y MATERIALES	12
2.1. Recopilación de información.....	14
2.2. Trabajo de campo.....	14
2.2.1. Geología Local.....	14
2.2.2. Prospección Geofísica.....	15
2.2.3. Inventario de pozos de agua	18
2.2.4. Pruebas de bombeo	20
2.3. Procesamiento, interpretación e integración de los datos obtenidos en campo e información bibliográfica.....	24
2.3.1. Depuración de datos	24
2.3.2. Realización de las gráficas tiempo vs. ND, log tiempo vs. descenso, log tiempo vs. log descenso y log (t+t'/t') vs. descenso residual.....	24
2.3.3. Interpretación de las gráficas de bombeo y recuperación	25
Capítulo 3 GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE IGUALA	32
3.1. Geomorfología	33
3.2. Geología regional y Tectónica.....	34
3.3. Geología local	36
3.3.1. Estratigrafía	36
3.4. Hidrología superficial.....	48
3.4.1. Infraestructura hidráulica.....	50
3.4.2. Clima.....	50

3.5.	Hidrología subterránea	54
3.5.1.	Situación administrativa del acuífero.....	54
3.5.2.	Uso del agua subterránea	56
3.5.3.	Tipo del acuífero	57
3.5.4.	Parámetros hidráulicos	58
3.5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua del acuífero de Iguala.....	58
Capítulo 4 RESULTADOS.....		60
4.1.	Geología local	61
4.2.	Interpretación Geológica-Geofísica	63
4.3.	Inventario de Pozos de Agua.....	64
4.4.	Profundidad del nivel estático (PNE) y red de flujo subterráneo	64
4.4.1.	Profundidad del Nivel Estático (PNE).....	65
4.4.2.	Red de flujo subterráneo	65
4.5.	Característica de los parámetros hidráulicos	71
4.5.1.	Pozo 5	71
4.5.2.	Pozo 9	71
Capítulo 5 DISCUSIÓN		74
5.1.	Geología Local.....	75
5.2.	Interpretación Geológica-Geofísica	78
5.3.	Inventario de Pozos de agua	81
5.4.	Profundidad del nivel estático (PNE) y red de flujo subterráneo	81
5.4.1.	Profundidad nivel estático (PNE)	81
5.4.2.	Red de flujo subterráneo	82
5.5.	Características de los Parámetros Hidráulicos	83
5.5.1.	Pozo 5	84
5.5.2.	Pozo 9	91
Capítulo 6 CONCLUSIONES		99
Capítulo 7 RECOMENDACIONES		101
8. REFERENCIAS.....		103
ANEXOS.....		107
1. MAPA Y SECCIONES GEOLÓGICAS DEL VALLE DE IGUALA, GUERRERO.		
1:50,000.....		108

2. INVENTARIO DE POZOS DE AGUA.....	109
3. FORMATO DE LA ETAPA DE BOMBEO DEL POZO 5	119
4. FORMATO DE LA ETAPA DE RECUPERACIÓN DEL POZO 5.....	121
5. FORMATO DE LA ETAPA DE BOMBEO DEL POZO 9	122
6. FORMATO DE LA ETAPA DE RECUPERACIÓN DEL POZO 9.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Evolución de la disponibilidad media per cápita en México. SEMARNAT, 2008, CONAGUA, 2011.	2
Figura 1.2 Localización de la zona de estudio, Valle de Iguala, Guerrero.....	7
Figura 1.3. Localización del acuífero Iguala (1205). CONAGUA, 2008.....	8
Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto.	13
Figura 2.2 Equipo utilizado para la prospección geofísica. A) Consola ADU-07-e. B) Electrodo (EFP-06) de tipo Pb/PbCl ₂ y carrete. C) Bobina de inducción magnética (MFS-06e).....	16
Figura 2.3 Representación en campo del arreglo. Matzander y Wilde, 2007.....	17
Figura 2.4 Localización de los MT en la ciudad de Iguala de la Independencia, Guerrero.....	18
Figura 2.5 Ubicación de pozos con Nivel Estático conocido en el Valle de Iguala, Guerrero... ..	19
Figura 2.6 Formato utilizado para las pruebas de bombeo	21
Figura 2.7 Equipo utilizado para la prueba de bombeo: sonda marca HGE.....	22
Figura 2.8 Pozo 5 en el zócalo de la ciudad de Iguala, Guerrero.	22
Figura 2.9 Pozo 9 con cisterna y rebombéo en la ciudad de Iguala, Guerrero.	23
Figura 2.10 Pozo 7 en la ciudad de Iguala, Guerrero.....	23
Figura 2.11 Sección esquemática de un acuífero confinado con un pozo de bombeo totalmente penetrante y dos pozos de observación con penetración parcial.	26
Figura 2.12 Función de pozo W (u,r/B) en acuífero semiconfinado (Hantus, 1956).	30
Figura 3.1 Zonas geomorfológicas del Valle de Iguala, Guerrero (Hernández, 1995).....	33
Figura 3.2 Mapa esquemático de la distribución de los terrenos en el sur de México, ft: falla Teloloapan, fp: falla de Papalutla y fc: falla Chacalapa (Martini, 2009).....	35
Figura 3.3 Columna Estratigráfica del Valle de Iguala Guerrero (SGM, 2004).	37
Figura 3.4 Regiones y cuencas hidrogeológicas del estado de Guerrero (INEGI 2010).	49
Figura 3.5 Estaciones climatológicas ubicadas dentro del área de estudio.	51
Figura 3.6 Climatogramas promedio de la estaciones climatológicas ubicadas en el Valle de Iguala de 1970 al 2000. A) Estación Valerio Trujano, B) Estación Laguna de Tuxpan, C) Estación Iguala (SMN) y D) Estación Iguala (DGE).....	52
Figura 3.7 Mapa de isotermas del Valle de Iguala, Guerrero.....	53
Figura 3.8 Mapa de isoyetas del Valle de Iguala, Guerrero.	54
Figura 3.9 Zonas de veda en el estado de Guerrero (CONAGUA, 2008).....	55
Figura 3.10 Gráfica de uso del agua subterránea en el Valle de Iguala, Guerrero.	56

Figura 3.11 Gráfica de tipos de aprovechamientos de agua subterránea.	57
Figura 4.1 Mapa geológico del Valle de Iguala, Guerrero. Modificado de INEGI, 200 y SGM, 2004.	62
Figura 4.2 Perfil geoelectrico con interpretación geológica, también se muestran los pozos por los que pasa el perfil (Álvarez, 2011).....	63
Figura 4.3 Perfil hidrogeológico donde se muestran los pozos cercano al perfil y las unidades hidrogeológicas (Álvarez, 2011).....	63
Figura 4.4 Configuración de la profundidad del Nivel Estático del 2005 para el acuífero del Valle de Iguala, Guerrero.	67
Figura 4.5 Configuración de la elevación del Nivel Estático del 2005 para el Valle de Iguala, Guerrero.	68
Figura 4.6 Configuración de la profundidad del Nivel Estático del 2010 para el centro del ciudad de de Iguala, Guerrero.....	69
Figura 4.7 Red de flujo subterráneo del 2010 para el centro de la ciudad de Iguala, Guerrero.	70
Figura 4.8 Graficas de la prueba de bombeo del Pozo 5.	72
Figura 4.9 Gráficas de la prueba de bombeo del Pozo 9.	73
Figura 5.1 Perfil geoelectrico con interpretación geológica, también se muestran los pozos por los que pasa el perfil (Modificado de Álvarez, 2011).....	78
Figura 5.2 Perfil hidrogeológico donde se muestran los pozos por los que pasa el perfil y las unidades hidrogeológicas (Modificado de Álvarez, 2011).	78
Figura 5.3 Graficas interpretadas de la prueba de bombeo del Pozo 5.	85
Figura 5.4 Curvas teóricas para pruebas de bombeo en acuíferos granulares (Kruseman y Ridder, 2000).	86
Figura 5.5 Casos particulares dentro de una prueba de bombeo en acuíferos libres y semiconfinados.	88
Figura 5.6 Solución de la etapa de bombeo del Pozo 5 con el software AQTESOLV.	89
Figura 5.7 Gráficas de la prueba de bombeo del Pozo 9.	92
Figura 5.8 Curvas teóricas para pruebas de bombeo en acuíferos no consolidados. Kruseman y Ridder, 2000.....	93
Figura 5.9 Interpretación en AQTESOLV para acuíferos semiconfinados sin almacenamiento en el acuitardo.	96

Figura 5.10 Interpretación en AQTESOLV para acuíferos semiconfinados sin almacenamiento en el acuitardo..... 96

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1 Evolución de la población en el municipio. INEGI, 2010.....	10
Tabla 1.2 Principales sectores económicos del municipio de Iguala, Guerrero (INEGI, 2010).	11
Tabla 2.1 Coordenadas en UTM zona 14 de los sondeos MT en la ciudad de Iguala de la Independencia, Guerrero. Álvarez, 2011. Álvarez, 2011.	18
Tabla 2.2 Coordenadas en UTM zona 14 de los pozos con nivel estático conocido en el Valle de Iguala, Guerrero para el 2005 y 2010.....	19
Tabla 2.3 Intervalos de tiempo recomendados para la toma de datos durante una prueba de bombeo. Kruseman y Ridder, 2000.....	20
Tabla 3.1 Coordenadas en UTM zona 14 de la estaciones climatológicas	51
Tabla 3.2 Uso de los aprovechamientos de agua subterránea (REPDA, 2010 y 2011).....	56
Tabla 3.3 Tipos de aprovechamientos de agua subterránea (REPDA, 2010 y 2011).	57
Tabla 3.4 Parámetros fisicoquímicos de aprovechamientos de la ciudad de Iguala. CONAGUA, 2005.....	59
Tabla 4.1 Datos constructivos de los pozos que administra (CAPAMI, 2010).	64
Tabla 4.2 Valores de nivel estático y gradiente hidráulico de los pozos del Valle de Iguala que se utilizaron para las configuraciones para el 2005 y 2010, así como sus coordenadas de ubicación.....	65
Tabla 5.1 Litología y comportamiento hidrogeológico de las unidades en el Valle de Iguala, Guerrero.....	77
Tabla 5.2 Interpretación geológica del perfil geoeléctrico (Modificado de Álvarez, 2011).	80
Tabla 5.3 Interpretación hidrogeológica de las unidades geológicas del Valle de Iguala (Modificado de Álvarez, 2011.).....	81
Tabla 5.4 Parámetros hidráulicos obtenidos de la interpretación de las curvas de la gráfica B de la Imagen 5.2 del Pozo 5 del Valle de Iguala, Guerrero.	87
Tabla 5.5 Parámetros hidráulicos del acuífero obtenidos de la etapa de bombeo del Pozo 5 del Valle de Iguala, Guerrero.	88
Tabla 5.6 Parámetros hidráulicos obtenidos de la interpretación de las curvas de la gráfica B de la Figura 5.6 del Pozo 9 del Valle de Iguala, Guerrero.....	94



Tabla 5.7 Parámetros hidráulicos del acuífero obtenidos de la etapa de bombeo del Pozo 9 del Valle de Iguala, Guerrero. 94



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

LOCALIZACIÓN

VÍAS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN

POBLACIÓN Y ACTIVIDAD
ECONÓMICA

1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es fundamental para la civilización porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas por los seres humanos. A nivel global, el agua subterránea representa el 30% del agua dulce de la Tierra (Clarke y King, 2004), ahí la importancia de esta agua como reserva y recurso para las actividades de los seres humanos. Por lo que el conocimiento de este recurso, su evaluación, explotación racional y conservación son de vital importancia y de gran valor para el consumo humano, así como el desarrollo agrícola, económico e industrial de una región.

La evaluación del agua subterránea ha sido una tarea que ha adquirido gran importancia en las últimas décadas en nuestro país, esto debido a la explosión demográfica que trajo como consecuencia un incremento en la demanda del recurso.

En el 2010 en México existía una disponibilidad natural media de 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable. Al dividir esta cantidad entre el número de habitantes se obtuvo una disponibilidad natural media per cápita de 4,222 m³/habitante/año para el 2010 (CONAGUA, 2011).

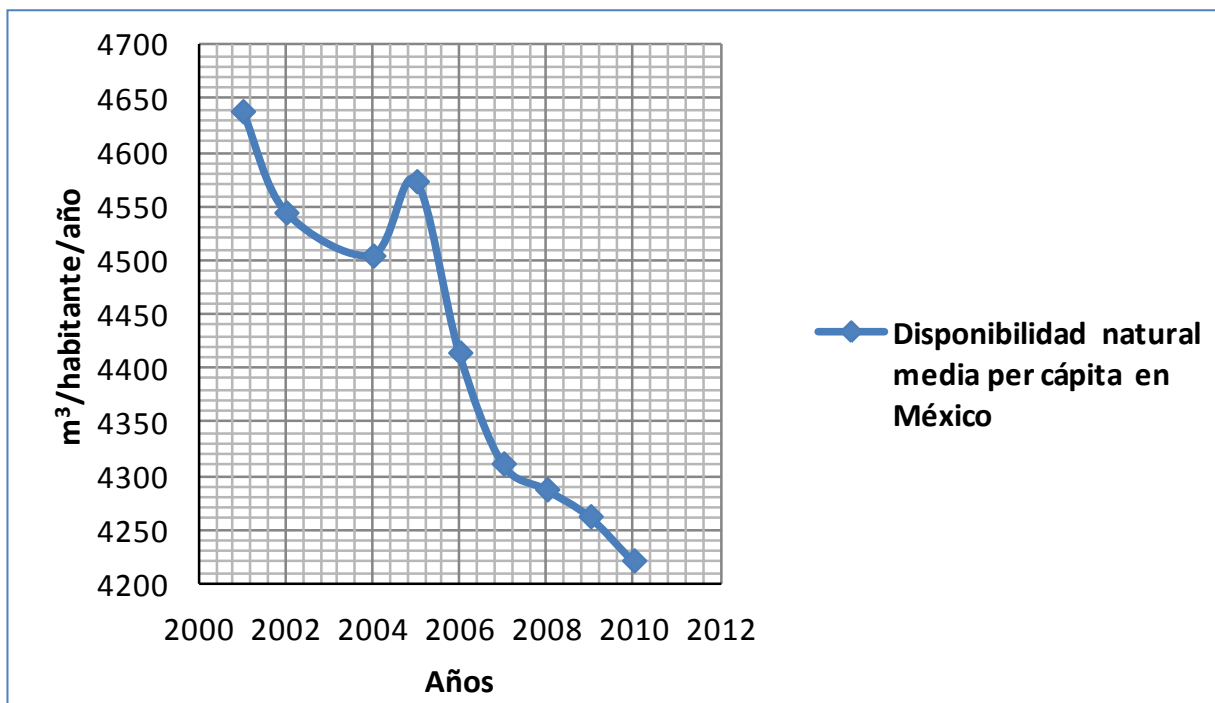


Figura 1.1. Evolución de la disponibilidad media per cápita en México. SEMARNAT, 2008, CONAGUA, 2011.



En la Figura 1.1 se puede apreciar la disminución de la disponibilidad media per cápita para México en el transcurso de los años.

En el caso de Iguala, Guerrero, la extracción anual es de 14 hm³/año, con una recarga de 20 hm³/año (Web 1), con esto datos se clasifica a este acuífero como subexplotado.

Con el fin de evitar la sobreexplotación y su contaminación, debido a su difícil renovación, se hace indispensable la realización de prospecciones hidrogeológicas que ayuden a comprender el comportamiento del agua subterránea, y diseñar planes de gestión que consideren lo siguiente:

- Características geológicas e hidrogeológicas del acuífero
- Factores de escorrentía subterránea
- Hidrogeoquímica
- Balance de aguas subterráneas y conocimiento de la zonas de recarga
- Características técnicas y económicas de las obras de captación
- Posibilidades técnica y económicas de explotación
- Políticas a largo plazo de la explotación

1.1. Antecedentes

- a) **Fries, Carl. "Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México", 1960.**

El estudio define y cartografía las unidades litológicas de una región colindante con el límite sur de la cuenca de México, describe los tipos de accidentes tectónicos que afectaron dichas unidades y presenta datos más exactos sobre el origen e historia de la cuenca endorreica en que está situada la Ciudad de México



b) Compañía Geofimex, S.A., "Estudio geofísico en las proximidades de Iguala, Guerrero", 1977.

Propone la perforación de pozos de abastecimientos de agua en la parte NE de la dolina de Pololcingo, tras el análisis de tres perfiles cada uno con tres sondeos eléctricos hasta una profundidad de 500 m.

c) I.C.G.S.A., "Informe de la zona de Almolonga, Apango, Citlala, Huitzuco e Iguala en el Estado de Guerrero", 1979.

Establece las posibilidades de la existencia de acuíferos saturados a través de Sondeos Eléctricos Verticales en las zonas de Almolonga, Apango, Citlala, Huitzuco e Iguala.

d) EXYCO, S.A., "Estudio Geológico-Estructural y de prospección geohidrológica en la zona de Iguala-Cocula, Estado de Guerrero", 1988.

Propone un modelo hidrogeológico conceptual en la zona de Iguala-Cocula, donde se identificaron cinco unidades hidrogeológicas las cuales se mencionan a continuación:

- I. Acuífero libre que está constituido por depósitos recientes (aluvión) y conglomerado.
- II. Confinante superior del acuífero calcáreo constituido por las Formaciones Oapan, Riolita Tilzapotla, Grupo Balsas, Tetelcingo, Mexcala y Cuautla (facies clástico-carbonatadas).
- III. Acuífero calcáreo formado por las Formaciones Morelos y Cuautla (facies de plataforma).
- IV. Confinante inferior del acuífero calcáreo constituido por la Anhidrita Huitzuco y Chilacachapa.
- V. Barrera de flujo lateral e inferior: intrusivo ácido.



e) Ortega-Gutiérrez, Fernando. "Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolución of México", 1993.

El tema de este trabajo es la geología y tectónica de México. Presenta una nueva división de terrenos tectonoestratigráficos usando una base de datos geológicos y geofísicos mucho más extenso que en cualquier otra división anterior, y proponen un modelo cinemático de la evolución tectónica para estos terrenos del Precámbrico al Cenozoico.

f) Hernández, M. G., "Estudio estratigráfico y diagenético de la secuencia sedimentaria cretácica en el área de Iguala del Estado de Guerrero", Tesis Licenciatura, F.I. UNAM, 1995.

Esta tesis presenta información a detalle de la características litológicas, estratigráficas y diagenéticas de las formaciones que afloran de la zona de Iguala de la Independencia, así como la clasificación la geomorfología de la región en cuatro zonas.

g) Carta Geológico-Minera Iguala E14-A78 Guerrero y Morelos, 2004

Esta carta editada por el SGM muestra la topografía a escala 1:50,000, junto con la distribución y una descripción de las unidades geológicas presentes del área comprendida por las coordenadas geográficas 18°15' a 18°30' de latitud norte y 99°20' a 99°40' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 975 km². Además, muestra una descripción del potencial minero de la región.

h) CONAGUA, "Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 1205 Iguala, Estado de Guerrero, 2008 y 2009.

Estos trabajos describen el modelo hidrológico conceptual del acuífero de Iguala, los parámetros hidráulicos de los cuerpos de roca por los que pasa el acuífero, los niveles estáticos y el balance de aguas subterráneas con el que se determinó la disponibilidad de agua para el acuífero de Iguala.



1.2. Justificación

Debido al excesivo crecimiento de la población en las últimas décadas en el país, se ha tenido la necesidad de sobreexplotar los recursos naturales con lo que se ha provocado escasez. Uno de estos casos es el aumento en la demanda del agua, ya que ésta es indispensable para el sustento y desarrollo de las poblaciones.

En el caso del acuífero de Iguala, la relación extracción-recarga es de $0.7 \text{ hm}^3/\text{año}$, con este dato se clasifica a este acuífero como subexplotado (Web 1).

Por lo anterior, se hace indispensable contar con información que permita cuantificar dentro de lo posible la disponibilidad que se tiene de este recurso para mantener este mismo régimen y tener una buena gestión del acuífero sin alterar el balance natural.

Por tal motivo en la cabecera municipal Iguala de la Independencia, en el estado de Guerrero, se realizó el presente estudio.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Establecer el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero del Valle de Iguala en el Estado de Guerrero, que representa una fracción del acuífero definido con la clave 1205 Iguala en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, para una gestión idónea y evitar la sobre explotación.

1.3.2. Específicos

- Establecer el modelo geológico del Valle de Iguala, Guerrero por medio de la interpretación geológica-geofísica.

El límite del acuífero de Iguala (1205) se localiza entre los paralelos $17^{\circ}49'23.6''$ y $18^{\circ}37'57.1''$ y entre los meridianos $99^{\circ}22'17''$ y $99^{\circ}55'55.8''$ al oeste de Greenwich, los cuales se pueden observar en la Figura 1.3. Su área comprende una superficie aproximada de 2356 km^2 y se localiza en la porción norte centro occidental del estado de Guerrero. Colinda al norte con los acuíferos Buenavista de Cuellar y Arcelia, al sur con Chilapa, al este con el acuífero Poloncingo y al oeste con Tlacotepec (CONAGUA, 2009).

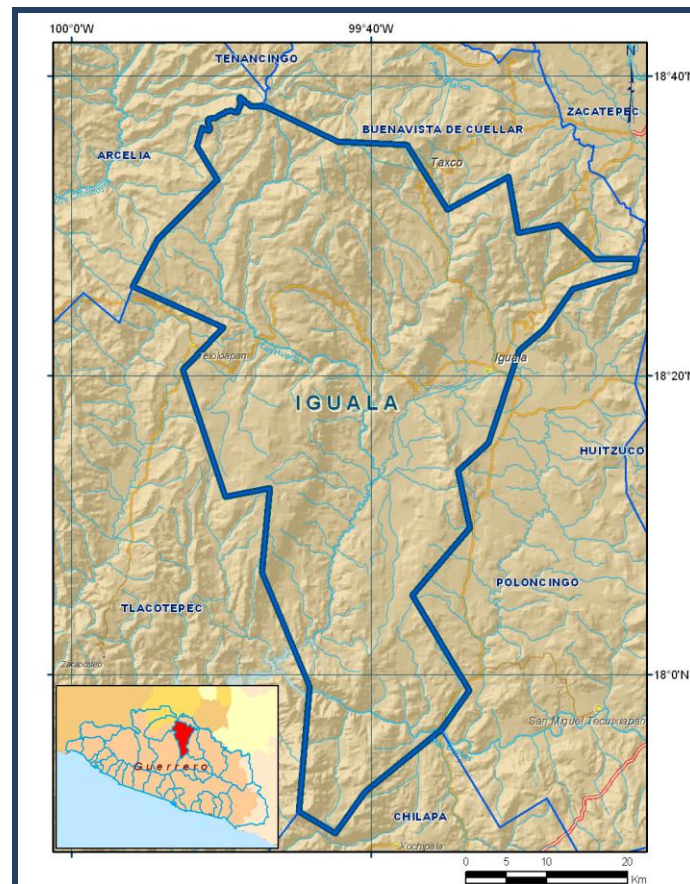


Figura 1.3. Localización del acuífero Iguala (1205). CONAGUA, 2008.

Los municipios que comprenden el acuífero son Ixcateopan de Cuauhtémoc en su totalidad, así como gran parte de Iguala de la Independencia, Cocula y Taxco de Alarcón. En aproximadamente un 50% participan los municipios de Pedro Ascencio Alquisiras, Buenavista de Cuéllar, Cuetzala del Progreso, así como una pequeña parte de los municipios de Teloapan, Eduardo Neri y Tepecoacuilco de Trujano (CONAGUA, 2008).



Entre las principales poblaciones dentro del área se encuentran Taxco de Alarcón, Huaxtla, Iguala, Buenavista de Cuéllar, Coacoyula de Álvarez, entre otras.

1.5. Vías y medios de comunicación

La cabecera municipal Iguala de la Independencia, Guerrero, cuenta con 48 km de caminos pavimentados y 16.2 km de caminos rurales, los cuales llevan a diferentes comunidades que la colindan, como lo es Santa Teresa, Tuxpan, Tomatal, Tepecoacuilco de Trujano, Coacoyula, Zacacoyuca, Metlapa y el municipio de Buenavista de Cuéllar; se tiene servicio de autobuses urbanos y suburbanos, combis, taxis, camiones de carga, mudanza de materiales para construcción, grúas y pipas, además de centrales de autobuses.

Se encuentra conectada por las carreteras:

- Carretera Federal 95D (Iguala - Cuernavaca - México, D. F.) de cuota
- Carretera Federal 95 (Iguala - México, D. F., Iguala - Acapulco)
- Carretera Federal 51 (Iguala - Teloloapan - Ciudad Altamirano)
- Carretera Estatal 1 (Iguala - Huitzucó - Atenango del Río - Copalillo)
- Iguala-Taxco-Ixtapan de la Sal
- Iguala-Tomatal
- Iguala-Ahuacatitlan

También cuenta con el desarrollo del Periférico que son más de 15.5 km.

En la ciudad sólo se cuenta con 2 líneas de autobuses foráneos como Estrella de Oro y Líneas Unidas del Sur.

En la cabecera municipal la población cuenta con teléfonos, administración de telégrafos, administración de correo, agencias de correo, radiodifusoras y radio telefonía (Web 2).

1.6. Población y actividad económica

Según la información proporcionada por el Censo de Población y Vivienda, 2010, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), el municipio de Iguala



de la Independencia tiene un población total de 140,363 habitantes, de los cuales 67,611 son hombres y 72,752 son mujeres.

La población total del municipio representa el 4.14 por ciento con relación a la población total del estado y la tasa de crecimiento intercensal 2000-2010 es de 1.25 por ciento, con base en el Manual de Medidas Sociodemográficas del INEGI (1997).

En la tabla 1.1 se muestra la evolución de la población en el municipio respecto al Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2010).

Tabla 1.1 Evolución de la población en el municipio. INEGI, 2010.

Año	Población
1960	39,732
1970	61,173
1980	83,328
1990	101,067
2000	123,960
2010	140,363

Los principales sectores, productos y servicios referentes a la actividad económica son:

- Agricultura

Destaca la producción del maíz, estropajo, sorgo, grano, cacahuate, jitomate, sorgo forrajero, tomate y ajonjolí.

- Ganadería

Existen especies pecuarias tanto de ganado mayor como de ganado menor; de la primera destacan los bovinos, porcinos, caprinos, ovinos y equinos. Respecto a la segunda, existen aves de engorda y postura, así como colmenas.

- Industria

Planta laminadora de mármol.

- Servicios

Hoteles, campo aéreo, moteles, centros nocturnos, restaurantes, agencias de viajes, transporte turístico, etcétera.

- Turismo

Se ofrece al turismo variedad de productos de oro, plata, cobre, museos y albercas.



De acuerdo con cifras presentadas por el INEGI (2010), la población económicamente activa del municipio se presenta de la siguiente manera:

Tabla 1.2 Principales sectores económicos del municipio de Iguala, Guerrero (INEGI, 2010).

Sector	Porcentaje
Primario (agricultura, ganadería, caza y pesca)	5.69
Secundario (minería, industria manufacturera, construcción y electricidad)	21.88
Terciario (comercio, turismo y servicios)	70.42
Otros	2.01



CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA Y MATERIALES

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

TRABAJO DE CAMPO

PROCESAMIENTO, INTERPRETACIÓN
E INTEGRACIÓN DE LOS DATOS
OBTENIDOS EN CAMPO E
INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. MÉTODOS Y MATERIALES

Para el desarrollo adecuado de este proyecto fue indispensable tener claro una metodología a seguir, por lo cual se desarrolló un diagrama de flujo donde se plasmó el orden de las acciones que se realizaron.

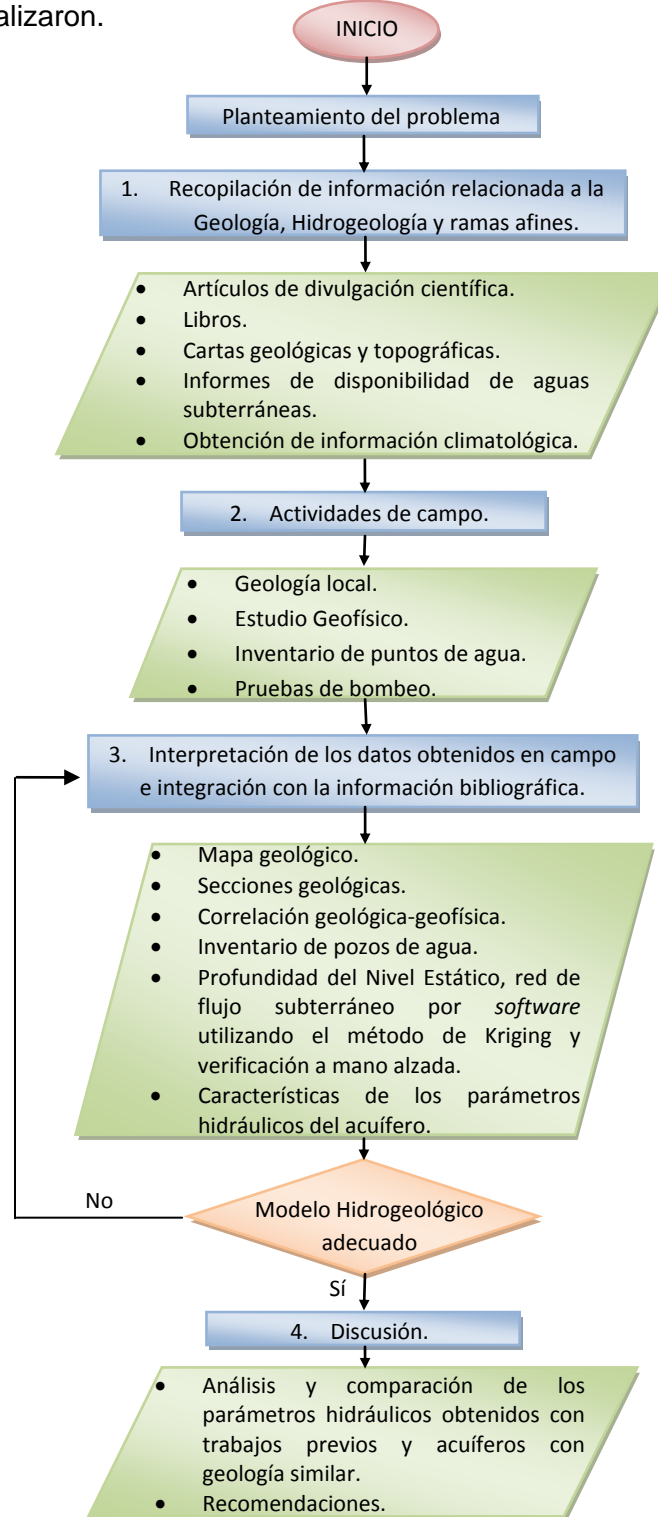


Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto.



2.1. Recopilación de información

Se recopiló la información climatológica, geológica y socioeconómica, actual e histórica, necesaria para la realización del proyecto. Se consultaron estudios e información hidrogeológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en la Gerencia de Aguas Subterráneas, oficinas centrales y estatales, así como estudios efectuado por otras dependencias o empresas. Además, se realizaron entrevistas con personal técnico de dependencias oficiales encargadas de la administración del agua y se buscaron artículos de divulgación científica relacionadas al tema.

La información fue seleccionada, ordenada, analizada y evaluada para tener bases de datos que específicamente sirvieron a los estudios, disponiendo la información en resúmenes fáciles de consultar.

2.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió de dos campañas que se realizaron en los meses de octubre de 2009 y febrero de 2010. Estas campañas fueron fundamentales debido a que permitieron verificar la información obtenida de la investigación bibliográfica y obtener nuevos datos para complementar el conocimiento del área de estudio.

2.2.1. Geología Local

Previo a la visita a campo se elaboró un mapa geológico 1:50,000 (Anexo 1) con la ayuda de la información obtenida del INEGI, del Servicio Geológico Mexicano y de estudios previos que se mencionan en el capítulo 1, en el cual se identificaron las estructuras principales y los cuerpos de roca. Posteriormente se realizó una campaña para recorrer los alrededores de la ciudad de Iguala de la Independencia.

Debido a la falta de cortes litológicos para detallar las unidades en el subsuelo se utilizó la prospección geofísica y el mapa geológico 1:50,000 de Iguala de la Independencia, Guerrero.



2.2.2. Prospección Geofísica

Los suelos, sedimentos y rocas son malos conductores de electricidad, es decir, presentan oposición al paso de la corriente eléctrica. A esta situación se le llama resistividad y se mide en $\Omega \cdot m$. La resistividad de los suelos, sedimentos y rocas disminuye cuando están saturados de agua y presentan otras características mecánicas como el grado de fracturamiento, compacidad, porosidad, metamorfismo, entre otras.

El método geofísico que se utilizó en este proyecto fue el Magnetotelúrico (MT). El método MT es una técnica pasiva de exploración que mide simultáneamente las variaciones de campo magnético H y campo eléctrico E , utilizando las variaciones naturales del campo electromagnético que fluye en el subsuelo a diferentes profundidades (Álvarez, 2011). Dicho método nos brinda información sobre la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, dicha propiedad posteriormente se puede correlacionar con la información geológica e hidrogeológica para determinar los límites de acuíferos, zonas de alta transmisividad, variaciones de permeabilidad y localización de sistemas de fracturas (Schwinn y Tezkan, 1997). Al ser un método de fuente natural es versátil y práctico en el campo, ya que no es necesario implementar grandes tendidos de cable ni la presencia de grandes fuentes de energía (Pous y Marcuello, 2003; Simpson y Bahr, 2005).

La prospección geofísica se realizó en agosto del 2010 en los alrededores y dentro del municipio de Iguala de la Independencia, Guerrero, y se planeó con base en la información geológica e hidrogeológica recabada previamente, de tal manera que los lugares seleccionados para realizar el estudio de MT fueran los más viables para optimizar la caracterización del acuífero.

El instrumento utilizado fue una consola ADU-07-e, de la compañía alemana Metronix Inc., que consiste en una unidad de adquisición, filtrado y amplificación de las señales, 3 bobinas y 5 electrodos (Figura 2.2).



Figura 2.2 Equipo utilizado para la prospección geofísica. A) Consola ADU-07-e. B) Electrodo (EFP-06) de tipo Pb/PbCl₂ y carrete. C) Bobina de inducción magnética (MFS-06e).

El arreglo de la prospección consistió de cinco electrodos que fueron enterrados a una profundidad de 15 cm, aproximadamente, formando una cruz. Para evitar variaciones en la temperatura, los electrodos se cubrieron con una mezcla lodosa para aislarlos (Matzander y Wilde, 2007). El quinto electrodo se puso en el centro del arreglo y funcionó como descarga a tierra para protección del instrumento.

Los dipolos por lo general se alinean norte-sur y este-oeste, formando una cruz, creando en el terreno cuatro cuadrantes, donde se medirán las componentes del campo magnético H_x, H_y y H_z.

Las bobinas se enterraron en el suelo a 15 cm de profundidad y a 5 m del equipo. La bobina de la componente “z” se enterró hasta la mitad de su tamaño a fin de evitar problemas en la adquisición. El extremo libre de las bobinas se cubrió con una tapa de protección que evitó que el cable se doblara o sufriera algún daño. Cada una de las bobinas se orientó y niveló norte-sur en el eje “x”, este-oeste para eje el “y” y Z en posición vertical. El arreglo teórico en campo se puede ver en la Figura 2.3.

Tanto los dipolos como los sensores magnéticos se conectaron al equipo central con sus respectivos cables, quedando lo más cercanos al suelo y cuidando que no se formaran espiras para evitar posible ruido en la señal

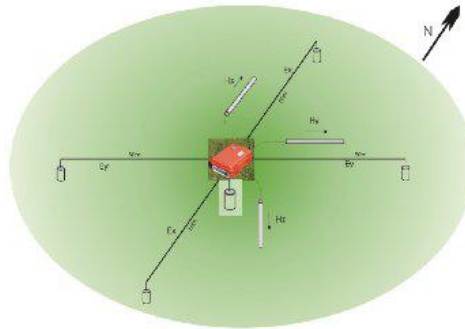


Figura 2.3 Representación en campo del arreglo. Matzander y Wilde, 2007.

El tiempo total de prospección por sitio fue de entre 4 y 6 horas, sólo fue posible prospectar seis lugares en el municipio de Iguala (Figura 2.4).

Estos lugares fueron elegidos debido a que el entorno que los rodeaba estaba menos saturados de fuentes de ruido, campos magnéticos por líneas de alta tensión, perturbaciones magnéticas y sísmicas de autos, árboles y arbustos movidos por el viento entre otros.

Con este método se obtuvo un perfil geoelectrico.



Figura 2.4 Localización de los MT en la ciudad de Iguala de la Independencia, Guerrero.

Tabla 2.1 Coordenadas en UTM zona 14 de los sondeos MT en la ciudad de Iguala de la Independencia, Guerrero. Álvarez, 2011. Álvarez, 2011.

Puntos	COORDENADAS			DIRECCIÓN
	X	Y	Z	
MT-1	444289	2029652	766	Tecnológico de Iguala
MT-2	443468	2030792	785	Universidad Tecnológica
MT-3	441459	2030019	759	Col. Guadalupe (Cancha de futbol)
MT-4	445528	2028560	756	Canchas de futbol "El Edén"
MT-5	445069	2028771	765	Canchas de Futbol
MT-6	445636	2027492	764	Av. Colegio Militar

2.2.3. Inventario de pozos de agua

A la ciudad de Iguala se llegó el viernes 1 de octubre de 2010 en la tarde, ese mismo día se tuvo una entrevista con el personal de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Iguala (CAPAMI) para que nos facilitaran información constructiva de los pozos de la ciudad de Iguala (Anexo 2) y coordinarnos para visitar los pozos el 4 de octubre del 2010, algunos de estos que no estaban contemplados para la realización de la prueba de bombeo.

En la tabla 2.2 se muestran las coordenadas de los pozos que se conoce su nivel estático de la CONAGUA (2005) y visitas del 2010 (Figura 2.5). De estos, 10 pozos fueron visitados (del Pozo 1 al 9 y el Pozo 15).

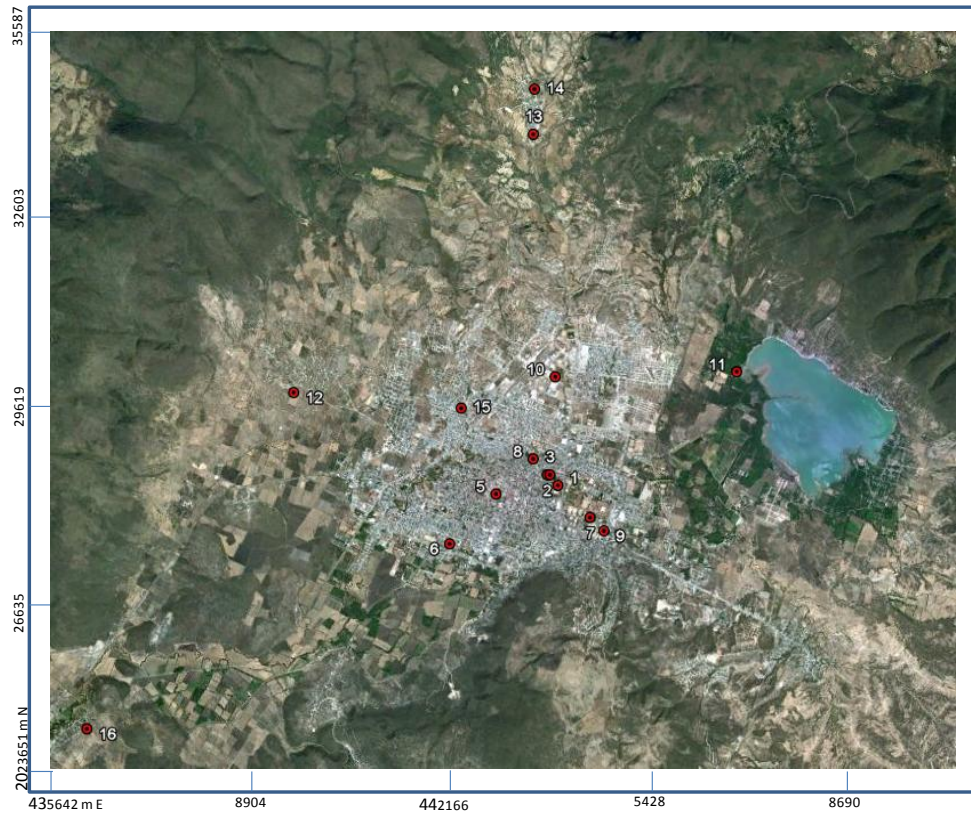


Figura 2.5 Ubicación de pozos con Nivel Estático conocido en el Valle de Iguala, Guerrero.

Tabla 2.2 Coordenadas en UTM zona 14 de los pozos con nivel estático conocido en el Valle de Iguala, Guerrero para el 2005 y 2010.

#	Nombre	X	Y
1*	Pz-1	443910	2028578
2*	Pz-2	443739	2028749
3*	Pz-3	443781	2028749
4	Pz-4	441962	2028459
5*	Zócalo	442910	2028446
6	Pz-6	442157	2027662
7**	Lienzo Charro	444427	2028070
8	Pz-8	443512	2028998
9*	Pz-9	444652	2027862
10	Pz-10	443872	2030293
11	Pz-11	446801	2030365
12	Jardín Pueblo Viejo	439652	2030055
13	El Naranjo	443531	2034102
14	El Naranjo (2)	443557	2034812
15	Col. Zapata	442351	2029803
16	Metlapa	436294	2024769

* Pozos con NE solo para el 2010. ** Pozo con NE para 2005 y 2010. Los pozos restantes solo se conoce el NE para el 2005.

2.2.4. Pruebas de bombeo

Las pruebas de bombeo son la herramienta más confiable para determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero, por lo que se realizaron dos pruebas de bombeo de larga duración para el proyecto.

Las pruebas se realizaron del 2 al 5 de octubre de 2010 en Iguala de la Independencia, Guerrero. Se verificó que los pozos hubieran parado su bombeo 24 hrs antes de empezar las pruebas, el cual se consideró tiempo suficiente para que se restableciera el nivel del agua a sus condiciones iniciales y obtener lecturas más precisas.

Los pozos elegidos para la prueba de bombeo están registrados en CAPAMI con la clave: 9, 7 y 5. El pozo 9 se había seleccionado para ser pozo de observación, debido a que se localiza a 400 m aproximadamente del pozo 7, pero como la bomba del pozo 7 no funcionaba se eligió éste como pozo de observación. La localización y coordenadas de los pozos 5, 7 y 9 se pueden consultar en la Figura 2.5 y la Tabla 2.2.

Los intervalos de tiempo para las lecturas durante el bombeo se establecieron como se muestran a continuación para el pozo 5 y 9 (Tabla 2.3.).

Tabla 2.3 Intervalos de tiempo recomendados para la toma de datos durante una prueba de bombeo. Kruseman y Ridder, 2000.

Tiempo de empezado el bombeo	Intervalo entre las lecturas
0 – 2 min	30 seg
2 min -15 min	1 min
15 min – 50 min	5 min
50 min – 90 min	10 min
90 min – 300 min (5 hrs.)	30 min
5 hrs. – 19 hrs	2 hrs
19 hrs. – 48 hrs.	4 hrs

Para la recuperación del pozo 9 los primeros tres minutos se midieron cada 15 segundos, posteriormente se siguieron los mismo intervalos establecidos para la prueba de bombeo.

Para tomar las mediciones se utilizó una sonda marca HGE con un rango de 0 a 1 mA de 100 m de longitud graduada cada metro con un electrodo en la punta de aproximadamente 10 cm.

Para facilitar el manejo de los datos constructivos de los pozos y las mediciones del nivel del agua durante la prueba, se utilizó el formato que se muestra en la Figura 2.6.

Pruebas de bombeo						
Pozo: _____		Clave: _____		Etapa: <input type="checkbox"/> Abatimiento <input type="checkbox"/> Recuperación		
Estado: _____						
Localidad: _____						
Coordenadas: _____				Datum: WGS84 _____		
Dirección: _____						
Propietario: _____						
Prof. NE: _____ m		NE-Bro: _____ m		Año: _____		
Q extraído: _____ l/s = _____ m ³ /d		del medidor		Prof.Total: _____ m aprox		
Ø Colum.Succión: _____				Tipo: <input type="checkbox"/> Bombeo <input type="checkbox"/> Observación		
Ø Tuber.Descarga: _____				Uso: _____		
Brocal: _____ m		Mediciones referidas: _____				
No	Fecha	Hora	t (min)	Pn D (m)	Abat	Observaciones
1			0			Observaciones
2			0.5			
3			1			
4			1.5			
5			2			
6			3			
7			4			
8			5			
9			6			
10			7			
11			8			
12			9			
13			10			

Figura 2.6 Formato utilizado para las pruebas de bombeo

Antes de comenzar la prueba de bombeo se tomó lectura de las coordenadas (x, y, z) en UTM con Datum WGS84 con un GPS marca Garmin, se midió la altura del brocal y el diámetro de la tubería con un flexómetro Santul de 5 m y el nivel estático del pozo con la sonda (Figura 2.7).



Figura 2.7 Equipo utilizado para la prueba de bombeo: sonda marca HGE.

Las mediciones piezométricas del nivel estático se obtuvieron introduciendo la sonda por un costado del pozo; cuando el electrodo entraba en contacto con el agua, el amperímetro de la sonda indicaba 1 y se le ponía una marca con el número de lectura que correspondía.

Una vez que se adquirieron estos datos se inició la prueba para el Pozo 5 ubicado en el zócalo de la ciudad a las 9:34 hrs. del 2 de octubre con un caudal constante de 12 l/s (Figura 2.8).



Figura 2.8 Pozo 5 en el zócalo de la ciudad de Iguala, Guerrero.

El tiempo de duración de la etapa de bombeo fue de 2880 minutos, tiempo en el cual el pozo logro el descenso máximo y el equilibrio (Anexo 3), inmediatamente que se paró la bomba se empezaron a tomar las lecturas de la etapa de recuperación, la cual duró 25 minutos y el nivel dinámico se recuperó en un 99% comparándolo con el nivel estático inicial (Anexo 4).

La prueba en el Pozo 9 (Figura 2.9) inicio a las 13:24 hrs. del 2 de octubre de 2010 con un caudal constante de 1.5 l/s. La etapa de bombeo tuvo una duración de 3937 minutos (Anexo 5). Una vez que el pozo se estabilizó se paró la bomba e inmediatamente se empezaron a tomar las medidas de la etapa de recuperación. Esta etapa tuvo una duración de 510 minutos (Anexo 6) con una recuperación del nivel dinámico de 98.5% con respecto al nivel estático inicial.



Figura 2.9 Pozo 9 con cisterna y rebombéo en la ciudad de Iguala, Guerrero.

Como se mencionó al principio, el Pozo 7 fue elegido como pozo de observación para la prueba de bombeo del Pozo 9. Antes de empezar la prueba en el Pozo 9 se midió el nivel estático en el Pozo 7 y se estableció que los intervalos de tiempo serían de 4 hrs. entre cada lectura. En caso de observar un descenso en el Pozo 7 se tomarían las lecturas conforme a los intervalos establecidos para los Pozos 5 y 9. Durante la etapa de bombeo del Pozo 9 no se percibió ninguna variación en el nivel estático del Pozo 7 (Figura 2.10).



Figura 2.10 Pozo 7 en la ciudad de Iguala, Guerrero.



2.3. Procesamiento, interpretación e integración de los datos obtenidos en campo e información bibliográfica.

2.3.1. Depuración de datos

Después de haber realizado las pruebas de bombeo en campo se procedió a trabajar los datos obtenidos en gabinete. La información se incorporó en formatos previamente hechos en Excel (Anexos 3-6) para facilitar su depuración e interpretación.

Al tomar las mediciones durante el bombeo y recuperación de los pozos éstas no estaban referidas al brocal, por lo cual fue necesario hacer una corrección topográfica a todos los datos para obtener nivel estático corregido. En el caso del Pozo 5, la altura del brocal era negativa debido a que se encontraba debajo del nivel topográfico.

Una vez que se le sumó o restó el brocal a todos los datos dependiendo el caso se procedió a obtener el descenso (s) y descenso residual (s'). El procedimiento fue restarle al Nivel Dinámico (ND) el Nivel Estático corregido (NE) para realizar la gráficas de *tiempo vs. ND*, *log del tiempo vs. s*, *log del tiempo vs. log s* y *log (t+t'/t') vs. s'*.

2.3.2. Realización de las gráficas tiempo vs. ND, log tiempo vs. descenso, log tiempo vs. log descenso y log (t+t'/t') vs. descenso residual.

Para la realización de las gráficas se verificó que los datos del ND y descenso estuvieran en metros (m) y los del tiempo en minutos (min). Una vez que se tuvieron los datos en las unidades pertinentes se procedió a representar el bombeo y la recuperación en una sola gráfica.

Para la gráfica de tiempo(t) vs. nivel dinámico(ND) de los pozos 5 y 9 se utilizó el tiempo corrido que duró de la prueba, correspondiente al bombeo y la recuperación en el eje de las abscisas y sus respectivos niveles en el eje de las ordenadas, dejando ambos ejes en escala lineal.



La gráfica log tiempo (t) vs. descenso (s) para cada uno de los dos pozos se realizó utilizando sólo los datos que corresponden a la etapa de bombeo en los pozos. El tiempo se representó en el eje de las abscisas en escala logarítmica y en el eje de las ordenadas los descensos en escala lineal.

Para las gráficas de los pozos log tiempo (log t) vs. log descenso (log s) se siguió el procedimiento de la gráfica anterior con la variación de que el eje de las ordenadas se utilizó en escala logarítmica.

Para realizar la gráfica de recuperación de ambos pozos, el tiempo (t) se transformó a la forma $(t+t'/t')$, donde:

t = tiempo total de bombeo en minutos.

t' = tiempo a partir de que empezó la recuperación en minutos.

Una vez que el tiempo se transformó, esta nueva forma $(t+t'/t')$ se representó en el eje de las ordenadas en escala logarítmica y sus respectivos descensos residuales (s') en el eje abscisas en escala lineal.

Nota: Para el Pozo 5 las últimas diez lecturas en la etapa de descenso fueron descartadas, mientras que para el Pozo 9 la últimas cinco en la etapa del descenso para la realización de las gráficas t vs. s, t vs. log s y logt vs. log s debido a problemas de variación en la corriente eléctrica.

2.3.3. Interpretación de las gráficas de bombeo y recuperación

El método elegido para la interpretación de las pruebas de bombeo fue el método de Cooper-Jacob (1946), el cual es una simplificación del método de Theis (1935).

En este método los valores de "u" decrecen cuando el tiempo se incrementa y cuando la distancia radial "r" decrece. Este método implica el truncamiento de la serie infinita de Taylor que se utiliza para estimar la función del pozo W(u). Debido a este truncamiento, no todos los

primeros datos de medición se consideran válidos para este método de análisis. De todo lo anterior la ecuación resultante es:

$$s = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} \left[-\ln 1.78 - \ln \left(\frac{r^2 S}{4Tt} \right) \right] \dots\dots\dots(1)$$

donde,

- s: descenso en m.
- T: transmisividad en m²/d.
- Q: l caudal de bombeo en m³/d.
- Δ(h₀-h): descenso por ciclo logarítmico de tiempo, o en la ecuación general de la curva de tendencia es la pendiente. Este valor debe multiplicarse por 2.3 si esta en log₁₀ para pasarlo a ln.
- S: es el coeficiente de almacenamiento (adimensional).
- r: es la distancia del pozo de observación al pozo de bombeo o el radio del pozo en metros.
- t: tiempo en segundos.

Esta solución es apropiada para las condiciones que se observan en la Figura 2.11.

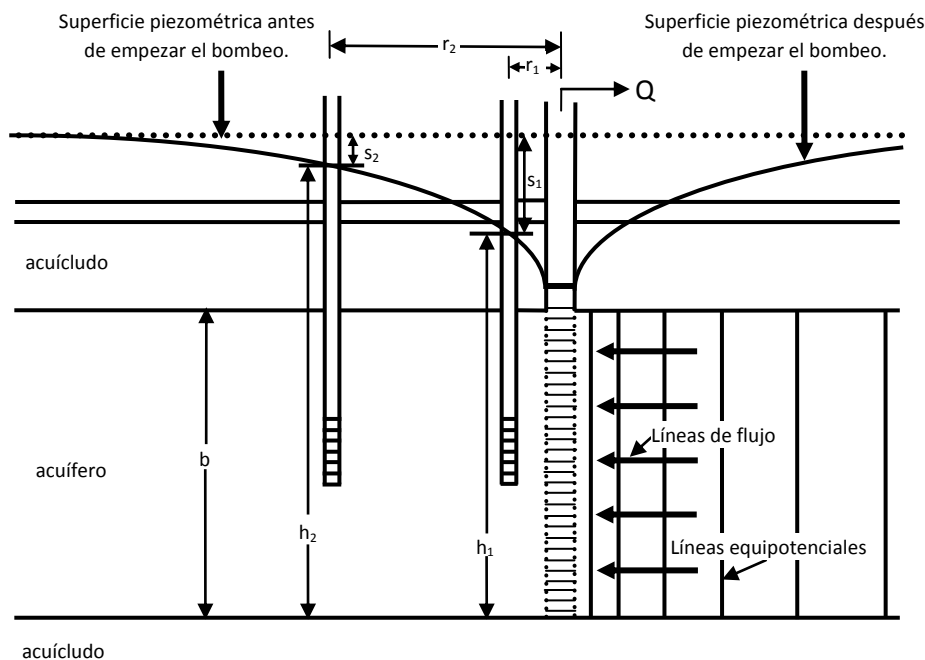


Figura 2.11 Sección esquemática de un acuífero confinado con un pozo de bombeo totalmente penetrante y dos pozos de observación con penetración parcial.



Así que la solución de Cooper-Jacob considera las siguientes suposiciones:

- El acuífero es confinado y tiene una extensión aparentemente infinita.
- El acuífero es homogéneo, isotrópico, y de espesor uniforme en el área influenciada por el bombeo.
- La superficie piezométrica era horizontal antes de haber empezado el bombeo.
- El bombeo en el pozo es a caudal constante.
- El pozo de bombeo es totalmente penetrante.
- Los valores de $u=r^2S/4Tt$ son pequeños ($u < 0.01$)

Tras estas consideraciones y desarrollando la ecuación 1 obtenemos,

$$T = 0.183 \frac{Q}{m} \dots\dots\dots(2)$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

- T es la transmisividad en m²/d.
- Q es el caudal de bombeo en m³/d.
- m es Δ(h₀-h) descenso por ciclo logarítmico de tiempo, o en la ecuación general de la curva de tendencia es la pendiente. Este valor debe multiplicarse por 2.3 si esta en ln para pasarlo a log₁₀.
- S es el coeficiente de almacenamiento (adimensional).
- r es la distancia del pozo de observación al pozo de bombeo o el radio del pozo en metros.
- t₀ es el tiempo, donde la curva interseca el eje de las abscisas en segundos.

Para el cálculo de la conductividad hidráulica (k) se hace por medio de la siguiente ecuación:

$$k = T/b \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

- k es la conductividad hidráulica en m/d.
- T es la transmisividad en m²/d.



- b es el espesor saturado total del acuífero en metros o el espesor saturado cortado por el pozo.

A pesar de que el método de Cooper-Jacob es utilizado para determinar los parámetros hidráulicos en acuíferos confinados, Halford, *et al.* (2006), documentan que realizaron 628 pruebas de bombeo en acuíferos confinados y semiconfinados de los cuales se conocían las transmisividades calculadas por el método de Moench.

Estos autores reportan que el método Cooper-Jacob no muestra desventaja para calcular las transmisividades en acuíferos semiconfinados con respecto a otros métodos utilizados para este tipo de acuíferos, y que se obtuvieron mejores estimaciones en las transmisividades con valores mayores a $250 \text{ m}^2/\text{d}$ en acuíferos semiconfinados.

Una vez que se obtuvieron los parámetros de la interpretación manual, los datos se volvieron a interpretar por el método de caudal específico en el software AQT SOLV por el método de Cooper Jacob (1946), Hantush-Jacob (1955), Hantush (1960).

El caudal específico se obtiene:

$$q = Q / s_{\max}$$

donde,

q es el caudal específico en lt/s/m .

Q es el caudal de extracción en lt/s .

s_{\max} es el descenso máximo en m .

$$T = 100 * q$$

donde,

T es la Transmisividad en m^2/d

q es el caudal específico en lt/s/m .



Para el método de Hantush-Jacob, considérese un que existe un acuífero superior, un acuífero inferior, y ,entre ambos, una formación de baja permeabilidad. Se bombea en el acuífero inferior a caudal constante Q y las suposiciones básicas son las siguientes:

- El flujo es esencialmente horizontal en el acuífero, y vertical en la formación confinante.
- Al deprimir el nivel del acuífero inferior se crea un gradiente hacia el mismo, que obliga al acuífero superior a recargarlo a través de la formación confinante (lo que supone que la capacidad de almacenamiento de esta formación es despreciable y todo el goteo procede del acuífero superior).

Con estas suposiciones y considerando que el régimen es transitorio, se llega a la ecuación:

$$s = (Q/4 \pi T) * W(u,r/B)$$

donde

s es el descenso en m.

Q es el caudal constante de bombeo en m³

T es la transmisividad del acuífero en m²/d.

W(u,r/B) es la función de pozo para acuífero confinado

B es el factor de goteo = $(Tb'/K')^{1/2}$

siendo

b'/K' = resistividad hidráulica

K' / b' = coeficiente de goteo

b'= espesor de la formación confinante

K' = permeabilidad vertical de la formación confinante

La función de pozo, W(u,r/B), es una integral sin solución analítica, y que se halla tabulada y representada en gráficos. La Figura 2.12 es un gráfico a escala reducida. Las derivaciones r/B muestran un estado de estabilización debido al efecto de la recarga por goteo vertical. Cuanto mayor es el goteo, mayor es el valor r/B y antes se separa la derivación de la curva de Theis.

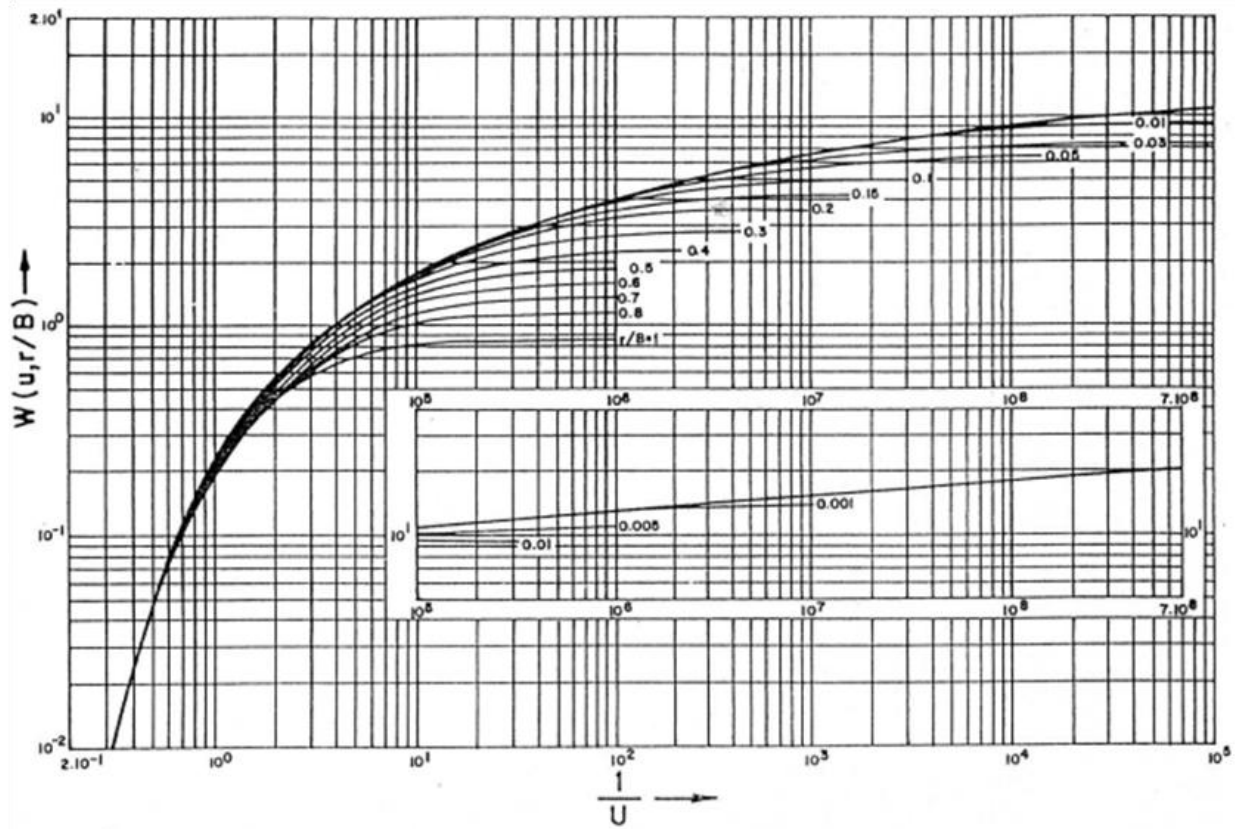


Figura 2.12 Función de pozo $W(u, r/B)$ en acuífero semiconfinado (Hantush, 1956).

Si se conoce d , t , $W(u, r/B)$, i/u en el gráfico de Hantush y el valor del parámetro de la curva tipo ajustada, r/B , calculamos la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento del acuífero, así como la permeabilidad vertical de la formación confinante:

$$T = Q \cdot W(u, r/B) / 4\pi d$$

$$S = 4Tt / (r^2 * 1/u)$$

$$K' = Tb' / B^2$$

donde r es la distancia entre el pozo de observación y el de bombeo, y las restantes magnitudes conformes con la notación expuesta más arriba.

Este método ignora el almacenamiento de la formación confinante. Cuando ésta es delgada y relativamente permeable e incompresible, da buenos resultados.



Hantush (1960), incluye la posibilidad de que la frontera superior del acuífero podría consistir de un acuitardo, que tiene relativamente baja permeabilidad, pero sin embargo es capaz de proveer significantes cantidades de agua a través de una fuga vertical. El acuífero está delimitado por un acuitardo, el cual es un elemento geológicamente considerado por su baja permeabilidad relativa del acuífero pero capaz de proveer agua del acuífero vía verticalmente. La base del acuífero también está delimitada por un acuitardo. Una suposición importante en esta consideración es que el agua en los acuitardos se mueve solamente verticalmente; no hay componente horizontal. Se supone que el acuífero tiene una densidad uniforme, tiene una extensión infinita de área y es homogénea.

Además de asignar a la formación confinante una capacidad de almacenamiento, Hantush resolvió el problema para dos casos diferentes: (1) acuífero horizontal de extensión infinita suprayacido por una formación confinante cuyo borde superior no experimenta ningún descenso con el bombeo, y (2) la misma situación pero con una capa impermeable suprayaciendo a la formación confinante. La suposición de flujo horizontal en el acuífero y vertical en la formación confinante se mantiene. Se considera goteo al acuífero tanto desde arriba como desde abajo. Hantush propuso soluciones para dos rangos de tiempo:



CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE IGUALA

GEOMORFOLOGÍA

GEOLOGÍA REGIONAL Y TECTÓNICA

GEOLOGÍA LOCAL

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

3. GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL ACUÍFERO DE IGUALA

3.1. Geomorfología

Hernández (1995) dividió el área del Valle de Iguala en cuatro zonas de acuerdo a sus características generales más comunes (Figura 3.1):

La Zona 1 es la más sobresaliente en el paisaje de Iguala por sus formas, alturas y extensión. Con alturas que van desde los 700 msnm al suroeste hasta los 200 msnm hacia el norte. Está asociada a rocas carbonatadas de la Formación Morelos, que por su pureza no han desarrollado grandes capas de material detrítico, sino únicamente algunos suelos de terra rossa.

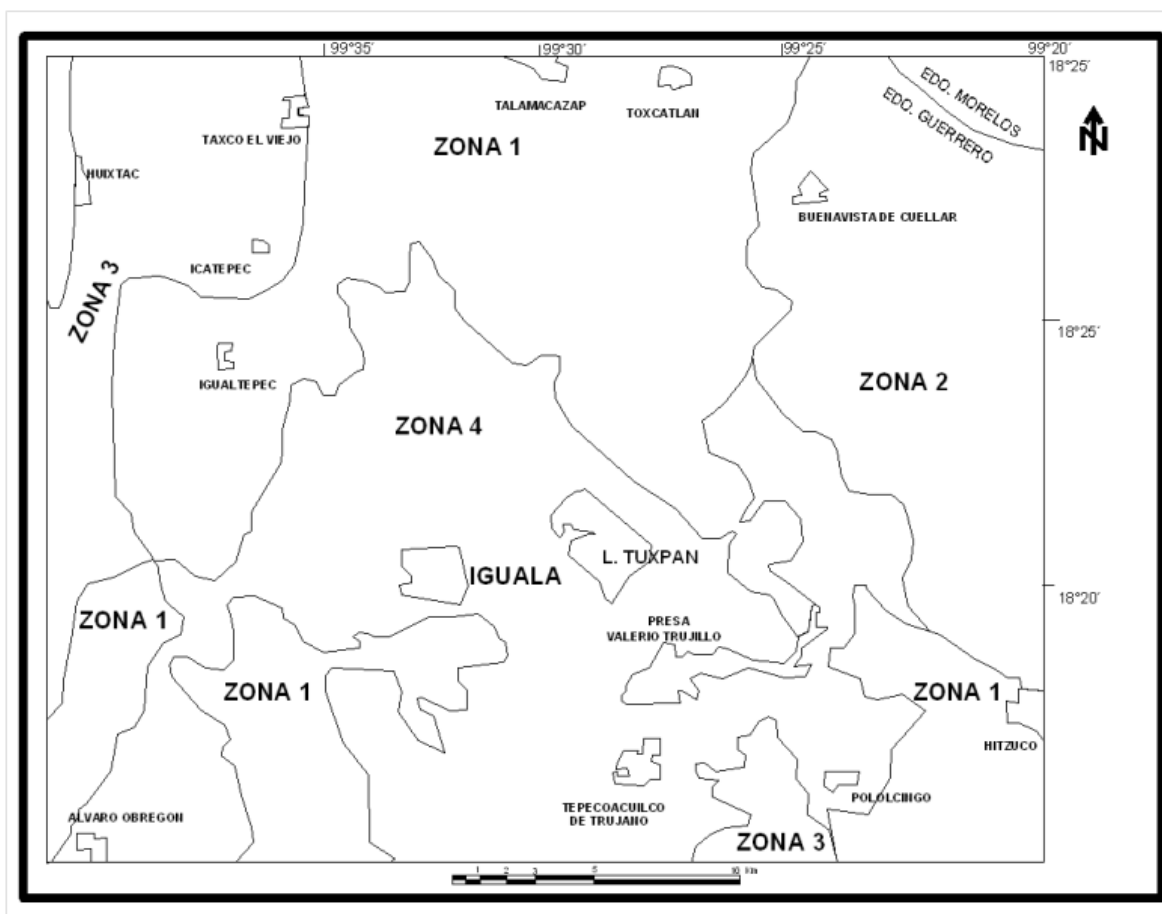


Figura 3.1 Zonas geomorfológicas del Valle de Iguala, Guerrero (Hernández, 1995).



A esta zona se le puede considerar como netamente kárstica, ya que desarrolla desde lapiaz hasta formas como dolinas y uvalas, estas últimas menos comunes y desarrolladas en las partes altas de las montañas. Otras formas como cavernas y tiros verticales están presentes también desarrollándose en la Formación Morelos (Espínaza-Pereña *et al.*, citado por Hernández, 1995).

La erosión que se presenta en esta zona es menor que en el resto del área, desarrollándose formas redondeadas con valles poco profundos; aunque en ocasiones la profundidad aumenta formando cañones asociados a sistemas de fallas.

La zona 2 presenta alturas desde 1000 hasta 2100 msnm. Corresponde a grandes depósitos de materiales piroclásticos con un grado de consolidación variable; en los cuales la erosión ha sido fuerte, principalmente en sentido vertical formando valles profundos en forma de "V".

La zona 3 va de los 700 a los 1500 msnm. Corresponde a intercalaciones de lutitas y arenisca. Con la erosión forman grandes acumulaciones detríticas extensas que cubren generalmente esta secuencia. Hay presencia de valles profundos en forma de "V".

La zona 4 ocupa las partes más bajas de la región que van desde los 600 hasta los 900 msnm; formando una planicie muy extensa (Valle de Iguala). Es una planicie ondulada formada por los depósitos más recientes del área, y en ocasiones formando una planicie de lomeríos cuando se encuentra en conglomerados (Formación Balsas); o bien desarrollando conos de deyección cuya forma es característica. En esta zona la erosión es de tipo lateral ya que constituye la principal zona de descarga en toda la región. El resultado de esto son los ríos y arroyos principales que drenan el área así como un rasgo muy particular de la zona, el lago de Tuxpan. Este lago parece estar asociado directamente al fallamiento del área, por su forma muy geométrica casi rectangular.

3.2. Geología regional y Tectónica

La Plataforma Guerrero-Morelos se encuentra dentro del Terreno Mixteco (Campa y Coney, 1983), la cual se desarrolló por sucesiones tanto continentales (de Cserna *et al.*, 1980; Salinas-Prieto, 1986), como marinas (de Cserna, 1965; de Cserna y Fries, 1981), que se

formaron durante un periodo de regresión marina. Estas rocas se encuentran cubiertas por espesos derrames de lava andesítico-riolítica (de Cserna,1965; de Cserna y Fries,1981; Fízt *et al.*, 2002; Campa e Iriondo, 2004; Hernández-Treviño *et al.*, 2004). Sobre las rocas continentales del Jurásico se encuentra una potente sucesión de calizas arrecifales del Cretácico (Formación Morelos y Formación Cuautla, Fries, 1960), a estas calizas de plataforma le sobreyace una sucesión de arenisca, lutita y limolita calcárea interestratificadas designada como Formación Mexcala. Estas rocas cubren un área aproximada de 100 a 170 km, cuyo espesor aproximado es de 1500 m (Fries,1960).

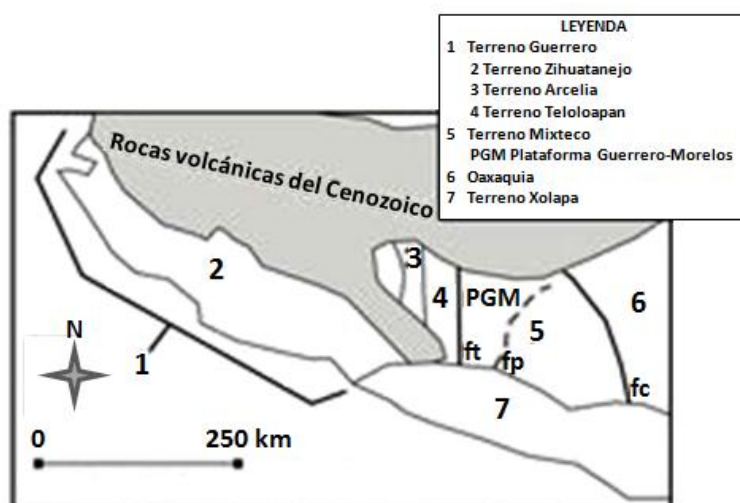


Figura 3.2 Mapa esquemático de la distribución de los terrenos en el sur de México, ft: falla Teloloapan, fp: falla de Papalutla y fc: falla Chacalapa (Martini, 2009).

La Plataforma Guerrero-Morelos (Figura 3.2) se encuentra limitada al oeste por la Falla Teloloapan, al este por el Complejo Acatlán (Ortega-Gutiérrez, 1981) y al sur entra en contacto con la Formación Chapolapa, la cual es una sucesión de rocas volcanosedimentarias con un bajo grado de metamorfismo, teniendo un protolito volcánico resiente con una edad de 10-133 Ma (Campa-Uranga e Iriondo, 2004).

El ambiente tectónico evolucionó: de plataforma carbonatada-con cambios de facies a cuenca del Aptiano al Turoniano y margen convergente con sedimentación clástica del Turoniano al Campaniano-, a zona de tras-arco durante el Paleógeno y de antearco durante el Neógeno (Ortega, 1996).

La evolución estructural de esta provincia está dominada por dos eventos regionales:



La Orogenia Laramídica del Cretácico Tardío que generó pliegues y cabalgaduras con direcciones dominantes N-S, NW-SE y NE-SW y el evento distensivo de tras-arco durante el Cenozoico desarrollándose grandes fallas normales que controlaron el volcanismo y la sedimentación. Sin embargo, las características actuales del relieve fueron impuestas desde el Mioceno por el proceso moderno de subducción que produjo un levantamiento generalizado del sur de México (Ortega, 1996).

Los eventos estructurales que dieron origen a la plataforma a principios del Cretácico y particularmente sus relaciones paleogeográfico-estructurales con las plataformas de Valle-San Luis Potosí al norte y la de Córdoba al oriente, no se han estudiado principalmente porque estas relaciones fueron sepultadas por las secuencias jóvenes de la Faja Volcánica Transmexicana.

3.3. Geología local

En el Estudio Geológico–Estructural y de Prospección Geohidrológica en la zona de Iguala–Cocula, estado de Guerrero (1988) se describe que en el área afloran rocas sedimentarias marinas, continentales y lacustres, cuerpos intrusivos y rocas volcánicas, así como depósitos aluviales, cuyas edades fluctúan entre el Cretácico Inferior y el Cuaternario. Las unidades litológicas que abarca son: Chilacachapa, Anhidrita Huitzucó, Morelos, Cuautla, Mexcala, Grupo Balsas, Intrusivo Acido, Riolita Tilzapotla, Conglomerado Reciente y Aluvión.

3.3.1. Estratigrafía

Las formaciones geológicas que están presentes en el Valle de Iguala, estado de Guerrero se muestran en la columna estratigráfica de la Figura 3.3, la cual se realizó con la integración de la información bibliográfica y la información de campo.

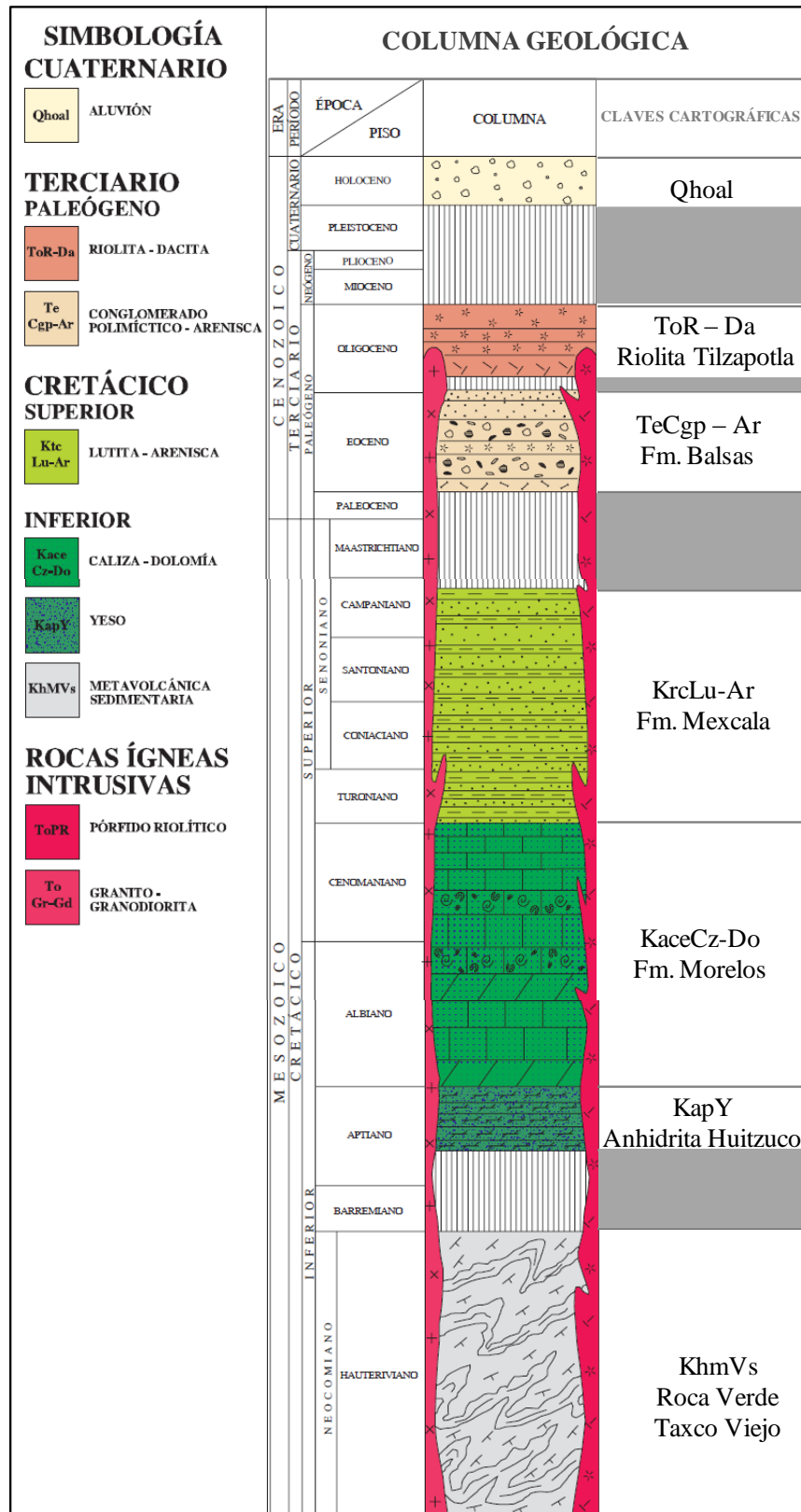


Figura 3.3 Columna Estratigráfica del Valle de Iguala, Guerrero (SGM, 2004).



Formación Taxco el Viejo

Fries (1960) nombra a esta Formación Taxco Viejo debido al afloramiento situada al este del pueblo de Taxco Viejo. También menciona que la Formación Taxco viejo está compuesta principalmente por una interestratificación de toba, brecha y en menor cantidad de corrientes lávicas, casi todas andesíticas. El color predominante es verdoso, con algunos manchones de color purpúreo. Mediante el metamorfismo se formaron grandes cantidades de clorita y la roca adoptó una apariencia bastante bien foliada, especialmente en las capas de grano más fino. El espesor de la unidad es cuando menos de 100 m.

La formación sobreyace al Esquisto Taxco en discordancia angular y queda cubierta por la formación Acahuizotla, que se considera perteneciente al Jurásico tardío.

El fechamiento de esta formación se realizó mediante datos fosilíferos en rocas verdes con relaciones estratigráficas aparentes en el Estado de Zacatecas. Allí, Burckhard encontró fósiles marinos del Triásico tardío (Fries, 1960).

Como esta formación está metamorfisada, su permeabilidad es reducida. Por lo que opone resistencia a ser atravesada por fluidos, actuando como límite de baja permeabilidad.

Formación Chilacachapa

Campa (1976) nombra esta formación, que aflora en los alrededores de Chilacachapa, como una secuencia arcillo-calcárea. Esta formación también es conocida como Acahuizotla, nombrada así por Cserna (1965), según afloramientos próximos al pueblo de este nombre.

Esta formación consiste en caliza arcillosa interestratificada con limolita calcárea que tienen superficies de estratificación onduladas cerca de Acahuizotla. Por acción del intemperismo presenta un color pardo y su resistencia a la erosión es débil. En otras localidades se presenta interestratificada con limolita carbonosa con estratificación y color similar a la anteriormente descrita (Fries, 1960).



Su base se encuentra en contacto estructural con una secuencia vulcanosedimentaria ligeramente metamorfoseada, Formación Taxco Viejo. El contacto superior de esta secuencia pasa transicionalmente a una secuencia calcárea de estratos medianos (Formación Morelos) (Hernández, 1995).

Fries (1960) menciona que mediante la correlación con otras formaciones se le asignó una edad Jurásico Tardío- Cretácico Temprano. Por su posición estratigráfica y la fauna reportada por Miranda (1989) se le consideran de edad Cretácico Temprano.

Como su composición es predominantemente de roca caliza arcillosa con intercalación de lutitas su permeabilidad es muy baja por lo que presenta un carácter impermeable.

Anhidrita Huitzucó

De Cserna, *et al.* (1980) define este miembro dándole el nombre de Anhidrita Huitzucó, al elevarla al rango de formación. La anhidrita es laminada de color variable de blanco a gris oscuro y fuertemente retorcida por el escurrimiento. El material superficial contiene una mezcla considerable de yeso. El yeso se supone resultar de la hidratación de la anhidrita por aguas subterráneas. El efecto de la disolución se aprecia en todos los lugares donde aflora la anhidrita (Fries, 1960), por lo que su presencia en el subsuelo está inferida por la abundancia de rasgos kársticos (Hernández, 1995).

El espesor de esta unidad no se puede determinar ya que la deformación que presenta impide la medición precisa (Hernández, 1995).

Fries (1960) la considera como la parte basal de la Formación Morelos, la que se extiende hacia el oriente y sureste de una línea irregular que va del lago de Tequesquitengo hacia Iguala y desde este último punto hacia el sur-suroeste hasta la unidad del río Balsas

En el área de estudio la Anhidrita Huitzucó subyace concordantemente a la Formación Morelos, mientras que hacia su base descansa en discordancia angular encima de todas las unidades anteriores con excepción de la Formación Xochicalco y la Formación Acuitlapán



(Fries, 1960). En las zonas donde forma diapiros, su relación es discordante con las unidades más jóvenes.

Su edad no está muy clara, pero se considera que el alcance estratigráfico inferior en su parte central puede extenderse al Aptiano (Hernández, 1995).

A pesar de ser un material muy soluble al contacto con el agua, su permeabilidad es muy baja, por lo que esta unidad actúa como un confinante inferior de las calizas y como barrera lateral cuando forma diapiros. Otro detalle importante es que la calidad del agua es mala por la presencia de sulfatos.

Formación Morelos

La Formación Morelos fue descrita y propuesta por primera vez por Fries (1960). Aunque aún no existe una localidad tipo, se considera que la parte que aflora dentro del estado de Morelos es una región tipo de esta formación.

La Formación Morelos consta predominantemente de una sucesión de capas de calizas y dolomitas interestratificadas, con cantidades variables de pedernal en forma de nódulos, lentes, granos y fragmentos de fósiles silicificados. Se piensa que la formación representa la acumulación de partículas calcáreas por precipitación esencialmente *in situ*, acompañada enseguida de aglutinación, retrabajo y redistribución de los granos casi con adición o mezcla de material terrígeno (Fries, 1960).

Este autor menciona que el color de la formación cambia marcadamente de una a otra capa, variando de gris cremoso claro a negro. Las capas oscuras son generalmente más fértidas al romperlas y contienen materia bituminosa en cantidad variable. Las capas dolomitizadas son totalmente distintas y están netamente separadas de las capas de calizas contiguas. Se tiene la presencia de pedernal en las capas de calizas como en las dolomitizadas.

Aparentemente no se tiene la presencia de la Formación Morelos en la parte más elevada de la paleopenínsula de Taxco. De acuerdo a Fries (1960) su espesor aumenta rápidamente



en cortas distancias al norte, este, oriente, sur y sur-oeste. En la zona de Iguala su espesor es de unos 400 m y parece que el espesor aumenta otra vez hacia el sur de Iguala.

Dentro de los límites regionales de la Formación Morelos seguramente es transgresiva con relación a todas las unidades litológicas más antiguas. Un período de falta de depósito y erosión siguió la acumulación de la Formación Morelos, en tiempos pre-Cuautla y Cuautla temprano. La superficie de erosión desarrollada fue cubierta generalmente por diferentes facies y horizontes de la Formación Cuautla, pero en ciertas localidades la próxima unidad depositada fue la Formación Mexcala (Fries, 1960).

Rocas de la misma facies y edad general que la formación se encuentran distribuidas muy ampliamente en la mitad oriental de México, aflorando desde la frontera septentrional hasta el límite con Guatemala en el sureste.

El fechamiento de la Formación Morelos se realizó basándose en el contenido fosilífero, a pesar de que la mayoría de los organismos que se presentan no son diagnóstico de edades precisas. Las edades de esta formación van del Albiano medio y Cenomaniano temprano.

Debido a su alta porosidad secundaria ésta formación se puede considerar como un excelente acuífero, aunque tiene serias limitaciones en la continuidad de las estructuras debido a la intensa deformación.

Formación Cuautla

Esta formación recibe su nombre debido a las excelentes exposiciones de esta unidad en las serranías situadas hacia el poniente de la ciudad que lleva el mismo nombre.

La expresión fisiográfica de la facies de banco grueso de la formación es semejante a la Formación Morelos infrayacente. La única diferencia significativa es la escasez relativa de dolomía, que se expresa fisiográficamente por su mayor resistencia al intemperismo y erosión y por el desarrollo menor de rasgos kársticos (Fries, 1960).



La formación consta de tres facies principales que pasan gradualmente de una a otra en sentido lateral. A continuación se describen brevemente:

1) Una sucesión gruesa de capas de calizas con estratificación mediana a gruesa, del tipo de banco calcáreo o de bahamita. El color de la caliza varía de gris claro a oscuro, y con menor frecuencia es negro; las capas clásticas cercanas al contacto inferior tienen localmente un color rojizo o amarillento. Contiene nódulos, lentes y masas irregulares de pedernal que abundan en muchas capas y sobre los planos de estratificación; la silicificación de fósiles y fragmentos biogénicos es particularmente en la parte inferior y media de la unidad. El espesor de esta facie es de aproximadamente 750 m y es la facies con mayor espesor.

2) Una sucesión más delgada de capas calizas laminadas de estratificación delgada a mediana, la capas tienen generalmente de 5 a 20 cm de espesor; el pedernal se presenta en forma de hojas o láminas intercaladas, incompletamente reemplazadas.

3) Una sucesión muy delgada de capas de calizas clásticas de estratificación delgada a mediana (Fries, 1960).

El mismo autor reporta que en las cercanías de Iguala, la unidad parece consistir en unos pocos metros de capas calizas delgadas.

La parte de la Formación Cuautla que tiene el espesor máximo corresponde a la facies de banco calcáreo o “bahamitas” y acusa un total aproximado de 750 m.

La Formación Cuautla descansa directamente encima de la unidad Morelos y está cubierta por la Formación Mexcala, la que descansa concordantemente encima de la caliza Cuautla. La erosión posterior removió la unidad Mexcala en muchos lugares y como resultado cualquiera de las formaciones más jóvenes pueden descansar discordantemente sobre la Formación Cuautla, aunque en todas partes con gran discordancia angular (Fries, 1960).

Los macrofósiles de la facies de banco calcáreo grueso de la Formación Cuautla sugieren que las capas basales son de edad turoniana temprana, pero la calcarenita basal infrayacente puede tener una edad algo mayor, o sea del Cenomaniano tardío.



Debido a que está constituida principalmente de calizas arcillosas y un espesor reducido en las cercanías de Iguala, se le atribuye un carácter poco permeable y mínima importancia hidrogeológica.

Formación Mexcala

Recibe su nombre del río y poblado cercano donde se puede apreciar una sucesión de capas interestratificadas de arenisca, limolita y lutita calcáreas con escasas lentes de caliza clástica. La unidad en la localidad tipo fue descrita con detalle por Bohnenberger Thomas (1955).

Es muy variable en su litología, tanto lateral como verticalmente. La parte basal es casi en todas partes calcárea y puede consistir en capas de caliza arcillosa o de limolita calcárea que miden desde unos pocos metros hasta unos 30 m de espesor. El color es predominantemente gris oscuro. Encima de la caliza basal se hallan capas interestratificadas de lutita y limolita calcárea, con areniscas. Las capas clásticas varían en espesor desde unos pocos centímetros, para las rocas de granos más finos que muestran laminación, hasta las de grano más grueso presentan estratificación cruzada (Fries, 1960).

El espesor original de la Formación Mexcala no puede medirse en ningún lugar, porque la parte superior de la unidad fue erosionada en un grado desconocido antes del depósito de la formación cenozoica suprayacente. Además, la compresión fue tan intensa que la formación está estrechamente plegada, aún en escala pequeña.

Casi en todas partes la Formación Mexcala descansa encima de la Formación Cuautla, ya sea sobre la facies de banco calcáreo o sobre la caliza clástica. En donde se tiene la ausencia de la Formación Cuautla, el contacto es la próxima unidad infrayacente, o sea la Formación Morelos.

Después del depósito de la Formación Mexcala ocurrió un período de deformación fuerte, uno de cuyos resultados fue la producción de las estructuras mayores con orientación hacia el norte y el plegamiento estrecho en escala más pequeña en dicha unidad clástica.



Los microfósiles encontrados en las capas inferiores de la Formación Mexcala proporcionan evidencias de una edad coniaciana temprana e indican, que se trata de un horizonte cercano al límite entre los pisos Coniaciano y Turoniano. Las evidencias sobre la edad de la parte más alta de la Formación Mexcala son deficientes debido a la erosión.

Por su predominante litología arcillosa, se le puede clasificar como impermeable. Esta unidad es importante desde el punto de vista hidrogeológico debido a que dota el principal carácter confinante al acuífero calcáreo.

Formación Balsas

El nombre de Formación Balsas es asignado por De Cserna en 1965, debido a que Fries (1960) denomina esta unidad como Grupo Balsas sin nombrar las formaciones que lo constituían.

El grupo incluye rocas tan diversas como son yeso, caliza lacustre, conglomerado calizo, conglomerado volcánico, arenisca tobácea, limolita tobácea y arcilla, así como brecha, tobas volcánicas y derrames lávicos interestratificados.

Fries (1960) menciona que en este grupo el tipo litológico más característico, aunque no precisamente el más voluminoso, corresponde quizás a un conglomerado calizo con matriz calcárea, que varía de moderadamente a bien cementado de grano medio a grueso y de estratificación masiva a gruesa, conocido como "conglomerado rojo". Las capas varían de un espesor desde 20 cm hasta 1 m y en algunos es tan masivo que difícilmente se distingue la estratificación.

Otro tipo de roca que por lo general queda estratigráficamente arriba del conglomerado calizo son capas ligeramente endurecidas de limo, arena y arcilla. Con una proporción menor de interestratos de conglomerado calizo de grano fino y mezcla de materia tobácea. Las capas de tipo litológico clástico poco endurecido varían de delgadas a gruesas. Los tipos de rocas que se tiene en volúmenes más pequeños consisten en yeso que forma cuerpos lenticulares y la caliza lacustre.



El espesor total de Grupo Balsas es extremadamente variable y su máximo espesor original, por lo general no está conservado. Su espesor mayor se encuentra en lugares donde los bloques se hundieron más profundamente y los depósitos quedaron protegidos de la erosión posterior. La sucesión más gruesa del grupo no parece exceder de los 2,500 m de espesor (Fries, 1960).

El Grupo Balsas descansa con gran discordancia angular y erosional encima de todas las rocas antiguas de la región, desde la Formación Mexcala del Cretácico Superior hasta el Esquistos Taxco del Paleozoico. La próxima formación suprayacente consiste en la Riolita Tilzapotla, que donde quiera que se encuentre está en relación concordante con las capas superiores del Grupo Balsas, siempre que no haya intervenido la erosión. Tanto las capas más altas del Grupo Balsas como las de la Riolita Tilzapotal suparayacente, tienen inclinaciones (echado) mucho más suave que las capas inferiores del Grupo Balsas (Fries, 1960).

La edad del Grupo Balsas no se ha determinado con precisión. Su fechamiento consistió de una determinación radiométrica de la edad del zircón extraído de la Riolita Tilzapotla que esta suprayacente al Grupo Balsas, la cual dio una edad de 26 millones de años. Esto quiere decir que el Grupo Balsas es casi con certeza más antigua que el Mioceno.

Por la litología, granulometría y posibilidad de recarga que presenta, el Grupo Balsas se considera que es poco permeable pero también es afectado por estructuras kársticas que incrementan su permeabilidad. Puede constituir un acuífero de poca a mediana importancia, como es el caso del Valle de Iguala.

Riolita Tilzapotla

La Riolita Tilzapotla se propone presenta afloramientos extensos de brecha tobácea riolítica, situados en las cercanías de Tilzapotla.

Fries (1960) la describe como una unidad que consiste en una brecha tobácea de color parduzco rojizo oscuro, muy bien cementada y de grano grueso, con fragmentos hasta de 30



cm de diámetro. También se aprecia que en algunas partes corresponde a una toba soldada desvitrificada, de color rosado claro y de grano grueso.

La parte basal de la unidad consta de tobas soldadas de composición dacítica, cubiertas por toba riolítica soldada, densa y de grano fino, seguida de derrames lávicos (Fries, 1960).

Generalmente descansa en concordancia sobre las capas más jóvenes del Grupo Balsas. El contacto Balsas-Tilzapotla es mediante un plano ligeramente inclinado, excepto en las proximidades de las fallas importantes que presentan echados de ángulo alto. En todos los sitios donde la serie descansa sobre rocas más antiguas que el Grupo Balsas, este grupo falta por no haberse depositado y las relaciones con la unidad infrayacente son de discordancia angular. El contacto superior de la Riolita Tilzapotla se caracteriza por una discordancia erosional.

Fries (1960) colectó aproximadamente 200 kilogramos de toba riolítica soldada, los cuales fueron utilizados por H. W. Jaffe y sus colegas para hacer una determinación radiométrica de edad por el método de plomo/alfa, basado en el zircón. La edad reportada por ellos es de 26 millones de años, con límites de error posiblemente en exceso del 10%. Así es que su edad, corresponde probablemente al Oligoceno tardío.

En términos generales, se considera impermeable debido a que básicamente son derrames, tobas y brechas volcánicas. En caso de presentar un alto grado de fracturamiento podría tener importancia como acuífero y drenar sus aguas a las rocas subyacentes.

Grupo Buenavista

Se le da este nombre a una sucesión volcánica gruesa compuesta por derrames lávicos, brechas y toba de composición andesítica.

La litología más abundante en este grupo es la andesita, aunque también se tiene la presencia de capas individuales que van de basalto a dacita y en la parte superior se presentan rocas riolíticas. También se pueden apreciar la interestratificación de tobas y brechas volcánicas con los derrames lávicos.



El espesor completo original ya no queda en ningún lugar debido a la erosión posterior a su depósito. Aunque Hernández (1995) reporta un espesor de 600 m medidos.

Las capas basales descansan por discordancia angular sobre la Formación Tilzapotla. En los lugares donde falta la Formación Tilzapotla la relación entre el Grupo Buenavista y las formaciones más antiguas está caracterizada por una discordancia angular (Fries, 1960).

Fries (1960) le asigna una edad que puede ir del Oligoceno tardío en su parte inferior, siendo el resto del Mioceno, si la edad de la Formación Tilzapotla es del oligoceno tardío pero si la Formación Tilzapotla se eleva un poco en la escala cronológica, entonces el Grupo Buenavista únicamente puede atribuirse una edad miocénica.

Este grupo no se aparece en la zona de estudio, pero por sus características litológicas tiene una permeabilidad baja a media.

Depósitos Recientes

Las partes bajas del Valle de Iguala y otros valles a los alrededores se encuentran rellenos por depósitos fluviales aportados por las corrientes fluviales que drenan dichos valles.

Estos sedimentos se encuentran primordialmente a lo largo de los cauces de los ríos y están constituidos por conglomerados sin consolidar compuestos por fragmentos de rocas volcánicas, tobas, rocas intrusivas y calizas; son subangulares a subredondeadas y normalmente se encuentran en una matriz arcillo-arenosa de la misma composición

Los sedimentos aluviales se encuentran principalmente en la parte alta de las sierras en donde forman y rellenan las depresiones de la misma. Están constituidos por material fino a arenoso sin consolidar, principalmente por arcillas y arenas.

Por sus características sedimentológicas, relaciones estratigráficas y estructurales, se deduce que pertenecen al Reciente (CONAGUA, 2009).



La disposición geológica que ocupan y sus condiciones texturales, les permiten recibir una buena recarga proveniente del flujo superficial o la infiltración directa del agua de lluvia, considerándoseles como materiales transmisores; o bien, constituyen una acuífero libre.

Intrusivos

En la región aflora el Tronco Coxcatlán, litológicamente corresponde a una granodiorita porfídica de color claro que corta a toda la secuencia sedimentaria provocándole metamorfismo de contacto.

El intrusivo aflora a unos 13 km al nororiente de Iguala y no se encuentran otros intrusivos semejantes en toda la región.

De acuerdo a datos radiométricos obtenidos por el método de plomo-alfa, publicados por De Cerna, *et al.*, (1974), la edad calculada para el intrusivo es 50 ± 10 m.a.; que corresponden al Eoceno Medio.

3.4. Hidrología superficial

Con fines de planeación y gestión de los recursos hídricos, la CONAGUA separa al país en Regiones Hidrológico-Administrativas. El área de estudio de acuerdo con los criterios de la hidrología superficial se localiza en la Cuenca del Río Balsas-Mezcala dentro de la Subregión Medio Balsas que pertenece a la Región Hidrológica 18 Río Balsas (Figura 3.4).

Las corrientes hidrológicas que se encuentran en el municipio son el Río San Juan y la Laguna de Tuxpan, el río tiene un caudal permanente. También cuentan con arroyos de escurrimientos temporales como el Tomatal, Ceja Blanca, las Tijerillas y el Naranja que escurren con dirección general de norte a sur para confluir finalmente al Río Balsas. En las inmediaciones de la población de Iguala nacen los ríos Ahuehuepan y Sabinos, que posteriormente toman el nombre Río Cocula o Iguala antes de descargar al río Balsas, su cauce corre en dirección franca norte-sur.

El Río Balsas drena una superficie aproximada de 113, 200 km² teniendo sus orígenes en la unión de los ríos Atoyac y Mixteco. Recibe las aguas del río Tlapaneco y toma un rumbo oeste, denominándose Río Grande y más adelante Río Mexcala, recoge en esta zona el agua del Río Amacuzac y del Río Tepecoacuilco por la margen derecha. Aguas abajo se le conoce como Río Balsas y escurre con rumbo noroeste recibiendo por la margen derecha a los ríos Cocula o Iguala, Teloloapan, Poliutla, Cutzamala, Ixtapa, Carámaro y Tepalcatepec; Tetela, Ajuchiatlan, San Miguel, Cuirio, Del Oro, Cuajaran y San Antonio. En esta zona se encuentra embalsado por la presa el Caracol.

El Río Cocula o Iguala se origina a 21 km al noroeste de la ciudad de Iguala a una elevación de 1600 msnm; en donde recibe el nombre de Río Ahuehuepan; 6 km adelante recibe las aportaciones por su margen derecha del río Sabinos, por su margen izquierda recibe al Río Tinajilla, a partir de esta confluencia la corriente toma el nombre de Cocula o Iguala; 43 km adelante recibe por su margen derecha al Río Cuetzala y 2 km aguas abajo vierte su caudal al Río Balsas.



Figura 3.4 Regiones y cuencas hidrogeológicas del estado de Guerrero (INEGI, 2010).



La laguna de Tuxpan está ubicada en la inmediaciones de la ciudad de Iguala. Almacena los escurrimientos que descienden del cerro de Tuxpan, los cuales son aprovechados mediante una obra de toma que se localiza en la margen izquierda, consistente en un canal controlado en su extremo por una compuerta deslizante.

3.4.1. Infraestructura hidráulica

En el área de estudio, existe poca infraestructura hidráulica para aprovechar los recursos hídricos superficiales generados en la misma zona, aunque se tienen algunos canales, así como obras afines, por ejemplo la presa Valerio Trujano. En cuanto al aprovechamiento de agua subterránea existen algunos pozos y norias.

La presa de almacenamiento Valerio Trujano se localiza en el municipio de Tepecoacuilco a 10 km al sureste de la ciudad de Iguala. Consiste esencialmente de una cortina de enrocamiento con corazón impermeable central, provista en su margen derecha de una obra de toma y un vertedor de cresta libre.

La capacidad total del vaso a la elevación de 839.94 m es de 39.4 Mm³, el área de embalse a la misma elevación correspondiente al nivel de aguas máximas es de 961 ha.

3.4.2. Clima

En el Valle de Iguala el clima es de cálido a subhúmedo con lluvias en verano. Al noreste en la zona montañosa que rodea al valle, el clima es muy variable, se tiene un clima cálido subhúmedo a semicálido-húmedo con lluvias en verano. Hacia las partes más altas predomina un clima templado subhúmedo (CONAGUA, 2009).

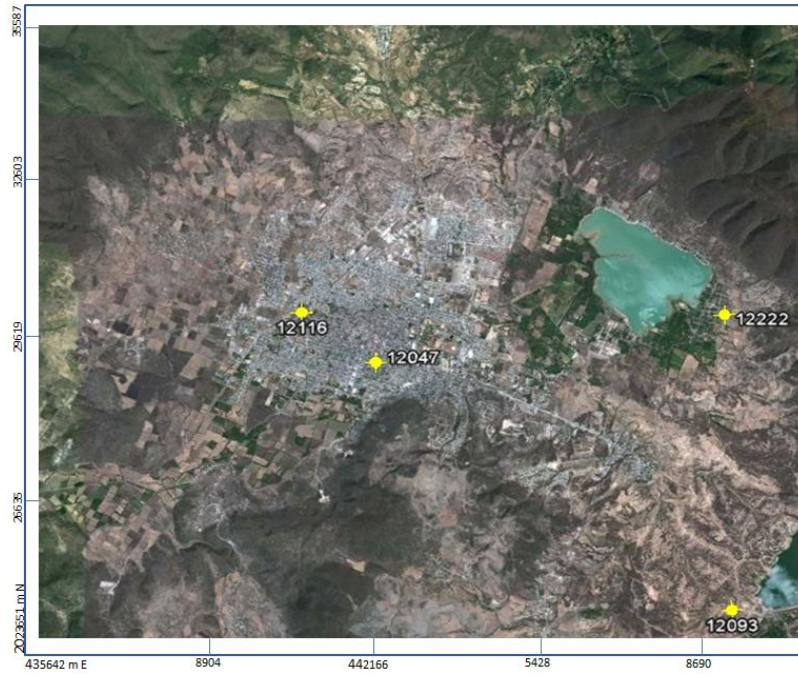


Figura 3.5 Estaciones climatológicas ubicadas dentro del área de estudio.

Tabla 3.1 Coordenadas en UTM zona 14 de la estaciones climatológicas del Valle de Iguala de la Independencia (SMN, 2000).

Estación Climatológica	Coordenadas	
	x	y
Iguala (DGE) - 12116	441890.69	2028965.96
Iguala (SMN) - 12047	443208.39	2027947.77
Laguna de Tuxpan - 12222	449550.14	2028729.19
Valerio Trujano - 12093	449534.93	2022920.44

Dentro del área de estudio se tienen cuatro estaciones climatológicas (Figura 3.5), cada una con 30 (1971-2000) años de información, la cual fue analizada y procesada para realizar climatogramas de cada una de las estaciones, los cuales establecen la relación entre la temperatura y la precipitación.

En la Figura 3.6 realizada con información del Servicio Meteorológico Mexicano se puede observar claramente que el aumento de temperatura propicia las condiciones atmosféricas necesarias óptimas para comenzar con un periodo de altas precipitaciones. En mayo se alcanzan las máximas temperaturas con un promedio de 29.25 °C y seguido de esto, el mes de junio se presentan la mayores precipitaciones con un valor máximo de 218.2 mm.

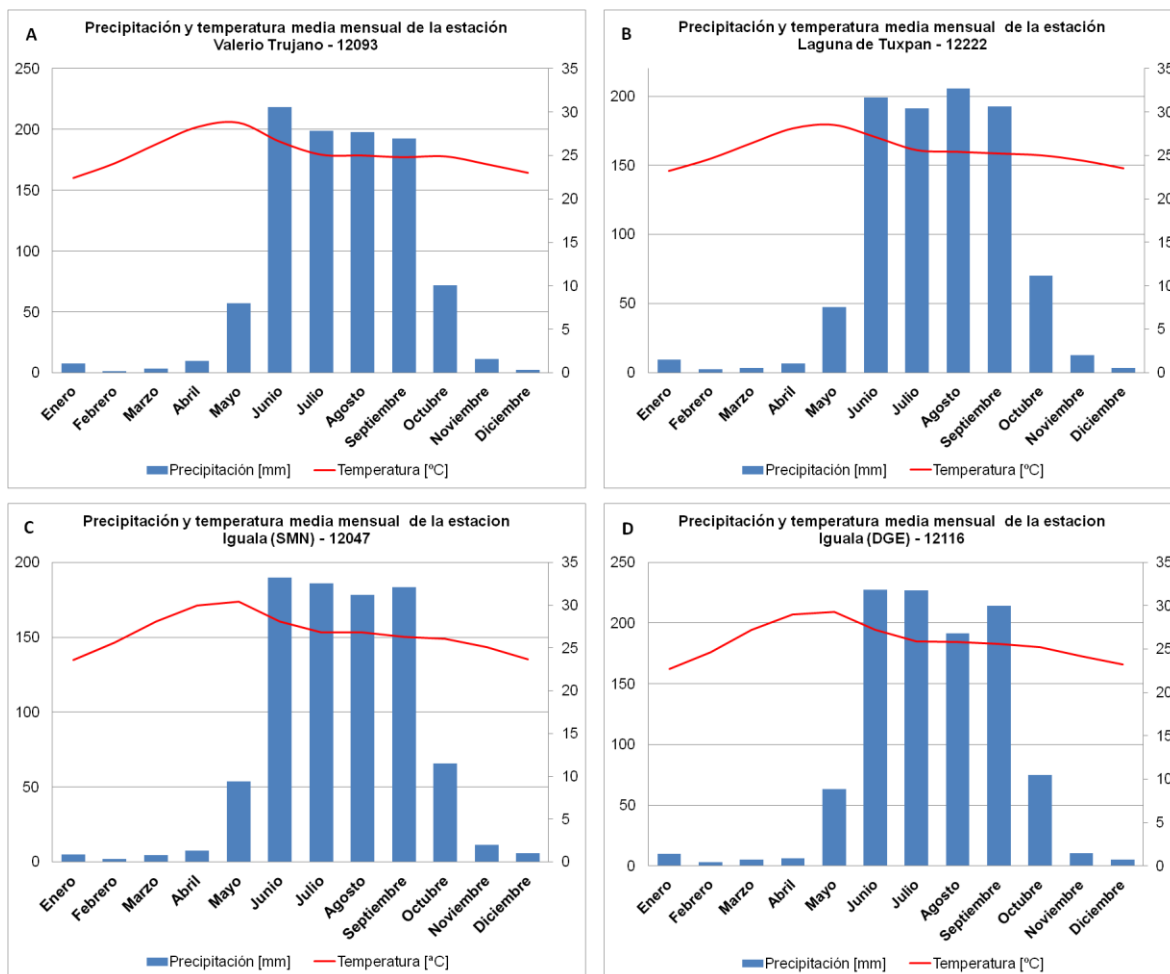


Figura 3.6 Climatogramas promedio de la estaciones climatológicas ubicadas en el Valle de Iguala de 1970 al 2000. A) Estación Valerio Trujano, B) Estación Laguna de Tuxpan, C) Estación Iguala (SMN) y D) Estación Iguala (DGE).

Con los datos de temperatura medias mensuales se preparó una configuración de isotermas del periodo 1971 a 2000 (Figura 3.7). En la zona centro-sur, la temperatura predominante es de 26.2 °C. Al norte de la ciudad de Iguala, las isotermas disminuyen hasta los 24.8 °C, debido a que corresponden a las partes topográficas más altas.

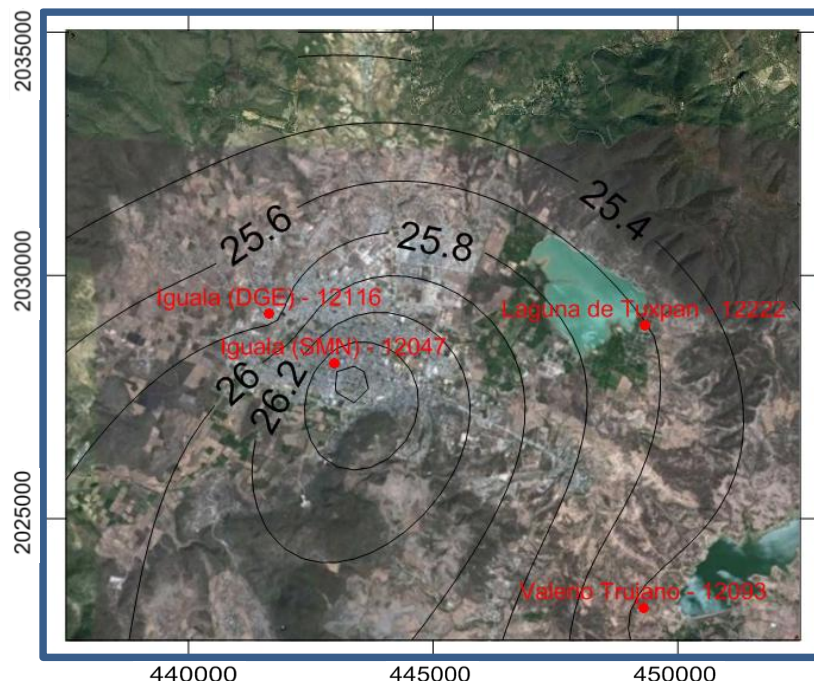


Figura 3.7 Mapa de isotermas del Valle de Iguala, Guerrero.

Para el periodo 1971-2000 se realizaron las isoyetas del Valle de Iguala, la configuración se muestra en la Figura 3.8.

La precipitación se distribuye de la siguiente manera: al sur de la ciudad de Iguala se tiene de entre 925 y 940 mm/año, en la zona centro se tiene un precipitación media anual entre 1000 y 955 mm/año. Mientras que en las zonas elevadas del noroeste y noreste se tienen precipitaciones de 1045 a 1060 mm/año.

El valor promedio de la lámina de precipitación del Valle de Iguala es de 980 mm/año, el volumen anual promedio es de 74.05 Mm³.

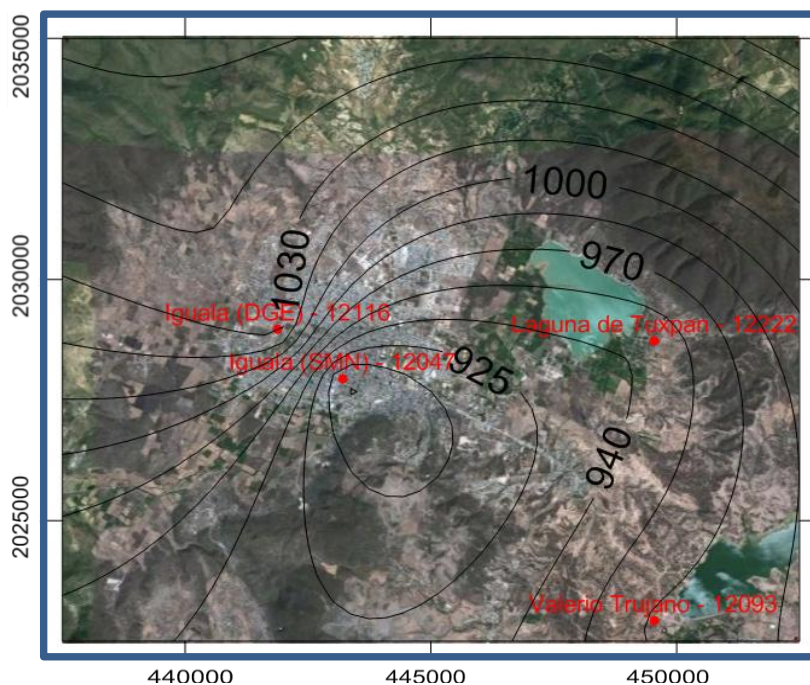


Figura 3.8 Mapa de isoyetas del Valle de Iguala, Guerrero.

El valor aproximado de la evapotranspiración de 888.61 mm/año por lo que el volumen de evapotranspiración resultante en el área del Valle de Iguala fue de 7.45 Mm³/año, mientras que el volumen de infiltración es de 7.45 Mm³/año.

3.5. Hidrología subterránea

3.5.1. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa IV, Organismo de Cuenca Balsas y sólo se encuentra en los municipios de Iguala de la Independencia, Taxco de Alarcón, Cocula y Tepecoacuilco de Trujano se encuentran sujetos a las disposiciones del Decreto de Veda. Por medio de este decreto se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en los municipios de Iguala de la Independencia, Taxco de Alarcón, Huitzuc de los Figueroa, Tepecoacuilco de Trujano y Cocula, estado de Guerrero (Figura 3.9). Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 20 de febrero de 1978. Este decreto se clasifica como tipo II, y establece que:

Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente Decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la autoridad del Agua, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas sin concesión o asignación que expida también, según el caso, la misma Autoridad.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos, 2008, el municipio de Iguala se encuentra en zona de disponibilidad 6, Cocula en zona 8 y el resto de los municipios se ubican en zona de disponibilidad 9.



Figura 3.9 Zonas de veda en el estado de Guerrero (CONAGUA, 2008).

3.5.2. Uso del agua subterránea

Tras la consulta y depuración del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) (2010 y 2011) se ubicaron 41 aprovechamientos subterráneos que se encuentran dentro del Valle de Iguala de la Independencia.

Los 41 aprovechamientos se clasificaron según el uso del agua extraída (Tabla 3.2) y tipo de aprovechamiento (Tabla 3.3). Posteriormente se realizó la gráfica del uso de agua subterránea (Figura 3.10) y la gráfica de tipo de aprovechamiento (Figura 3.11). En la Figura 3.10 se puede observar que el mayor uso que se le da al agua extraída es público urbano y en la Figura 3.11 que esta agua se extrae principalmente de pozo.

Tabla 3.2 Uso de los aprovechamientos de agua subterránea (REPGA, 2010 y 2011).

Uso	No.
Público urbano	31
Industrial	5
Servicios	5
Total	41

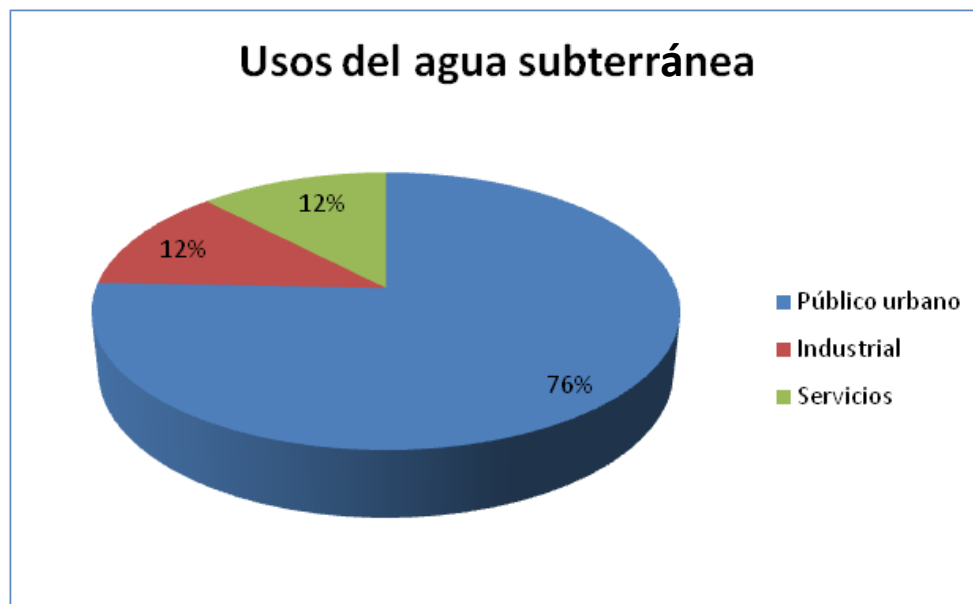


Figura 3.10 Gráfica de uso del agua subterránea en el Valle de Iguala, Guerrero.

Tabla 3.3 Tipos de aprovechamientos de agua subterránea (REPGA, 2010 y 2011).

Tipo	No
Pozo	39
Noria	2
Total	41



Figura 3.11 Gráfica de tipos de aprovechamientos de agua subterránea.

3.5.3. Tipo del acuífero

El trabajo Estudio geológico-estructural y de prospección geohidrológica en la zona de Iguala-Cocula, estado de Guerrero (EXYCO, 1988) menciona que en la zona de estudio afloran rocas sedimentarias, marinas, continentales y lacustres, cuerpos intrusivos y rocas volcánicas, así como depósitos aluviales. Esta litología, la clasifican en 5 unidades hidrogeológicas que se mencionan a continuación.

Unidad I. Acuífero libre en rellenos: aluvión y conglomerado.

Unidad II. Confinante superior del acuífero calcáreo: Riolita Tilzapotla, Grupo Balsas, Mexcala y Cuautla.

Unidad II. Acuífero calcáreo: Formación Morelos y Cuautla (facies de plataforma).

Unidad IV. Confinante inferior del acuífero calcáreo: Anhidrita Huitzuc y Chilacachapa.

Unidad V. Barrera la flujo lateral inferior: Intrusivo ácido.



La CONAGUA (2009) describe de manera regional el acuífero de la siguiente forma; se presentan dos tipos de acuíferos, uno libre heterogéneo asociado con subálveos, el cual es capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea; el otro, está localizado en el medio fracturado y cuyo potencial estará supeditado a las dimensiones y al grado de porosidad secundaria por fracturamiento de las rocas en la zona de recarga. Por otra parte en los sectores que se encuentran dominados por pliegues, el mayor potencial acuífero se estima que se encuentra asociado con estructuras anticlinales, ya sea en rocas clásticas, o bien calcáreas, en estas últimas su potencial se incrementa por efecto de la disolución.

3.5.4. Parámetros hidráulicos

La CONAGUA (2009) reporta que no disponen de pruebas de bombeo en el área del acuífero que puedan ser consideradas para que se determinen los valores de transmisividad que permitan a su vez, junto con las configuraciones de las elevaciones de los niveles estáticos, obtener el valor de la recarga por entradas horizontales subterráneas. Sin embargo, considerando la geología de los materiales del subsuelo, estimaron que el valor de la transmisividad es del orden de $100 \text{ m}^2/\text{día}$.

Los trabajos de Geofimex (1977) y EXYCO (1988), tampoco reportan parámetros hidráulicos de la zona de estudio.

3.5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua del acuífero de Iguala

Las muestras tomadas del acuífero calcáreo en 1987 para el Estudio geológico-estructural y de prospección geohidrológica en la zona de Iguala-Cocula, estado de Guerrero (1988), reflejan que la familia del agua predominante es cálcico-bicarbonatada. En general el promedio de sólidos disueltos de las aguas es de 672 ppm.

La ocurrencia y calidad de las aguas subterráneas en la zona de calizas está en función directa de la continuidad estructural de las calizas, así como de la presencia de los yesos. La presencia de los yesos de la Anhidrita Huitzucó ocasiona que las aguas subterráneas se contaminen con sulfatos.



La CONAGUA (2005), de acuerdo con las mediciones efectuadas del agua alumbrada en los aprovechamientos, tiende a incrementarse de 26° C en la periferia hasta 30.5° C en el centro de la población.

Los valores del pH en la periferia del Valle de Iguala tuvieron un máximo valor de 9.03 existiendo valores menores a este del orden de 7 a 8. En la Tabla 3.4 se pueden observar algunos resultados del muestreo efectuado en el estudio de 2005 que corresponden a la ciudad de Iguala de la Independencia.

Tabla 3.4 Parámetros fisicoquímicos de aprovechamientos de la ciudad de Iguala. CONAGUA, 2005.

Clave	Coordenadas	Aprovechamiento	T [°C]	pH	Conductividad	Sólidos Totales
CNAIGNA1	18.39°,-99.535°	Noria	24.7	9.03	990	544.50
CNAIGNA2	18.40°,-99.534°	Noria	25.3	8.74	1533	843.15
CNAIGAP3	18.35°,-99.531°	Pozo	29.7	8.81	613	337.15
CNAIGAP5	18.34°,-99.54°	Pozo	31.5	8.78	940	517.00



CAPÍTULO

4

RESULTADOS

GEOLOGÍA LOCAL

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA-
GEOFÍSICA

INVENTARIO DE POZOS DE AGUA

PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO
Y RED DE FLUJO SUBTERRANEO

CARACTERÍSTICA DE LOS
PARÁMETROS HIDRÁULICOS



4. RESULTADOS

La información necesaria para determinar el modelo conceptual integral que define el comportamiento hidrogeológico del Valle de Iguala, se obtuvo a partir del procesamiento de los datos obtenidos en el trabajo de campo. Los resultados que se muestran en este capítulo son: Geología local, interpretación geológica-geofísica, inventario de pozos, profundidad de niveles de agua subterránea, red de flujo subterráneo y parámetros hidráulicos. Estos resultados son a escala local, y a continuación se describen cada uno de ellos

4.1. Geología local

Con los datos obtenidos en campo se verificó y se detalló el mapa geológico (Figura 4.1) que se realizó previo al trabajo de campo. En la zona de estudio se identificaron seis unidades que van del Cretácico al Cuaternario, de carácter sedimentario e ígneo.

Del mapa se realizaron dos secciones geológicas, la 1-1' cuya orientación es NW-SE y sus coordenadas extremas son 14Q 442250 mE, 2031249 mN y 14Q 445299 mE, 2025749 mN, y la sección 2-2' con orientación NE-SW y coordenadas extremas 14 Q 436259 mE, 2024504 mN y 14Q 449759 mE, 2032004 mN. Ambas secciones pasan por el Valle de Iguala y son perpendiculares una a la otra. La realización de las secciones geológicas fue basada en la geología superficial y en los resultados de la geofísica, debido a que no se cuenta con registros litológicos de los pozos perforados en la zona de estudio. Las secciones se pueden consultar en el Anexo 1.

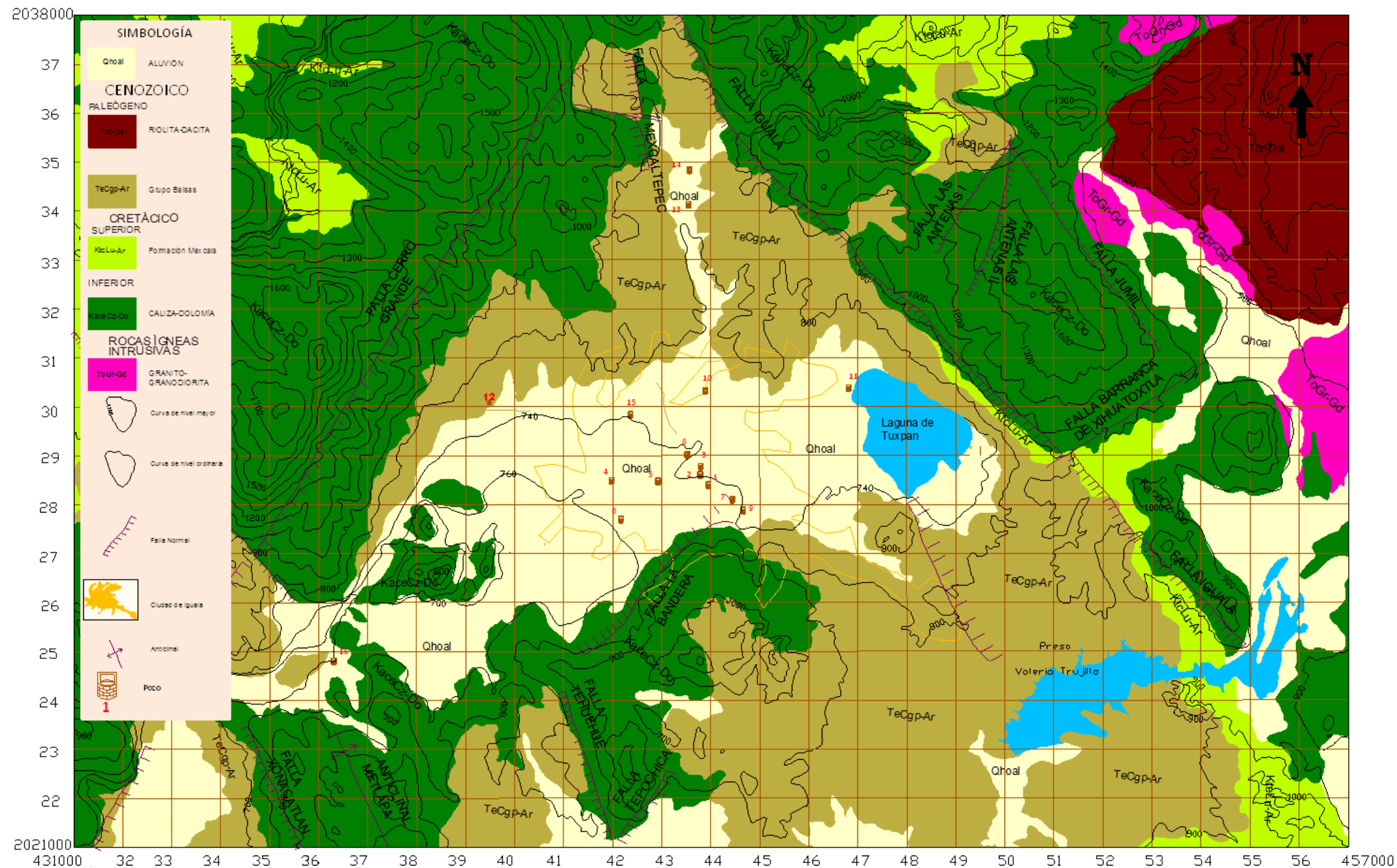


Figura 4.1 Mapa geológico del Valle de Iguala, Guerrero. Modificado de INEGI, 2000 y SGM, 2004.



4.2. Interpretación Geológica-Geofísica

La información del estudio MT (Magnetotelúrico) sugirió, los diferentes espesores que presentan las unidades en el subsuelo, así como los posibles cuerpos saturados de agua. Para poder definir con mayor certeza la composición de estos materiales y distinguir entre un material saturado de agua con potencial hidrogeológico y un material con bajo potencial fue fundamental integrar el modelo geológico obtenido en campo con el perfil geoelectrico obtenido de los MT (Figura 4.2).

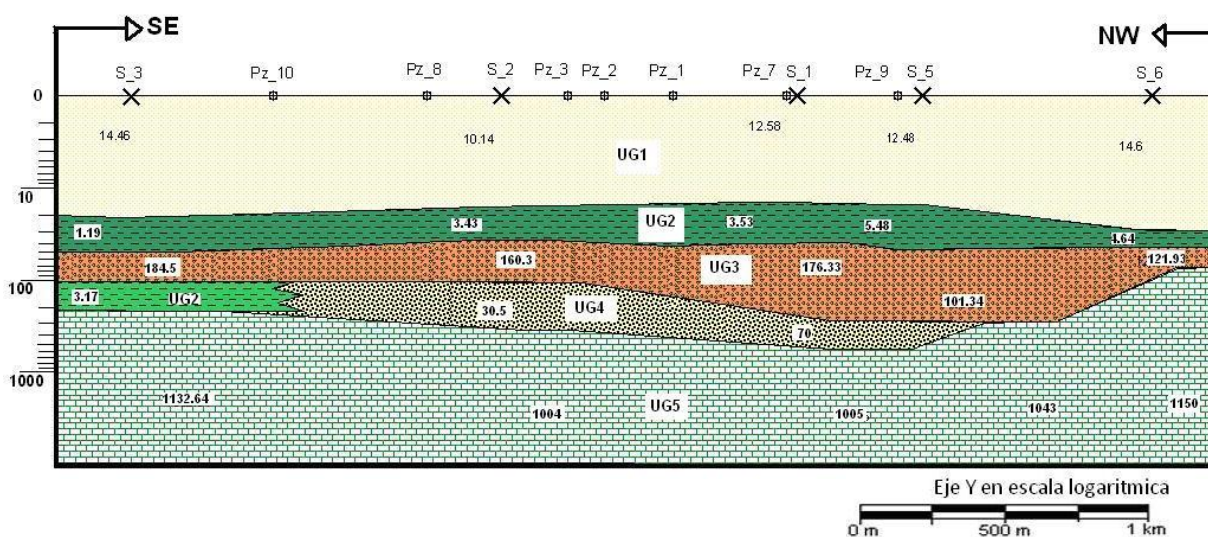


Figura 4.2 Perfil geoelectrico con interpretación geológica, también se muestran los pozos por los que pasa el perfil (Álvarez, 2011).

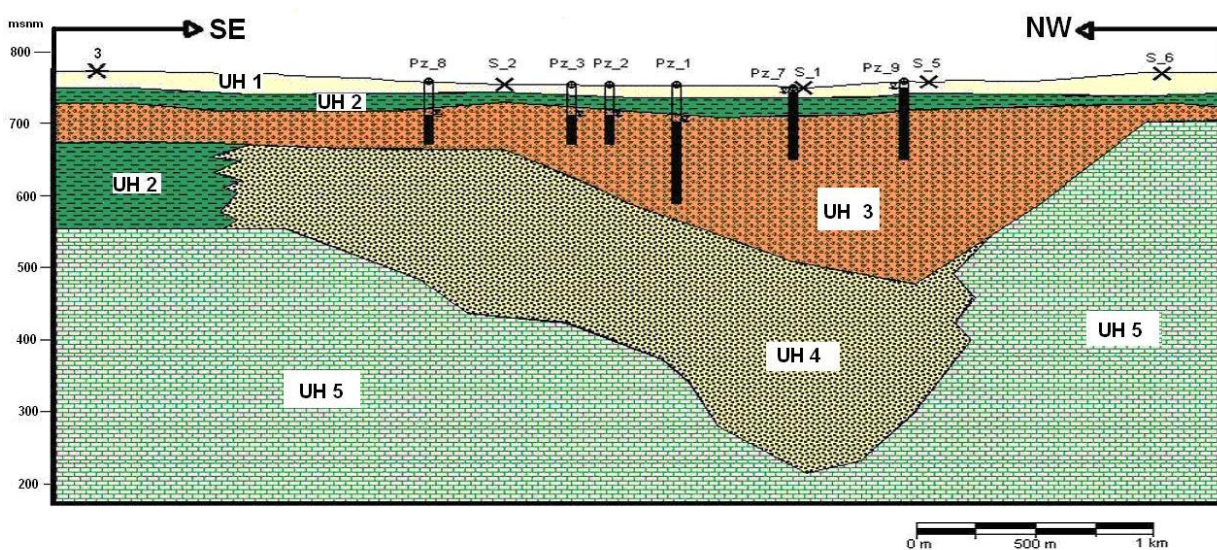


Figura 4.3 Perfil hidrogeológico donde se muestran los pozos cercano al perfil y las unidades hidrogeológicas (Álvarez, 2011).

Al integrar la geología al estudio geofísico se definió la litología de las diferentes unidades geoelectricas, así mismo se comprendió su comportamiento hidrogeológico y con lo que se realizó el perfil hidrogeológico (Figura 4.3).

4.3. Inventario de Pozos de Agua

Para conocer el número de pozos que extraen agua del acuífero granular fue necesario que CAPAMI proporcionara la información constructiva de los pozos que se encuentran dentro del Valle de Iguala. La información que se obtuvo se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Datos constructivos de los pozos que administra (CAPAMI, 2010).

POZO	COLUMNA	BOMBA	MOTOR	LT/SEG	PROFUNDIDAD	OBSERVACIONES
1	150 m	11 pasos grundfus con descarga 4	40 HP corriente 440	20	180 m	12 tramos de 4", el resto de 6".
2	60 m de 4"	8 pasos grundfus	40 HP marca SAER	14	100 m	Se abate.
3		8 pasos grundfus	25 HP grundfus	12	100 m	Presenta fuga entre uniones. Esta prendido diario las 24 hrs.
4	60 m de 3"	5 pasos grundfus	15 HP corriente 220	12	100 m	
5	54 m de 4"	9 pasos grundfus	15 HP	12	80 m	
6	82 m de 4"	9 pasos grundfus	40 HP	20	100 m	
7	72 m de 3"	9 pasos 3"	10 HP	5 a 6	100 m/corriente 220	
8	76 m de 4"	8 pasos 4"	20 HP	12	100 m	Tiene fuga.
9	90 m de 2"	5 pasos 2"	5 HP	1.5	100 m	
15 (Col. Zapata)	85 m de 3"	9 pasos grundfus	10 HP	5	100 m	Se abate. Se prende cada tercer día por 4 hrs.

4.4. Profundidad del nivel estático (PNE) y red de flujo subterráneo

La configuración de la profundidad del nivel estático y la red de flujo subterráneo para el 2005 se elaboró con los pozos registrados en la red piezométrica de la CONAGUA, tomando en cuenta solo aquellos que se encuentran en el Valle de Iguala. Mientras que para la configuración de la profundidad del Nivel Estático y la Red de Flujo Subterráneo del 2010 se utilizaron los pozos que se visitaron en la ciudad y fue posible medir su nivel estático. Los pozos y valores utilizados se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Valores de nivel estático y gradiente hidráulico de los pozos del Valle de Iguala que se utilizaron para las configuraciones para el 2005 y 2010, así como sus coordenadas de ubicación.

#	Nombre	X	Y	Z (msnm)	PNE (m)	Carga hidráulica (msnm)
1*	Pz-1	443942	2028378	735.	44.37	695.63
2*	Pz-2	443771	2028549	736	66.85	673.15
3	Pz-3	443781	2028749	739	64.44	674.56
4	Pz-4	441962	2028459	725	32.61	692.39
5*	Pz-5 Zócalo	442910	2028446	736	19.59	716.41
6	Pz-6	442157	2027662	725	18.16	706.84
7	Pz-7 Lienzo Charro	444427	2028070	744	12.83	731.17
7*	Pz-7 Lienzo Charro	444427	2028070	744	16.91	727.09
8	Pz-8	443512	2028998	741	48.33	693.28
9*	Pz-9	444652	2027862	730	52.69	693.31
10*	Pz-10	443872	2030293	770	26.83	724.17
11	Pz-11	446801	2030365	752	3.15	748.85
12	Jardín Pueblo Viejo	439652	2030055	772	1.27	770.73
13	El Naranjo	443531	2034102	834	2.55	831.45
14	El Naranjo (2)	443557	2034812	845	2.09	842.91
15	Col. Zapata	442351	2029803	740	16.27	723.73
16	Metlapa	436294	2024769	722	5.59	716.41

* Pozos utilizados para las configuraciones del 2010.

4.4.1. Profundidad del Nivel Estático (PNE)

La configuración de esta característica hidráulica se realizó utilizando los valores de PNE y las coordenadas de ubicación del pozo de la tabla 4.2.

Los datos obtenidos en campo se trabajaron a mano alzada para conocer el comportamiento de los niveles estáticos de la zona de estudio para el 2005 y el 2010, posteriormente se utilizó el *software Surfer 9*, los resultados obtenidos de este se compararon con la configuración obtenida a mano alzada debido y modificaron debido a que el programa no considera la geología, topografía y entorno de la zona de estudio.

La configuraciones que se obtuvieron se muestra en la Figura 4.4 y Figura 4.5.

4.4.2. Red de flujo subterráneo

Utilizando los datos de gradiente hidráulico y las coordenadas de ubicación de los pozos de la tabla 4.2 se configuró la red de flujo subterráneo para el 2005 y el 2010. La primera inspección del comportamiento de la red de flujo subterráneo fue a mano alzada y de manera visual. Lo



anterior permitió que al obtener la configuración por *Surfer 9* se pudieran realizar los ajustes necesarios a las líneas equipotenciales, debido a que el software no toma en cuenta la topografía, geología de la zona e información extra. La red de flujo para el 2005 y 2010 se pueden consultar en las Figura 4.6 y Figura 4.7 respectivamente.

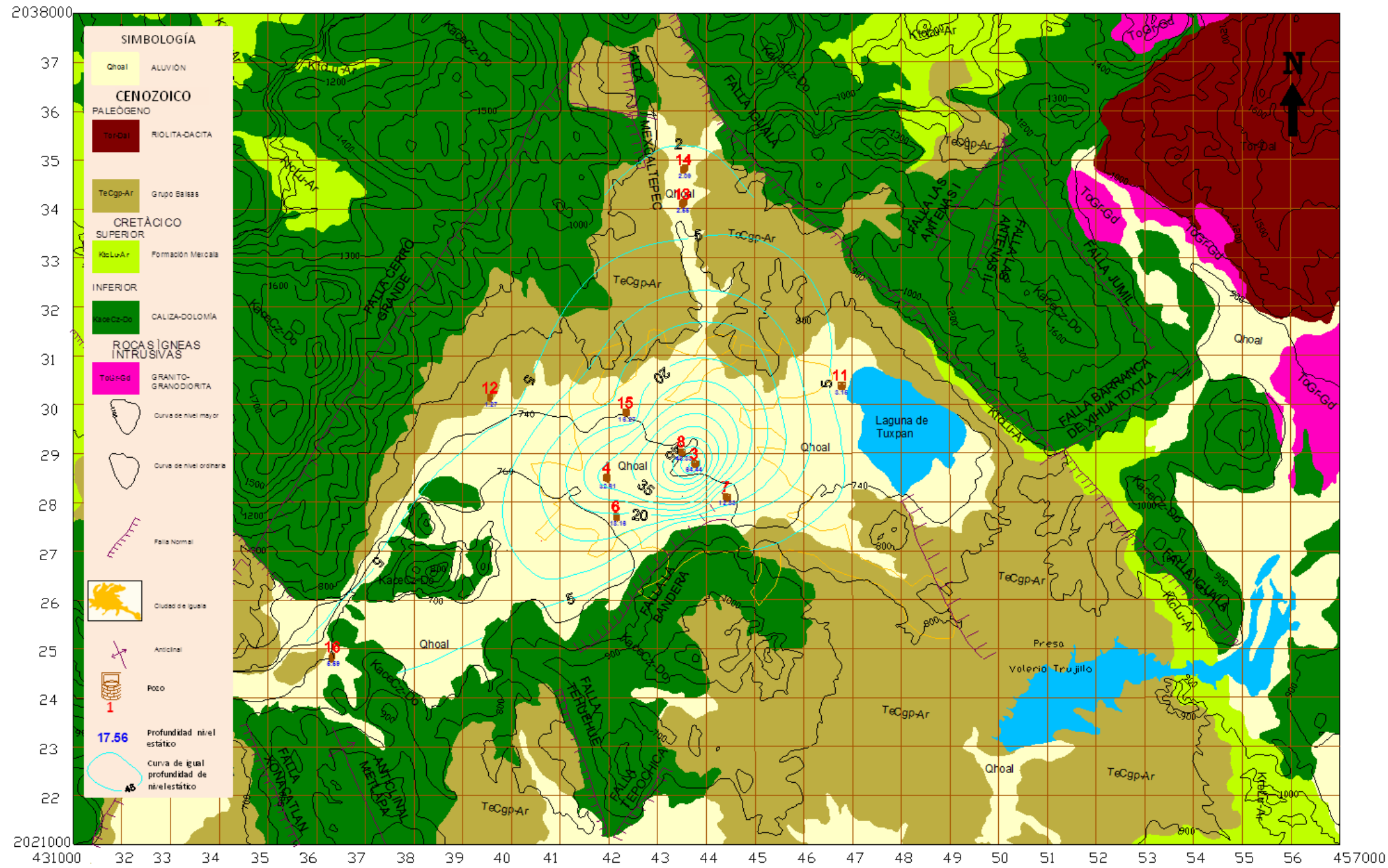
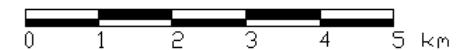


Figura 4.4 Configuración de la profundidad del Nivel Estático del 2005 para el acuífero del Valle de Iguala, Guerrero.



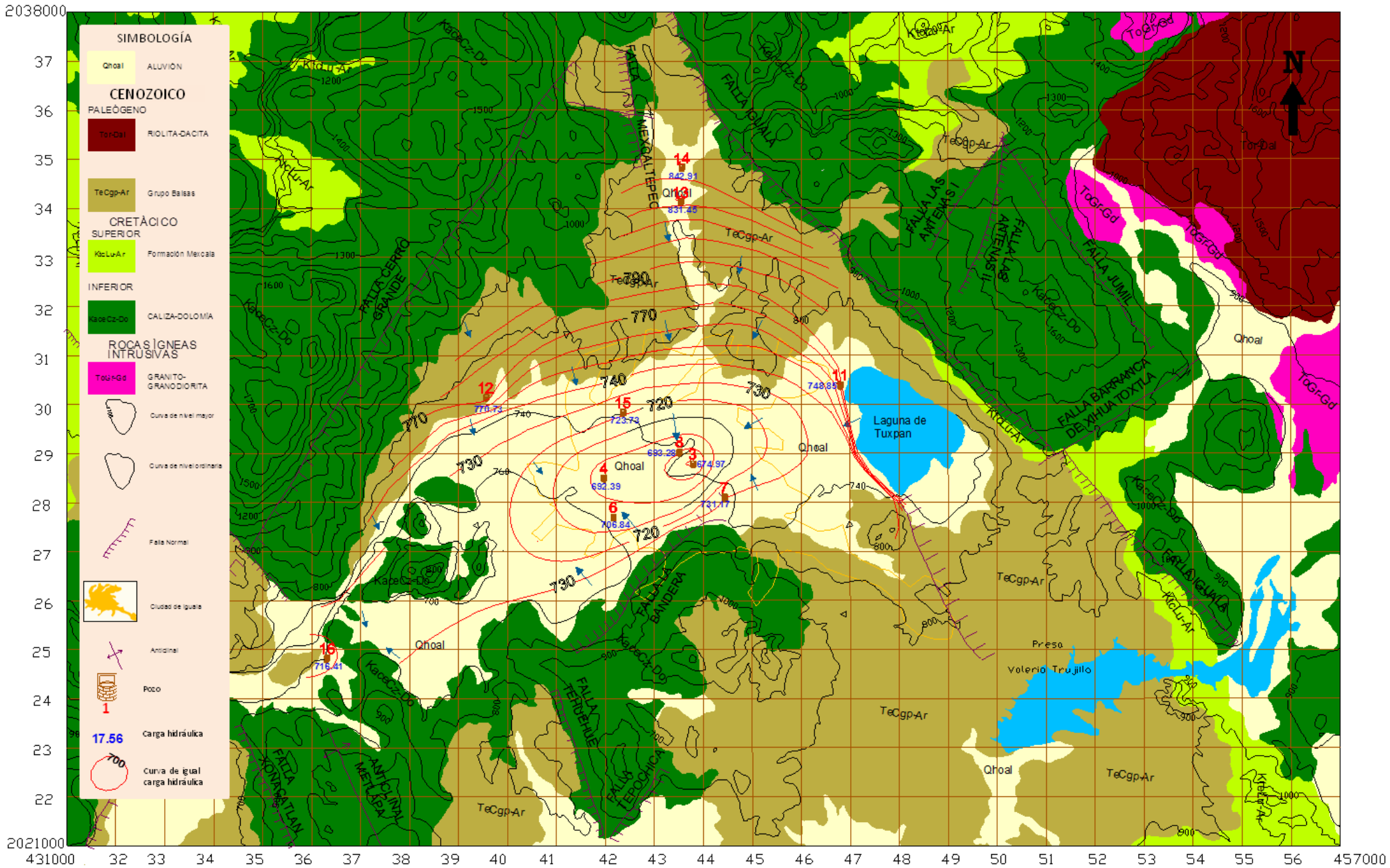
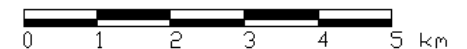


Figura 4.5 Configuración de la elevación del Nivel Estático del 2005 para el Valle de Iguala, Guerrero.



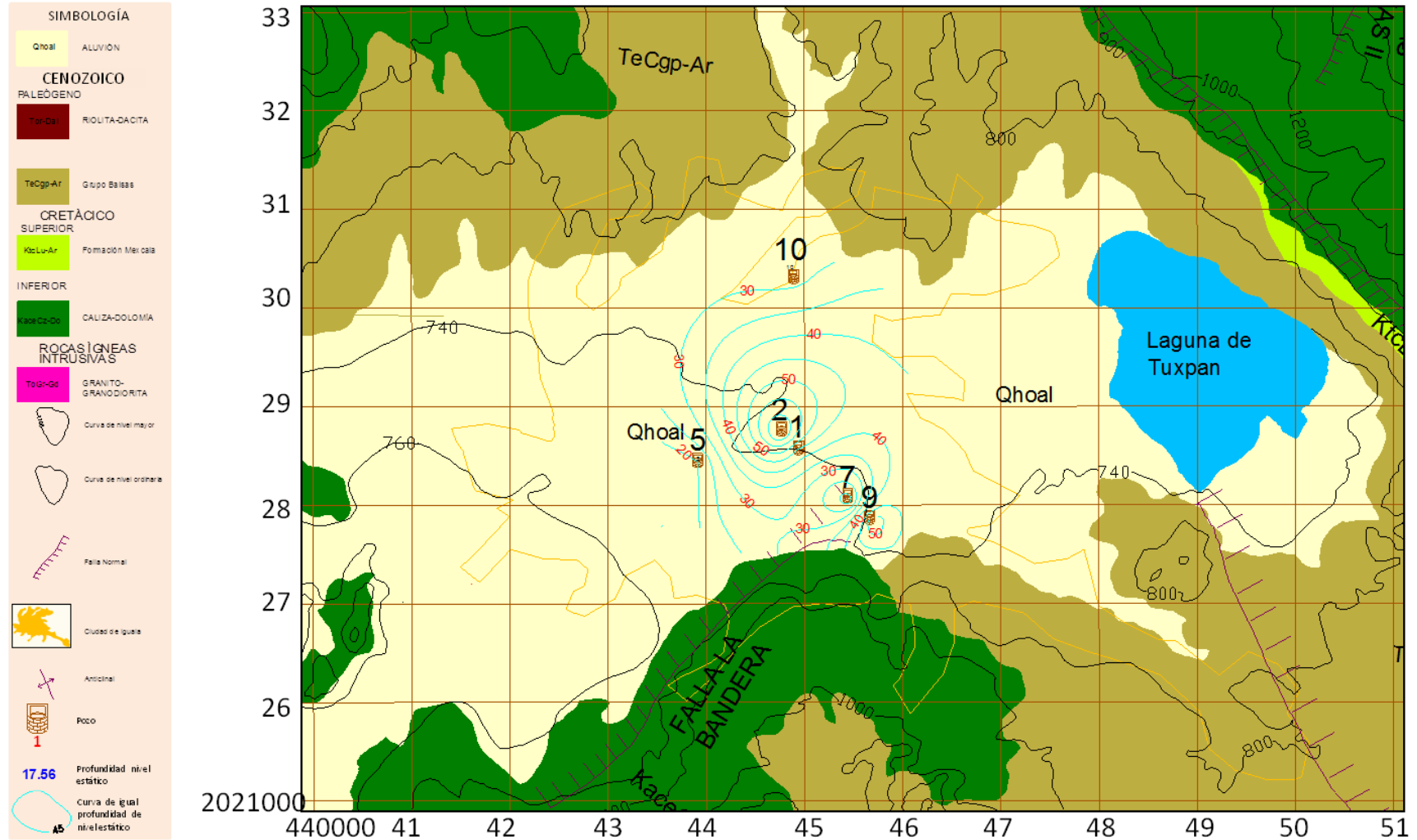
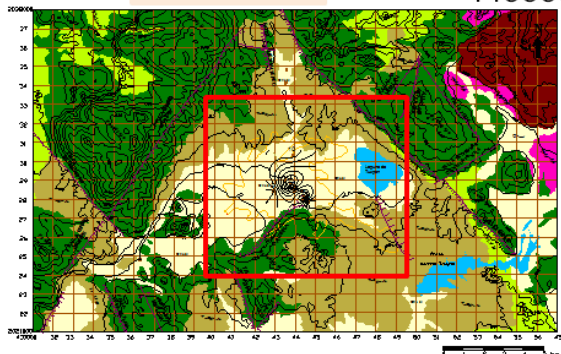


Figura 4.6 Configuración de la profundidad del Nivel Estático del 2010 para el centro de la ciudad de Iguala, Guerrero.



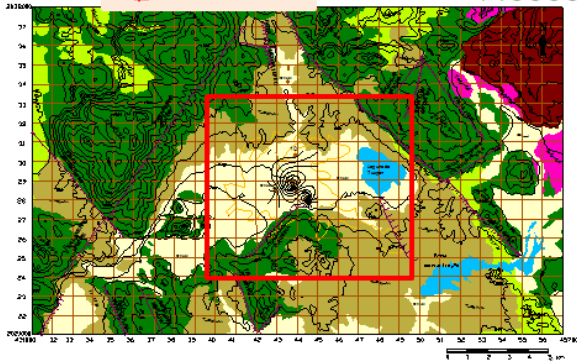
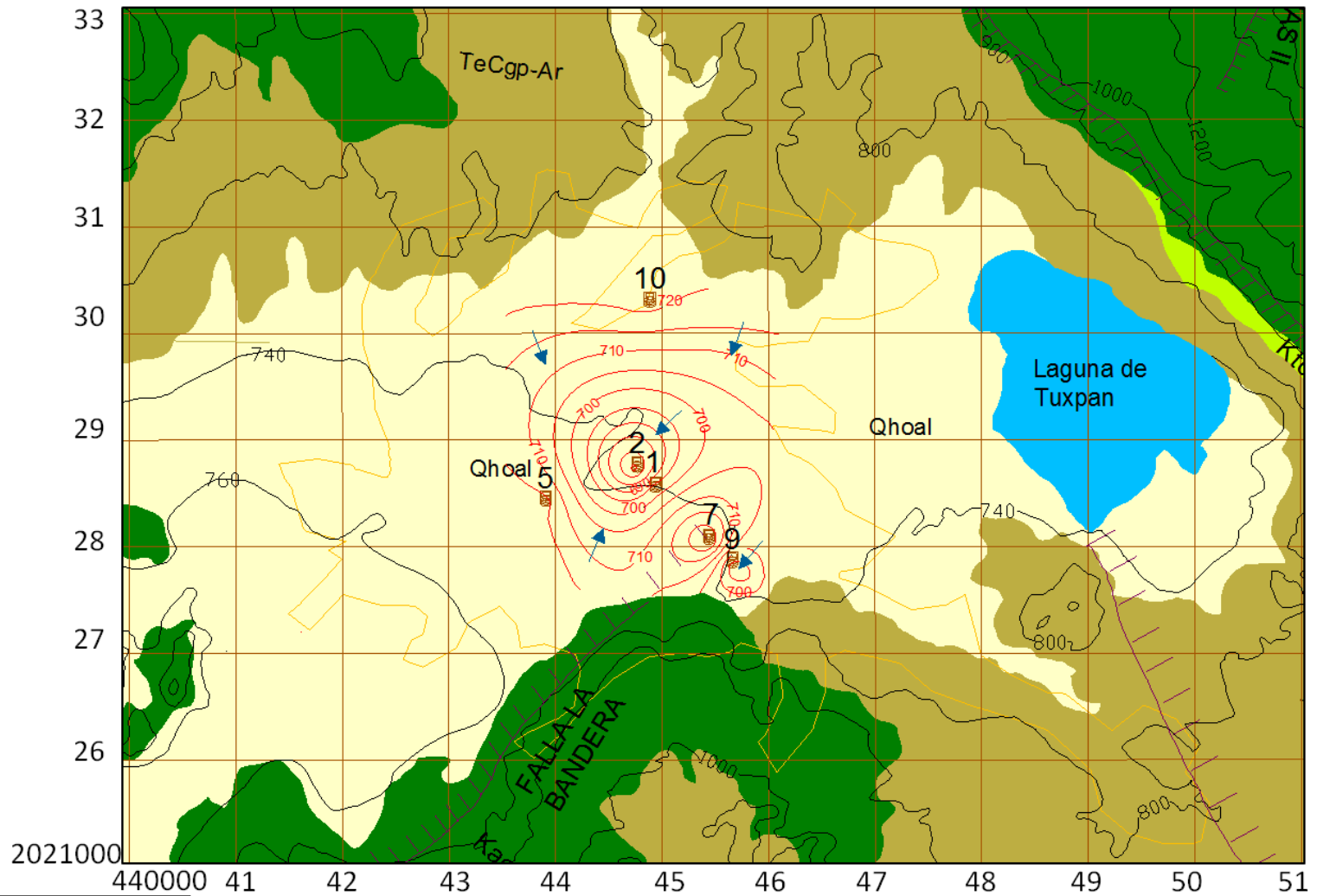


Figura 4.7 Red de flujo subterráneo del 2010 para el centro de la ciudad de Iguala, Guerrero.

4.5. Característica de los parámetros hidráulicos

En esta sección se muestran las gráficas obtenidas de las pruebas de bombeo, realizadas en los pozos 5 y 9 del Valle de Iguala. La ubicación de los pozos se puede consultar en la Figura 4.5 y la Tabla 4.2.

4.5.1. Pozo 5

La primera gráfica que se realizó fue tiempo (t) vs. nivel dinámico (ND) en la cual se puede apreciar la evolución del ND durante toda la prueba de bombeo. La siguiente gráfica fue logaritmo del tiempo ($\log t$) vs. descenso (s), ésta se utilizó para la obtención de transmisividad (T) y la conductividad hidráulica horizontal (k). La siguiente gráfica que se elaboró fue logaritmo del tiempo ($\log t$) vs. logaritmo del descenso ($\log s$), la cual nos permite conocer por medio de la comparación de las curvas tipo el tipo el acuífero en el que se está trabajando. La última gráfica que se realizó corresponde a la parte de la recuperación y se realizó la gráfica del logaritmo del tiempo ($\log t$) vs descenso residual (s'), esta gráfica nos permite confirmar la transmisividad (T) y la conductividad hidráulica horizontal (k) obtenidas anteriormente. Todas las gráficas se pueden consultar en la Figura 4.6.

4.5.2. Pozo 9

Después de que se transcribió la información obtenida de la prueba de bombeo del Pozo 9 a Excel, se realizaron las gráficas necesarias para la interpretación de la prueba. Las gráficas se realizaron con el mismo orden de las gráficas del Pozo 5 y con propósito de obtener los mismos parámetros e información. Las gráficas resultantes se pueden observar en la Figura 4.7.

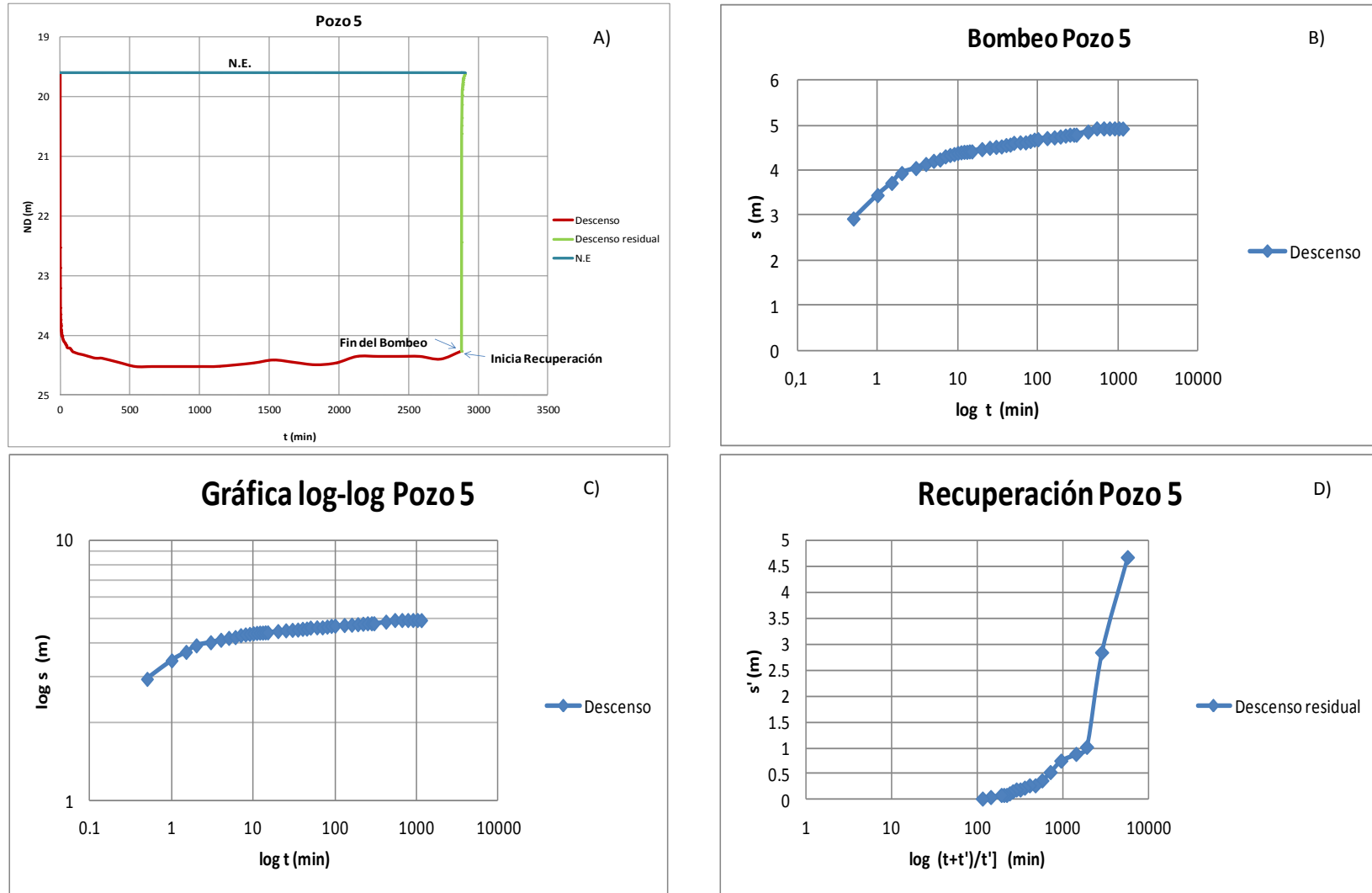


Figura 4.8 Gráficas de la prueba de bombeo del Pozo 5.

A) Gráfica de tiempo vs. nivel dinámico, donde se aprecia la etapa de bombeo, la recuperación y el nivel estático del Pozo 5.

B) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. descenso, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de bombeo.

C) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. logaritmo del descenso, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de bombeo.

D) Gráfica de logaritmo del logaritmo de $(t+t')/t'$ vs. descenso residual, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de recuperación.

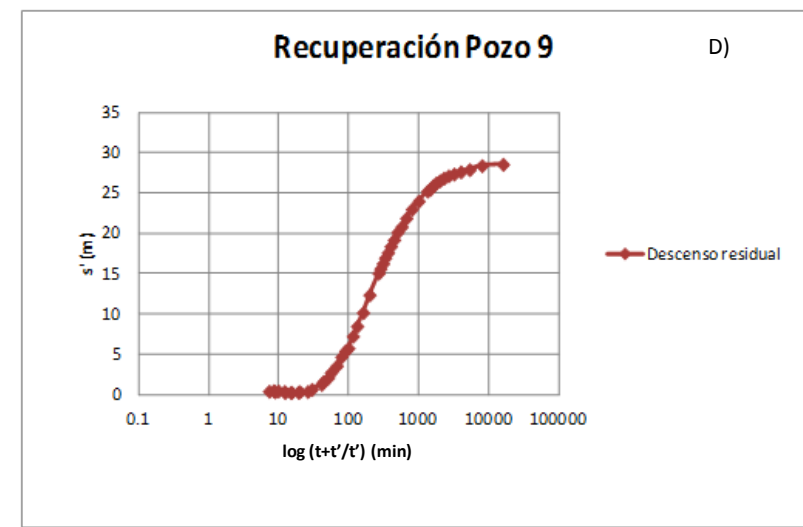
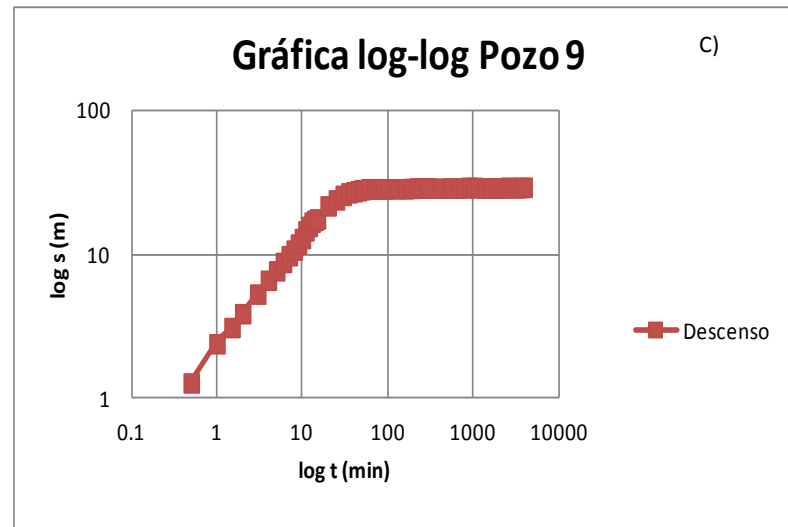
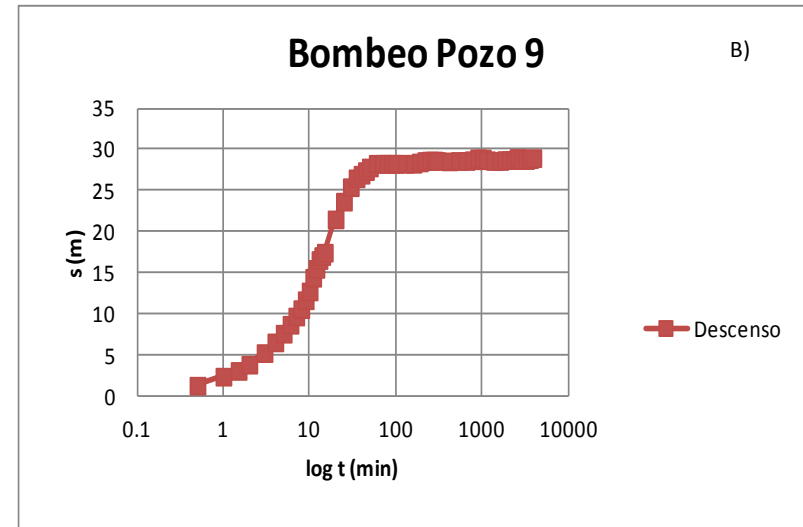
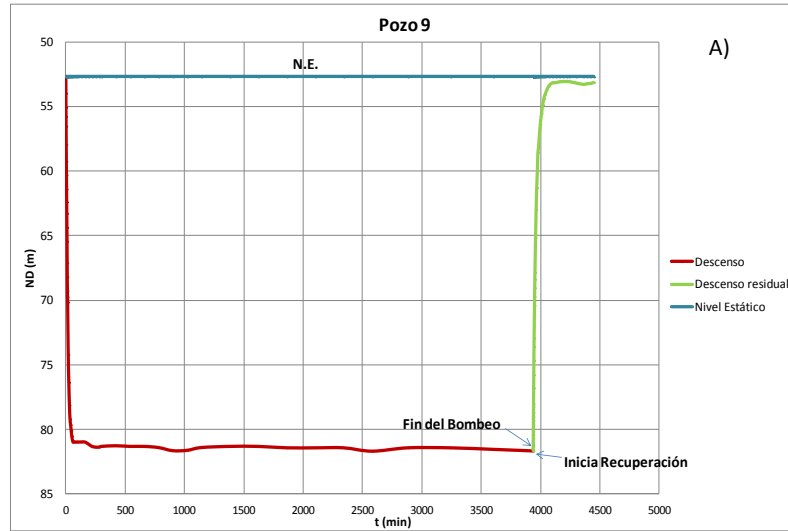


Figura 4.9 Gráficas de la prueba de bombeo del Pozo 9.

A) Gráfica de tiempo vs. nivel dinámico, donde se aprecia la etapa de bombeo, la recuperación y el nivel estático del Pozo 9.

B) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. descenso, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de bombeo.

C) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. logaritmo del descenso, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de bombeo.

D) Gráfica de logaritmo del logaritmo de $(t+t')/t'$ vs. descenso residual, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de recuperación.



CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

GEOLOGÍA LOCAL

CORRELACIÓN GEOLÓGICA-GEOFÍSICA

INVENTARIO DE POZOS DE AGUA

**PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO
Y RED DE FLUJO SUBTERRANEO**

**CARACTERÍSTICA DE LOS
PARÁMETROS HIDRÁULICOS**



5. DISCUSIÓN

Con la integración de los resultados obtenidos del trabajo de campo se obtuvo las secciones geológicas, geoelectricas e hidrogeológicas, esto aunado a la interpretación correspondiente de las pruebas hidráulicas, permitieron definir el modelo conceptual hidrogeológico del Valle de Iguala, el cual explica el comportamiento hidrodinámico del medio físico en el que se trabajó.

5.1. Geología Local

En el mapa que se obtuvo del trabajo bibliográfico y de campo (Figura 4.1) se puede observar que en la zona centro se encuentra la unidad que corresponde a los materiales recientes depositados en los valles, los cuales corresponden con depósitos de talud, aluviales y materiales fluviales. Estos materiales se extienden hacia el suroeste de manera amplia y hacia el sur en una delgada franja. La distribución de estos materiales es relativamente reducida, ya que tan solo se presentan en forma importante en zonas como el Valle de Iguala. EXYCO (1988), considera un posible espesor de 25 a 50 m en el Valle de Iguala ya sea a causa de la presencia de paleocanales o, bien, de depósitos fluviolacustres. Como resultado del estudio geofísico realizado en la zona de estudio se pudo verificar el espesor de esta unidad va de 20 a 30 m, el cual es congruente con el reportado por la CONAGUA (2008).

En contacto con los depósitos recientes se encuentra el Grupo Balsas, el cual está representado por un conglomerado calcáreo con matriz arcillosa. Este grupo rodea en su mayor parte al aluvión, a excepción de la parte sur y suroeste donde el aluvión está en contacto directo con las calizas del Cretácico.

La zona con mayor exposición del conglomerado Balsas se localiza en la parte sureste del área de estudio. Solamente los conglomerados ubicados al noroeste de Iguala presentan cierto grado de cementación que disminuye su permeabilidad.

La disposición geológica y condiciones texturales que presentan el aluvión y el conglomerado, sugiere que son materiales aptos para recibir una buena recarga y se les puede considerar como materiales transmisores; o bien, un acuífero granular libre de mediana importancia.



EXYCO (1988) reporta que estos materiales en conjunto aportan caudales de agua del orden de 20 a 30 l/s, clasificándolo como un acuífero de regular importancia y la CONAGUA (2008) menciona la explotación de los materiales granulares de la zona del Valle de Iguala.

En la parte sureste de la zona de estudio se tiene un afloramiento de la Formación Mexcala orientado noroeste-sureste, compuesto por una potente secuencia de lutitas, areniscas y calizas arcillosas. También se tienen afloramientos en el sector nor-noreste y noroeste de la zona de estudio. Esta unidad desde el punto de vista hidrogeológico debido a su predominante litología arcillosa, su fracturamiento y cerrado espaciamiento de estratificación sugiere que es un paquete de baja permeabilidad. EXYCO (1988) y CONAGUA (2008) consideran a esta unidad como el confinante superior del acuífero calcáreo.

Las elevaciones topográficas que rodean el Valle de Iguala están formadas por las calizas de edad cretácica, las cuales tienen una mayor distribución en la parte oriental y occidental de la zona de estudio. Esta unidad se puede considerar como un buen acuífero en la partes donde presenta alto grado de permeabilidad secundaria, consecuencia de los procesos físico-químicos que actuaron posteriormente a su depósito, también se puede considerar con un gran potencial de recarga en las zonas donde está expuesta.

En la parte noreste de la zona de estudio se tienen afloramientos de la Riolita Tilzapotla, la cual cubre principalmente a las rocas cretácicas, así como exposición de cuerpos intrusivos de composición granodiorítica.

En términos generales la Riolita Tilzapotla se considera impermeable aunque por fracturamiento puede tener importancia hidrogeológica, mientras que a los cuerpos intrusivos se les considera barreras laterales del acuífero.

Las fallas relacionadas a procesos que causaron extensión son post-orogénicos, son de tipo normal, algunas de ellas con componente lateral que afectan a las unidades mesozoicas y cenozoicas. En términos generales, presentan una orientación noroeste y sureste, con inclinaciones al oriente y occidente. Las fallas más sobresalientes son: Cerro Grande, Xonacatlan, Iguala, Mexcaltepec, EL Jumil y Barranca de Xiahuatotxtla.

Lo descrito en los párrafos anteriores se resume en la siguiente tabla.

Tabla 5.1 Litología y comportamiento hidrogeológico de las unidades en el Valle de Iguala, Guerrero.

Litología	Edad	Espesor	Correlación hidrogeológica
Depósitos Recientes	Cuaternario	20 a 30	Capa semipermeable
Conglomerado polimíctico	Eoceno	200 a 500	Capa permeable
Lutitas y areniscas	Cretácico Superior	100	Capa de baja permeabilidad
Calizas	Cretácico	500	Capa semipermeable
Riolitas	Paleógeno		Capa de baja permeabilidad
Intrusivo granodiorítico	Oligoceno		Barrera latera impermeable

Del mapa geológico del Valle de Iguala se realizaron dos secciones geológicas que cruzan la Ciudad de Iguala de sureste-noroeste (sección 1-1') y noreste-suroeste (sección 2-2') las cuales se pueden consultar en el Anexo 1. Estas pasan por la mayoría de los pozos con la intención de lograr una correlación con los cortes litológicos de los pozos. Desafortunadamente CAPAMI, la institución a cargo de los pozos no cuenta con los registros litológicos y las secciones se detallaron con base en la correlación geológica-geofísica.

La sección 1-1' tienen una dirección S29°E y N29°W, y sus coordenadas extremas son 14Q 442250 mE, 2031249 mN y 14Q 445299 mE, 2025749 mN, y una longitud de 6.281 km. Esta sección pasa por la ciudad de Iguala en su porción central y corta a los depósitos recientes, el Grupo Balsas, la Formación Mexcala y las calizas del Cretácico.

En la sección se observa que los depósitos recientes tienen un espesor aproximado de 20 m y sobre estos está asentada la ciudad de Iguala, mientras que el Grupo Balsas muestra un espesor de alrededor de 150 m, la formación Mexcala un espesor máximo de 300m y las calizas casi de 750 m. Hacia el extremo derecho de la sección se corta a La Falla Bandera, la cual es de carácter normal con una dirección NE-SW y una inclinación de 80°.

La sección 2-2' está orientada NE y SW, sus coordenadas extremas son 14Q 436259 mE, 2024504 mN y 449759 mE, 2032004 mN y tiene una longitud de 15.443 km. Nuevamente esta sección corta la ciudad de Iguala en su porción central y un extremo de la Laguna de Tuxpan. Las formaciones que corta son: Grupo Balsas, Formación Mexcala y las calizas de Cretácico. Los espesores que se pueden apreciar en la sección son: 20 m para el Grupo Balsas, 150 m para la Formación Mexcala y 200m para las calizas del Cretácico.

Hacia la parte derecha de la sección pasando la Laguna de Tuxpan se atraviesa la falla de Iguala que tiene una orientación NW-SE y una inclinación de 75°.

5.2. Interpretación Geológica-Geofísica

Una de las fases de este trabajo consistió en el análisis de la resistividad eléctrica que presentan los materiales del subsuelo en el Valle de Iguala. La obtención de los valores de la resistividad fue mediante el método Magnetotelúrico, el cual se explicó en el capítulo 2.

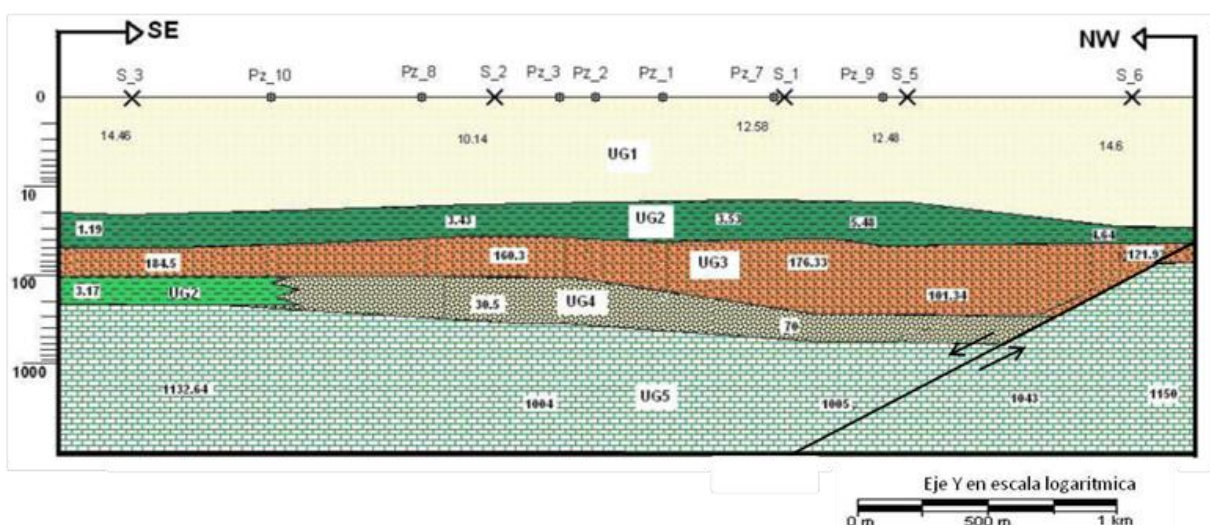


Figura 5.1 Perfil geoelectrico con interpretación geológica, también se muestran los pozos por los que pasa el perfil (Modificado de Álvarez, 2011).

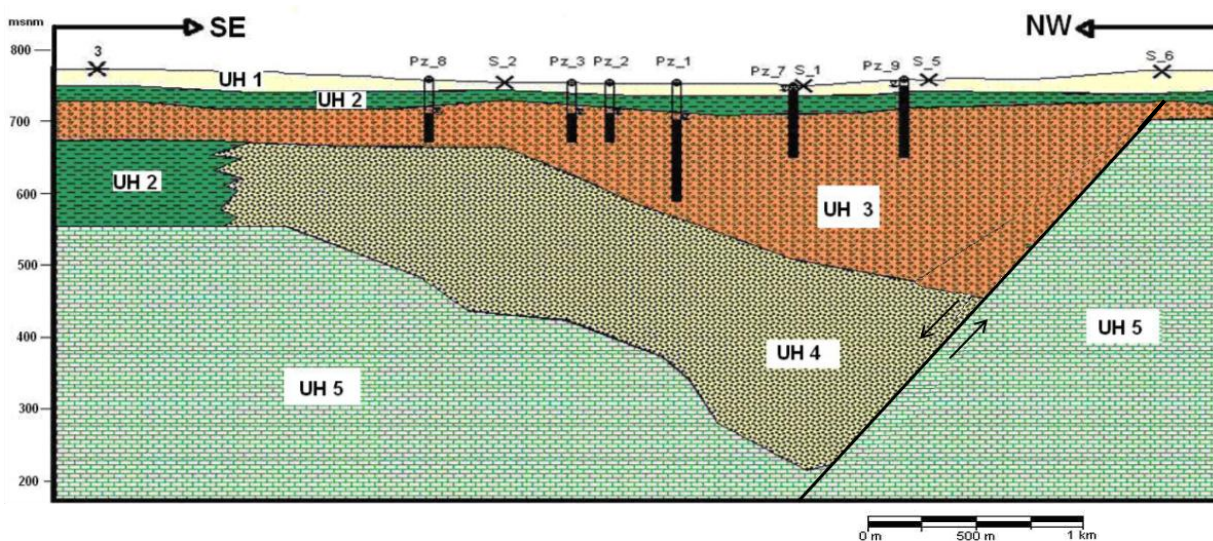


Figura 5.2 Perfil hidrogeológico donde se muestran los pozos por los que pasa el perfil y las unidades hidrogeológicas (Modificado de Álvarez, 2011).



Las unidades geoelectricas (Figura 5.1) que se obtuvieron tras la interpretación de la geofísica y las unidades hidrogeológicas (Figura 5.2) resultantes de la integración de la geofísica y la geología se discuten a continuación.

La UG1 muestra resistividades entre 10 y 15 Ω^*m . estos valores, sugieren una litología de depósitos aluviales, lo cual es consistente con la unidad más reciente que se encuentra en el Valle de Iguala que corresponde a gravas y arenas con una porción menor de limos y arcillas, la cual ha sido reportada con un espesor promedio de 20 m en el Estudio Geológico-Estructural y de Prospección Geohidrológica en la zona de Iguala-Cocula (EXYCO, 1988); dicho espesor es similar al reportado por el estudio geofísico realizado para el proyecto que se presenta en esta tesis. Estos depósitos se clasificaron en la Unidad Hidrogeológica (UH1) los cuales debido a sus condiciones texturales les permite recibir buena recarga, por lo cual se les puede considerar como materiales transmisores o como constituyentes de un acuífero libre de regular importancia.

La siguiente unidad, se clasificó como UG2 la cual presenta resistividades de 3 a 5.5 Ω^*m , valores que sugieren la presencia de sedimentos finos. Debido a la geología reconocida en la zona y expresada en el mapa geológico (Figura 4.1), se sabe que en el Valle de Iguala la unidad que está en contacto con los depósitos recientes del Cuaternario es el Grupo Balsas. Este Grupo se caracteriza principalmente por una secuencia de conglomerados, calizas lacustres, areniscas y limolitas Por lo cual, se sugiere que esta capa de baja resistividad correspondería a la presencia de una capa de limolita. Esta unidad ha sido clasificada como la Unidad Hidrogeológica (UH2), su comportamiento hidrogeológico es similar al de un acuitardo ya que estos sedimentos normalmente presentan baja permeabilidad.

Las resistividades que se observan en UG3 son de 101 a 185 Ω^*m , valores que en rocas sedimentarias se encuentran entre areniscas y conglomerados. Esta unidad a diferencia de las dos unidades anteriores, hacia las orillas de la sección geoelectrica el espesor disminuye. En el noroeste tiene un espesor aproximado de 50 m mientras que en el sureste de 20 m. El mayor espesor de esta unidad geoelectrica se localiza en los pozos 7 y 9, y sondeos 1 y 5 con un valor aproximado de 250 m. Hidrogeológicamente las areniscas y conglomerados presentan las condiciones necesarias para la formación de acuíferos de mediana a buena importancia. Esto se debe a que poseen generalmente un alto grado de porosidad efectiva. El

término anterior se refiere a la cantidad de poros interconectados que posee la roca, lo cual permite que sea más fácilmente drenados los fluidos de sus poros. Tras su análisis hidrogeológico se le clasificó como UH3.

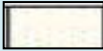




La siguiente unidad geoelectrica UG4 oscila entre las resistividades 70 y 30 $\Omega \cdot m$, valores que sugieren la presencia de areniscas y arcillas. Esta unidad tiene un espesor que va de 100 a 300 m, donde el mayor espesor fue detectado por el sondeo S_1. En el sondeo S_6 no se detecta esta formación, lo cual puede deberse a la presencia de una falla normal, debido a que en la zona se tiene un graben y el SGM (2004) reporte una falla normal muy cercana a este punto la cual puede que se extienda hasta esa zona y se encuentre cubierta por los depósitos recientes y el pavimento de la zona. Otra peculiaridad que fue detectada por la geofísica fue el cambio de facie que presenta la unidad en el extremo izquierdo del perfil geofísico. La resistividad de la unidad disminuye hasta valores de 3.17 $\Omega \cdot m$. Esto puede deberse a que la Formación Mexcala es muy variable en su litología, tanto lateral como verticalmente. Está constituida por una litología de areniscas, limolita, lutita calcárea con escasos lentes de caliza clástica y conglomerado de grano fino por lo que este cambio en la resistividad puede deberse a una transición a sedimento finos. Esta unidad se clasificó como dos unidades geofísicas debido al cambio en las resistividades. La facie que dio valores resistivos similares a las areniscas se le nombró UG4, esta unidad hidrogeológicamente se nombró UH4 y presenta potencial para la formación de acuíferos de baja importancia debido a que su extensión no es muy amplia y al contenido de material fino. Mientras que la facie con valores resistivos bajos se agrupó con UG2 y posteriormente con UH2 debido a que son sedimento de baja permeabilidad que actúan como barrera lateral.

Tabla 5.2 Interpretación geológica del perfil geoelectrico (Modificado de Álvarez, 2011).

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología	
	UG1	10-15	19	14-19	Depósitos aluviales del Cuaternario
	UG2	3-5.5	30	11	Lente arcilloso
	UG3	102-185	31	20-250	Intercalaciones de conglomerados y areniscas (Formación Balsas)
	UG4	30-70	100	100-250	Areniscas y arcillas (Formación Mexcala)
	UG5	1004-1150	550-?	?	Calizas (Formación Morelos)

La última unidad detectada se nombró como UG5, presenta valores de 1004 a 1150 $\Omega \cdot m$ los cuales son característicos de rocas cristalinas generalmente sanas, relacionando con la geología de la zona estas rocas corresponden a calizas. Esta unidad se encuentra presente a lo largo de todo el perfil geofísico y no se conoce el espesor real de la unidad aunque el espesor detectado es muy variable va de 500 m en el sondeo S_6 a 50 m en el sondeo S_1.

Tabla 5.3 Interpretación hidrogeológica de las unidades geológicas del Valle de Iguala (Modificado de Álvarez, 2011.)

Unidad hidrogeológica	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología	Correlación hidrogeológica	
	UH1	10-15	19	14-19	Depósitos aluviales	Zona vadosa y acuíferos colgados libres de baja k
	UH2	3-52	19-30	11	Sedimentos de baja permeabilidad	Acuitardo
	UH3	102-185	31-99	20-250	Intercalaciones de conglomerados y areniscas	Acuífero granular
	UH4	30-70	100-550	100-250	Areniscas y arcillas	Acuitardo-acuífero de muy baja k
	UH5	1004-1150	550-?	?	Caliza	Límite poco permeable

5.3. Inventario de Pozos de agua

Se tiene la información de 16 pozos en la zona del Valle de Iguala. De los cuales 10 están en la ciudad de Iguala y de estos, 6 se localizan en el centro de la ciudad.

Los caudales de extracción en los pozos van de 2.5 l/s a 20 l/s. En promedio los 16 pozos extraen un caudal de 11 l/s.

La profundidad de los pozos que reporta CAPAMI está entre los 100 y 150 m, profundidad a la que se encuentra el acuífero granular del Grupo Balsas en el Valle de Iguala.

5.4. Profundidad del nivel estático (PNE) y red de flujo subterráneo

5.4.1. Profundidad nivel estático (PNE)

En la configuración del 2005 (Figura 4.4) se aprecia de forma clara que el nivel estático es somero hacia las orillas del acuífero, los cuales varían de 1.27 m hasta poco más de 18 m de profundidad



Los niveles de mayor profundidad se localizan en el centro del Valle de Iguala con valores que van de 32.61 a 64.44 m de profundidad.

En la configuración realizada con algunos pozos localizados dentro de la ciudad de Iguala para el 2010 (Figura 4.5) muestra marcadas deformaciones en la líneas equipotenciales. Las deformaciones en las líneas equipotenciales se deben a la alta concentración de pozos en el centro y la marcada heterogeneidad del acuífero. Se puede apreciar que en el sector sureste y centro de la ciudad se tiene un aumento en la profundidad del nivel estático en comparación al 2005. Las profundidades en la configuración van de 16.91 m hasta 66.85 m,

En la red del 2005 se puede notar que en nivel va descendiendo de manera uniforme mientras que para el 2010 se tienen zonas donde la profundidad del nivel estático es mucho mayor haciendo muy notorio la formación de conos de abatimiento en puntos muy específicos.

El pozo 7 que tienen datos para el 2005 y el 2010 tiene un descenso de 4 m en el nivel estático mientras que en la zona del centro es de 2.5 m el descenso en el nivel estático.

5.4.2. Red de flujo subterráneo

En la configuración de la Figura 4.5 que corresponde al año 2005 se puede apreciar que las equipotenciales se encuentran acotadas cada 10 unidades, que los valores más altos de las cargas hidráulicas se tienen en la parte norte del valle con valores de 842.91 y 831.45 msnm y en el este que muestra valores de 748.85 msnm, mientras que en el centro de la ciudad de Iguala se tienen los valores más bajos, siendo el menor de 674.97 msnm. Hacia la parte suroeste del Valle de Iguala también se tienen cargas hidráulicas de bajo valor que van de 706.84 a 716.41 msnm. El valor promedio de las cargas hidráulicas en el Valle de Iguala es de 756.75 msnm.

Se determinó que la Laguna de Tuxpan le aportaba agua al acuífero debido a que las cotas altas se encuentran en el límite de la laguna, mientras que las bajas se encuentran hacia el centro y suroeste y el movimiento del agua dentro del acuífero es de la cota más alta a la más baja y no al contrario.



Se tienen ligeras deformaciones en las equipotenciales en el noreste y suroeste relacionadas a la extracción de agua. Mientras que en el este se observan deformaciones en las equipotenciales cerca a la Laguna de Tuxpan, debido a que este cuerpo de agua se encuentra hidrogeológicamente conectado al acuífero cediéndole agua.

El gradiente hidráulico en la parte septentrional del valle es de 0.025 unidades, mientras que en la parte oriental es de 0.042 unidades lo cual queda ejemplificado al tener las curvas equipotenciales muy cerradas en la cercanía de la Laguna de Tuxpan, mientras que en la parte suroeste es de 0.017 unidades.

En la red de flujo se observa que se tienen zonas de recarga en la parte este, noreste, norte y noroeste. Aunque en el noroeste se ve afectada la recarga debido a que el conglomerado presenta cementación y por lo tanto se ve disminuida su permeabilidad. Estas recargas son originadas por la infiltración de agua de lluvia, zonas de cultivos, entre otros.

A pesar de que la cargas hidráulicas más bajas se localizan en el centro de la ciudad de Iguala, el flujo no sigue esa dirección. Eso valores bajos de cargas como se menciono anteriormente se debe a la alta concentración de pozos que se tiene en esta parte de la ciudad. Por lo que el flujo realmente sigue una dirección noreste-suroeste. En general se puede afirmar que el flujo subterráneo reconoce la trayectoria del río Iguala. Esta aseveración es congruente con lo reportado por la CONAGUA, 2008.

Durante las visitas en el 2010 fue posible medir el nivel estático de seis pozos que se localizan en el centro, norte y sureste de la ciudad de Iguala. Con estos datos se realizó un pequeña red para el 2010 en la que se puede observar que se tienen deformaciones de las líneas equipotenciales en el centro de la ciudad atrayendo el flujo hacia ese punto. Lo cual se debe a que de los pozos perforados en la ciudad, se tiene la mayor concentración de pozos en el centro que en promedio extraen 12 l/s teniéndose como resultado la formación de conos de abatimiento.

5.5. Características de los Parámetros Hidráulicos

Para poder entender el comportamiento dinámico del agua en el subsuelo, se requiere una caracterización hidrogeológica que defina los parámetros hidráulicos en cuestión.



Para estimar los parámetros hidráulicos se realizaron 2 pruebas de bombeo de larga duración. El método analítico utilizado para la interpretación de estas pruebas fue establecido por Cooper-Jacob (1946) el cual se explicó en el capítulo 2.

5.5.1. Pozo 5

En este apartado se discutirá la utilidad de cada gráfica que se realizó y los criterios de interpretación para el Pozo 5. Las gráficas interpretadas se muestran en la Figura 5.2.

En la gráfica A de la Figura 5.2 Se puede observar que antes de iniciar la prueba de bombeo en el Pozo 5 el nivel estático se encontraba a 19.59 m. Durante la etapa de bombeo el ND alcanzó una profundidad de 24.51 m, es decir un descenso de 4.92 m en los 2880 minutos que duró esta etapa. Una vez parada la bomba el pozo logro una recuperación del 96% lo que equivale a que el nivel dinámico regresó a una profundidad de 19.61 m. La recuperación del ND duró 25 minutos.

Etapa de bombeo del Pozo 5

Para la interpretación de la prueba de bombeo del Pozo 5 se tomaron los datos del tiempo $t = 0.5$ min (dato 2) hasta el tiempo $t = 1140$ min (dato 43) y sus descensos correspondientes (Anexo 3). Para la realización de la gráfica log tiempo ($\log t$) vs descenso (s) y log tiempo ($\log t$) vs log descenso ($\log s$) las cuales se pueden observar en la Figura 5.2B y C.

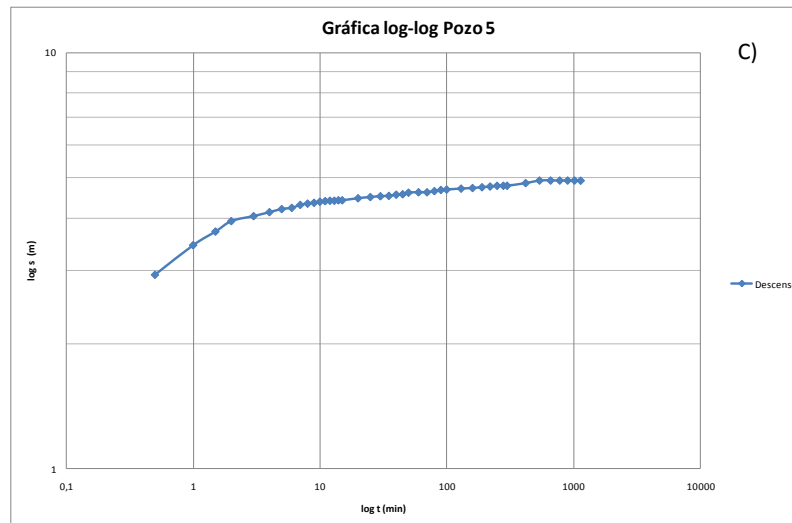
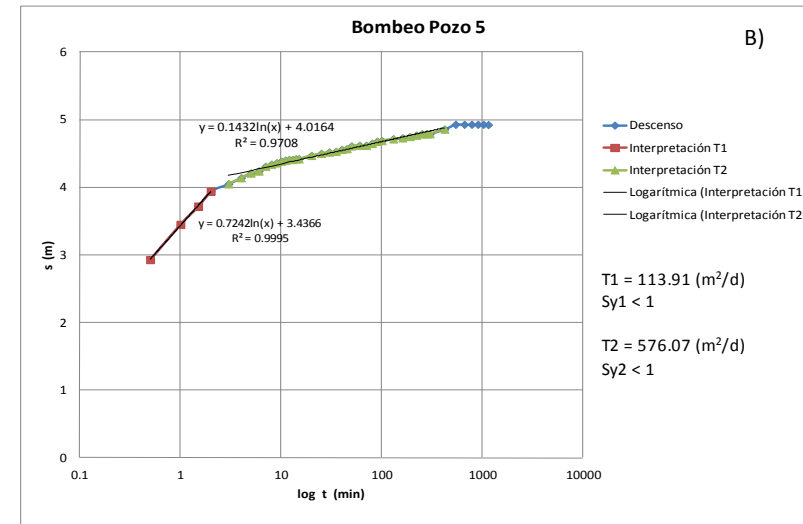
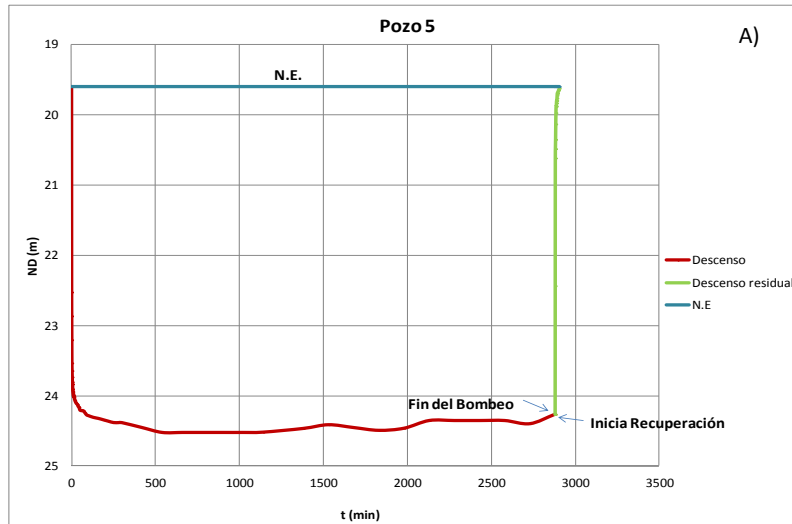


Figura 5.3 Gráficas interpretadas de la prueba de bombeo del Pozo 5.

A) Gráfica de tiempo vs. nivel dinámico, donde se aprecia la etapa de bombeo, la recuperación y el nivel estático del Pozo 5.

B) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. descenso, donde se observan las curvas de tendencia y los valores de transmisividad y rendimiento específico obtenidos de la interpretación de la etapa de bombeo.

C) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. logaritmo del descenso, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de bombeo.

D) Gráfica de logaritmo del $(t+t')/t'$ vs. descenso residual, donde se observa la curva de tendencia y el valor de la transmisividad de la etapa de recuperación.

Una vez que se tuvieron las gráficas, se compararon con las curvas teóricas (Figura 5.3) para confirmar el tipo de acuífero, encontrándose que su comportamiento era similar al de un acuífero libre, esto concuerda con el Estudio Geológico-Estructural y de Prospección Geohidrológica en la zona de Iguala-Cocula, Estado de Guerrero (1988), donde mencionan que en el Valle de Iguala se tiene la presencia de un acuífero libre en los sedimentos arcillo-arenosos del Grupo Balsas.

Una vez que se confirmó el tipo de acuífero se procedió a interpretar la curva de la gráfica semilogarítmica. Observando la gráfica de la Figura 5.2B se decidió que había 2 segmentos que podían interpretarse, se interpretaron y más adelante se comentará cual es el resultado.

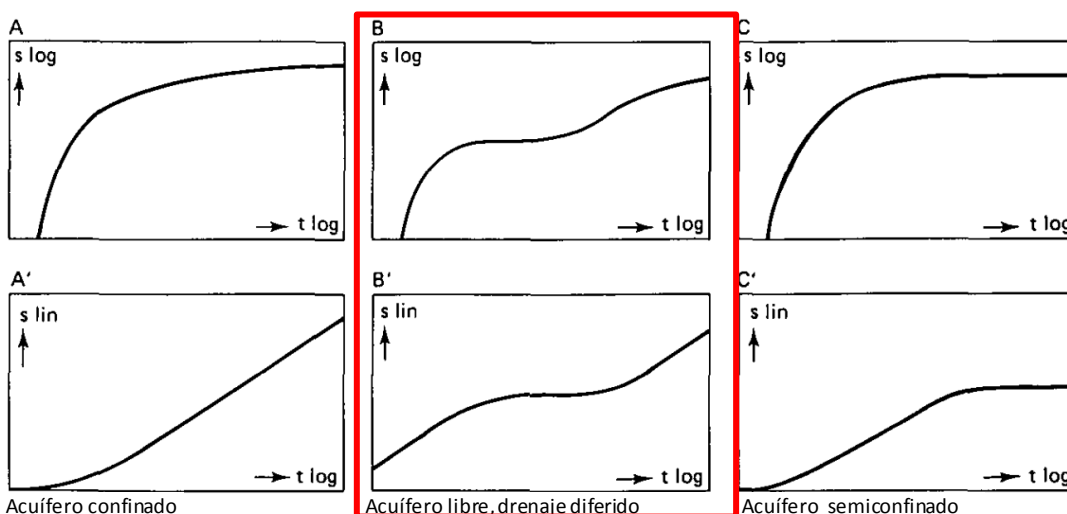


Figura 5.4 Curvas teóricas para pruebas de bombeo en acuíferos granulares (Kruseman y Ridder, 2000).

De la interpretación de los segmento de recta se obtuvieron las ecuaciones que se pueden ver en la Figura 5.2B y se muestran a continuación.

Interpretación 1

$$y_1 = 0.7242Ln(x) + 3.4366$$

Interpretación 2

$$y_2 = 0.1432Ln(x) + 4.0164$$

El valor de la pendiente (m) se multiplica por 2.3 para pasarlo a logaritmo base 10 (\log_{10}).

Sustituyendo el valor de la pendiente en [m] de cada línea de tendencia y el caudal en [m³/s] en la ecuación 2 mencionada en el capítulo 2 se obtuvo la transmisividad (T) de ambas rectas.

$$T_1 = 113.91 \left[\frac{m^2}{d} \right] \quad T_2 = 576.07 \left[\frac{m^2}{d} \right]$$

Conociendo la transmisividad (T), se calculó la conductividad hidráulica horizontal (k) con la ecuación 4 descrita en el capítulo 2, donde el parámetro b representa el espesor saturado que atraviesa el pozo, que para este trabajo representa el tirante de agua que existe dentro del pozo debido a que en esta zona el acuífero se comporta como libre. Los valores de k se pueden ver a continuación.

$$k_1 = 2.45 \left[\frac{m}{d} \right] \quad k_2 = 12.41 \left[\frac{m}{d} \right]$$

El rendimiento específico (Sy) se calculó con la ecuación 3 del capítulo 2. Los valores obtenidos se muestran abajo.

$$Sy_1 = 0.6 [1] \quad Sy_2 = 2.22 \text{ e-}10 [1]$$

Sin embargo, Custodio y Llamas (1983) mencionan que por el método analítico de Cooper-Jacob (1946) el valor obtenido de rendimiento específico (Sy) no es confiable debido a que la recta ha sido trasladada en una magnitud desconocida y por lo tanto no es posible calcular el valor de t₀.

Resumiendo, los parámetros obtenidos son:

Tabla 5.4 Parámetros hidráulicos obtenidos de la interpretación de las curvas de la gráfica B de la Imagen 5.2 del Pozo 5 del Valle de Iguala, Guerrero.

Curva 1	Curva 2
$T_1 = 113.91 \left[\frac{m^2}{d} \right]$	$T_2 = 576.07 \left[\frac{m^2}{d} \right]$
$K_1 = 2.45 \left[\frac{m}{d} \right]$	$K_2 = 12.41 \left[\frac{m}{d} \right]$

Para determinar la interpretación correcta se deben comparar las gráficas semilogarítmica con los casos particulares de las pruebas de bombeo para acuíferos libres y semiconfinados (Figura 5.4) en acuíferos libre, donde la curva teórica está compuesta por 4 segmentos. El primer segmento corresponde a la capacidad del pozo, el segundo segmento nos habla de la respuesta del acuífero, el tercer cambio es el efecto de goteo de los clastos recién vaciados que van a seguir teniendo de agua en sus poros y el último segmento, corresponde nuevamente a la respuesta del acuífero.

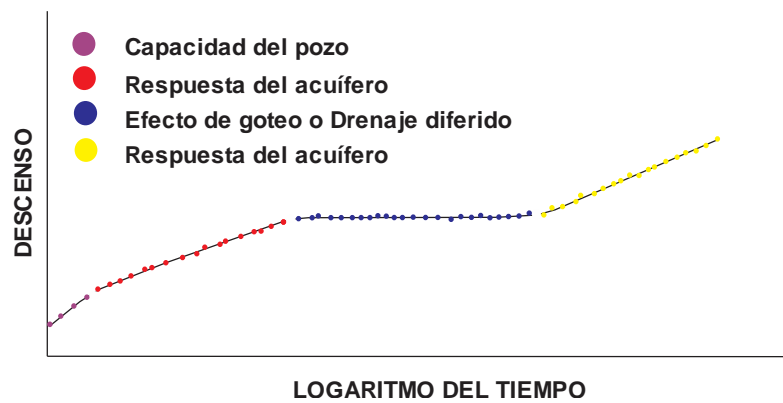


Figura 5.5 Casos particulares dentro de una prueba de bombeo en acuíferos libres y semiconfinados.

Al observar la gráfica B de la Figura 5.2 Se puede notar que está compuesta por 3 segmentos, uno en rojo, otro en verde y el último en azul. Al compararlo con la curva teórica de los casos particulares, podemos deducir que el primer segmento en rojo corresponde a la capacidad del pozo. Por lo tanto los parámetros obtenidos de la interpretación de ese segmento no son del acuífero. El segundo segmento, en verde, es la respuesta del acuífero y al ser interpretada nos proporciona los parámetros hidráulicos del acuífero.

Tabla 5.5 Parámetros hidráulicos del acuífero obtenidos de la etapa de bombeo del Pozo 5 del Valle de Iguala, Guerrero.

Curva 2	
$T_2 = 576.07$	$\left[\frac{m^2}{d} \right]$
$K_2 = 12.41$	$\left[\frac{m}{d} \right]$

Después de que se obtuvo el valor de la transmisividad (T) gráficamente, se confirmó usando el caudal específico y el programa AQTESOLV.

Por caudal específico es:

$$q = (12 \text{ lt/s}) / (4.926 \text{ m}) = 2.44 \text{ (lt/s/m)}$$

$$T = 100 * (2.44 \text{ lt/s/m}) = 244 \text{ (m}^2\text{/d)}$$

$$k = 244 / 46.41 = 5.26 \text{ (m/d)}$$

La fórmula del caudal específico se explicó en el capítulo 2 de esta tesis.

El valor calculado de la transmisividad por el programa por el método de Cooper-Jacob fue de $567 \text{ m}^2\text{/d}$ y la interpretación se puede observar en la Figura 5.5. y la k fue de 12.22 m/d .

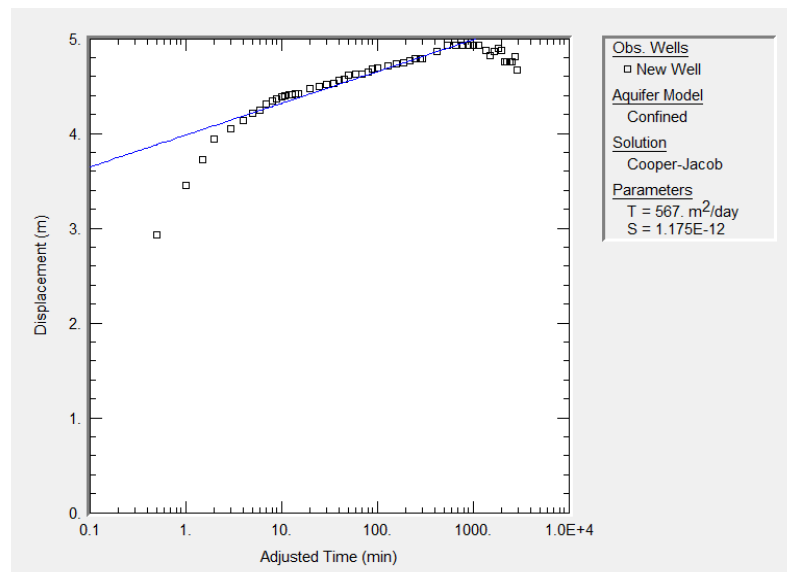


Figura 5.6 Solución de la etapa de bombeo del Pozo 5 con el software AQTESOLV.

Etapa de recuperación del Pozo 5

Para la interpretación de la prueba de recuperación del Pozo 5 (Figura 5.2D.) se tomaron los datos del tiempo $t' = 0.5 \text{ min}$ (dato 2 que corresponde al tiempo $(t+t') / t' = 5761 \text{ min}$, hasta el



tiempo $t' = 25$ min (dato 20) que en el tiempo $(t+t') / t' = 116.2$ min), con los datos de descenso residual que les corresponden, estos datos se pueden consultar en el Anexo 4.

En esta gráfica se interpreta el primer segmento para obtener la transmisividad (T) del acuífero. El valor de la transmisividad (T) se obtuvo de la ecuación 2 del capítulo 2 y el resultado se muestra a continuación.

$$T = 411.437 \left[\frac{m^2}{d} \right]$$

Una vez obtenido el valor de la transmisividad (T) y los metros de espesor saturado que atraviesa el pozo (b), se obtuvo la conductividad hidráulica horizontal (k) sustituyendo en la ecuación 4 del capítulo 2. El valor obtenido para k se muestra a continuación.

$$k_1 = 8.86 \left[\frac{m}{d} \right]$$

Los valores obtenidos de la transmisividad (T) de manera gráfica y con AQTESOLV en la etapa de bombeo y en la etapa de recuperación se encuentran dentro del mismo rango de magnitud. El valor promedio de estas transmisividades es de 493 $[m^2/d]$. Al calificar este valor de manera estimada se puede sugerir que la transmisividad es alta. Así mismo los valores obtenidos para la conductividad hidráulica se encuentra dentro del mismo rango y el valor medio de la conductividad hidráulica horizontal es de 10.64 $[m/d]$ que corresponde de manera cualitativa a un acuífero de mediana importancia, lo que nos habla de que los materiales que conforman el acuífero permiten que el agua de mueva con cierta facilidad a través de él.

Al comparar los valores obtenidos de la conductividad hidráulica horizontal (k) en la etapa de bombeo y recuperación con los valores reportados por Fetter (1942), Freeze y Cherry (1979) y Dunne y Leopold (1978), sugieren que corresponden a una litología para depósitos no consolidados, de gravas y arenas bien clasificadas a arenas con limo y conglomerados. Mientras que para rocas, sugieren areniscas poco cementadas.



5.5.2. Pozo 9

Ahora se discutirá el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en campo durante las pruebas de bombeo y recuperación del pozo 9. Las gráficas interpretadas se muestran en la Figura 5.6.

En la Figura 5.6A de la prueba de bombeo del Pozo 9 se observa que el nivel estático estaba a 52.69 m de profundidad, después de 3937 minutos que se mantuvo el bombeo a caudal constante, el nivel dinámico tuvo una profundidad de 81.65 m, lo que equivale a un descenso de 28.96 m. En la etapa de recuperación, la cual duró 510 minutos, el nivel dinámico quedó a una profundidad de 53.12 m por lo que el pozo tuvo una recuperación del 99%.

Etapa de bombeo pozo 9

Para la interpretación de la etapa de bombeo se tomaron los datos del tiempo $t = 0.5$ minutos, hasta el tiempo $t = 3937$ minutos con los datos de descenso que les corresponden. Las gráficas que se realizaron fue logaritmo del tiempo ($\log t$) vs. descenso (s) y logaritmo del tiempo ($\log t$) vs. logaritmo del descenso ($\log s$) las gráficas se pueden consultar en la Figura 5.6B y C.

Una vez que se obtenidas las gráficas se compararon con las curvas teóricas (Figura 5.7) para confirmar el tipo de acuífero que se estaba trabajando, y se observó que su comportamiento era similar al de un acuífero semiconfinado.

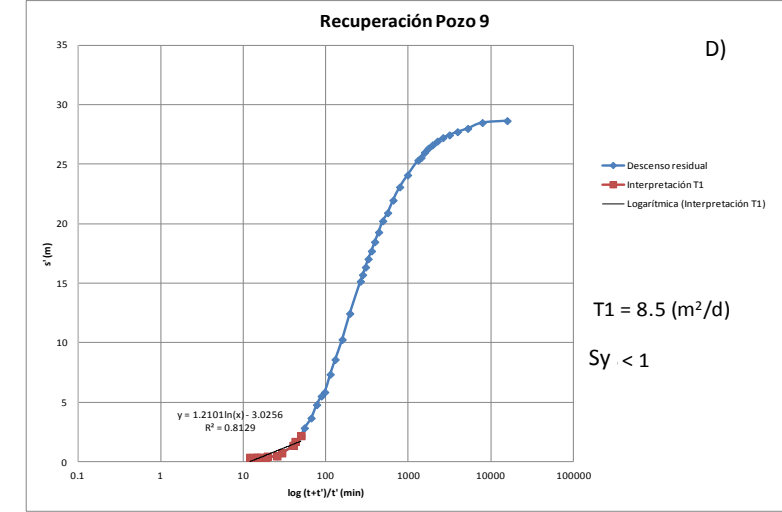
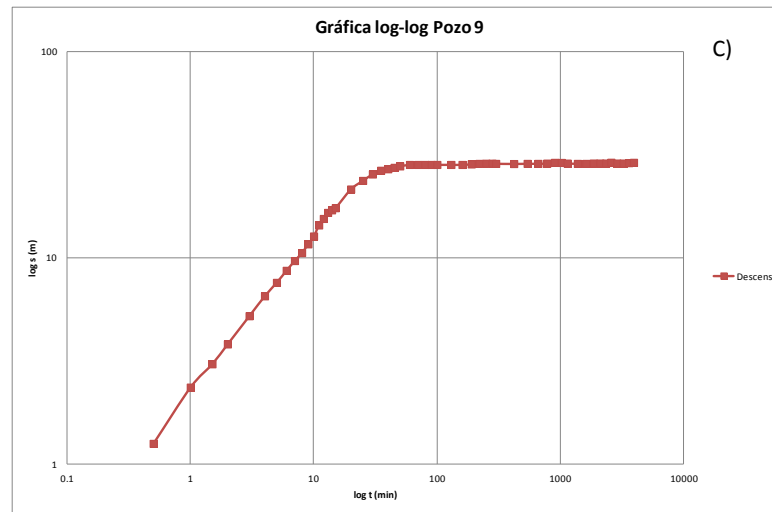
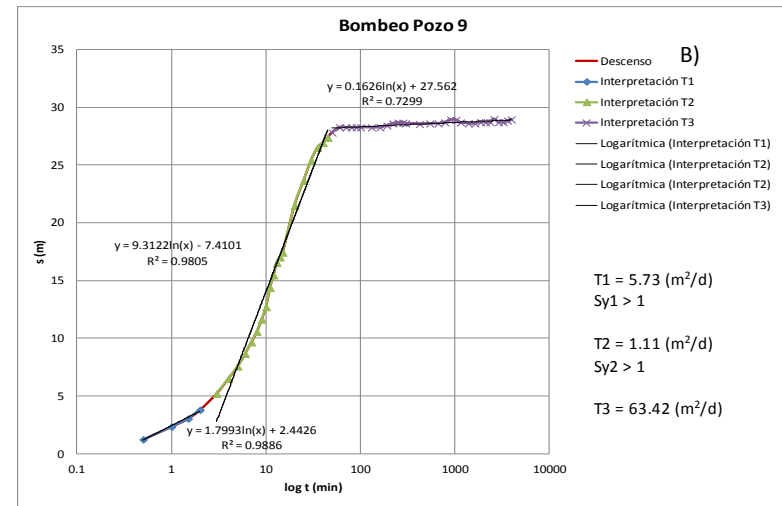
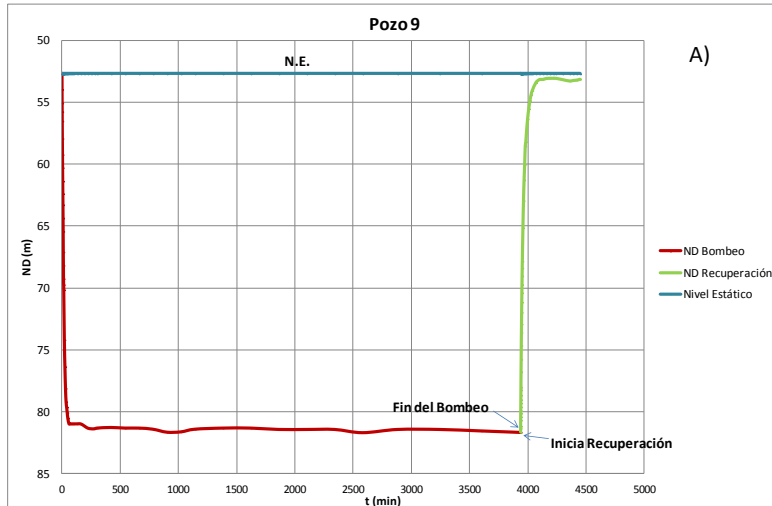


Figura 5.7 Gráficas de la prueba de bombeo del Pozo 9.

A) Gráfica de tiempo vs. nivel dinámico, donde se aprecia la etapa de bombeo, la recuperación y el nivel estático del Pozo 9.

B) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. descenso, donde se observan las curvas de tendencia y los valores de transmisividad y rendimiento específico obtenidos de la interpretación de la etapa de bombeo.

C) Gráfica de logaritmo del tiempo vs. logaritmo del descenso, donde se observa el comportamiento del nivel dinámico durante la etapa de bombeo.

D) Gráfica de logaritmo del $(t+t')/t'$ vs. descenso residual, donde se observa la curva de tendencia y el valor de la transmisividad de la etapa de recuperación.

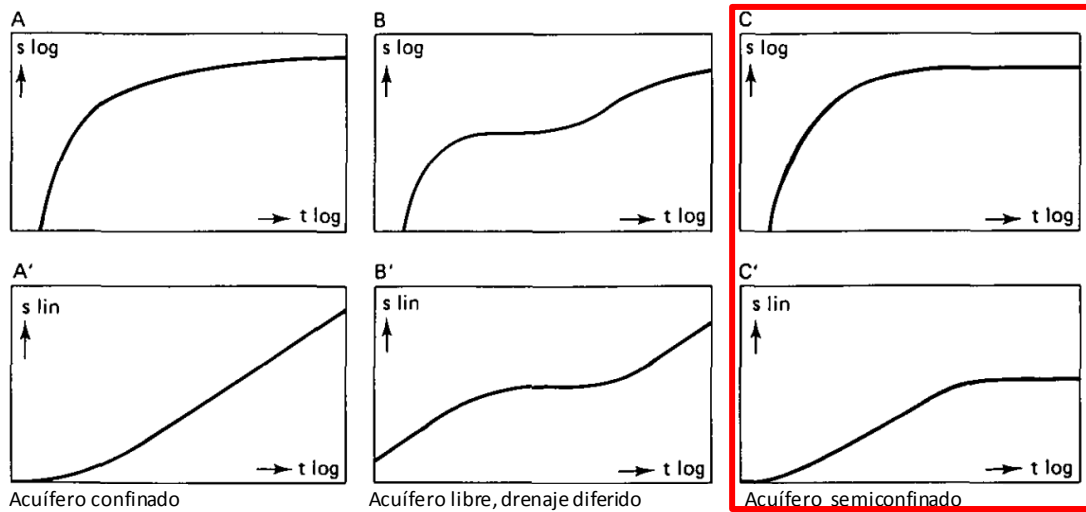


Figura 5.8 Curvas teóricas para pruebas de bombeo en acuíferos no consolidados. Kruseman y Ridder, 2000.

Una vez que se confirmó el tipo de acuífero se procedió a interpretar la curva de la gráfica semilogarítmica. Observando cuidadosamente la gráfica se decidió que había 3 segmentos (Figura 5.6B) que podían interpretarse, los 3 segmentos se interpretaron y más adelante se comentará cual es resultado.

Una vez que se establecieron los segmentos de rectas, se procedió a trabajar con cada uno, obteniendo las ecuaciones que se muestran a continuación y las cuales también pueden consultarse en la Figura 5.6B

Interpretación 1

$$y_1 = 1.7993 \ln(x) + 2.4426$$

Interpretación 2

$$y_2 = 9.3122 \ln(x) - 7.4101$$

Interpretación 3

$$y_3 = 0.1626 \ln(x) + 27.562$$

Siguiendo el procedimiento utilizado para el Pozo 5 en la etapa de bombeo se obtuvieron el valor de la transmisividad (T), la conductividad hidráulica horizontal (k) y rendimiento específico (Sy). Los valores obtenidos se pueden consultar en la siguiente tabla.

Tabla 5.6 Parámetros hidráulicos obtenidos de la interpretación de las curvas de la gráfica B de la Figura 5.6 del Pozo 9 del Valle de Iguala, Guerrero.

Curva 1	Curva 2	Curva 3
$T_1 = 5.73 \left[\frac{m^2}{d} \right]$	$T_2 = 1.11 \left[\frac{m^2}{d} \right]$	$T_3 = 63.42 \left[\frac{m^2}{d} \right]$
$k_1 = 0.09 \left[\frac{m}{d} \right]$	$k_2 = 0.02 \left[\frac{m}{d} \right]$	$k_3 = 0.94 \left[\frac{m}{d} \right]$
$Sy_1 = 1.6 [1]$	$Sy_2 = 2.64 [1]$	X

Nuevamente los valores de Sy no son validos en este caso, como en el Pozo 5.

Para determinar la interpretación adecuada se siguió la misma metodología que en el Pozo 5.

Al observar la gráfica B de la Figura 5.6 Se puede notar que está compuesta por 3 segmentos, uno en azul, otro en verde y el último en morado. Al compararlo con la curva teórica de los casos particulares, podemos deducir que el primer segmento en rojo corresponde a la capacidad del pozo. Por lo tanto los parámetros obtenidos de la interpretación de ese segmento son del pozo, no del acuífero. El segundo segmento, en verde, es la respuesta del acuífero y al ser interpretada nos proporciona los parámetros hidráulicos del acuífero. Por lo que los valores obtenidos de esta interpretación son los correctos y se muestran a continuación.

Tabla 5.7 Parámetros hidráulicos del acuífero obtenidos de la etapa de bombeo del Pozo 9 del Valle de Iguala, Guerrero.

Curva 2
$T_2 = 1.11 \left[\frac{m^2}{d} \right]$
$k_2 = 0.02 \left[\frac{m}{d} \right]$

Para hacer una comparación del valor de la transmisividad obtenido de la interpretación gráfica de la etapa de bombeo, los datos de los descensos obtenidos en campo se procesaron en el programa AQTESOLV por el método de Cooper-Jacob, Hantush y caudal específico. Por medio del caudal específico se obtuvo una transmisividad de 5.18 m²/d y una k de 0.08 m/d.

El valor obtenido para la transmisividad por la interpretación de Cooper-Jacob con Surfer 9 fue de 1.517 m²/d y un valor de k de 0.02 m/d. Los valores obtenidos por la interpretación en software son prácticamente idénticas a las obtenidas de la interpretación manual. La interpretación de AQTESOLV se muestra en la Figura 5.8.

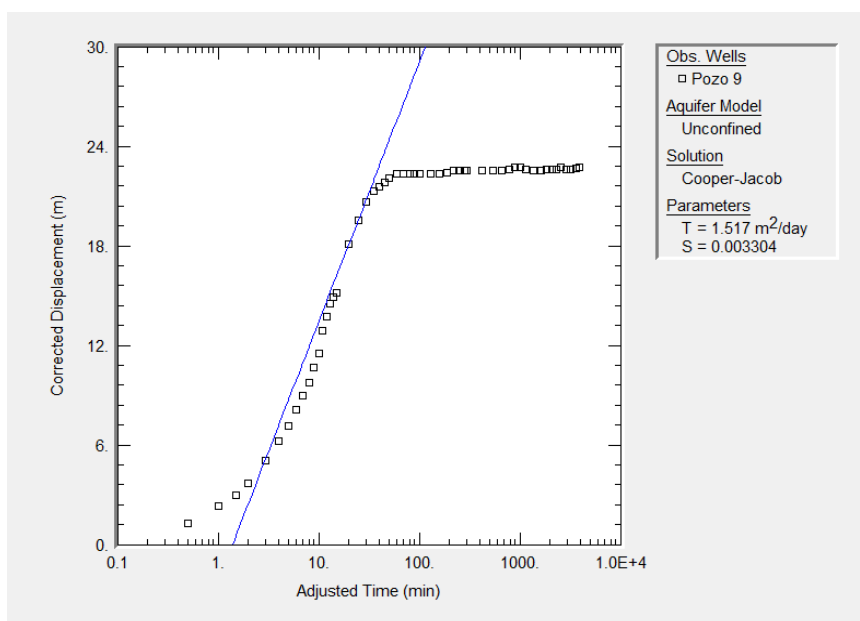


Figura 5.8. Solución de la etapa de bombeo del Pozo 9 con el software AQTESOLV.

El valor de 3×10^{-3} que se obtiene para S por la interpretación de Cooper-Jacob en AQTESOLV es coherente para acuíferos granulares semiconfinados.

La interpretación de Hantush para acuíferos confinados sin almacenamiento en el acuitardo, se muestra en la Figura 5.9. La transmisividad resultante fue de 0.5 m²/d valor que se está dentro de rango al compararlo con el valor de 1.1 m²/d de la interpretación manual por Cooper-Jacob y 1.5 m²/d de la interpretación de Cooper-Jacob por AQTeSOLV. El valor de S nuevamente es coherente para acuíferos semiconfinados granulares al ser de 4×10^{-3} , el valor de r/B es 0.6. Mientras mayor es el valor de r/B mayor es el goteo y la curva se estabiliza antes. Al comparar el valor de r/B con las curva de la Figura 2.16 notamos que es un valor

relativamente grande en términos cualitativos por lo que la curva se estabilizó rápido, aproximadamente a los 50 min de haber empezado la prueba de bombeo la cual tuvo una de 3937 min.

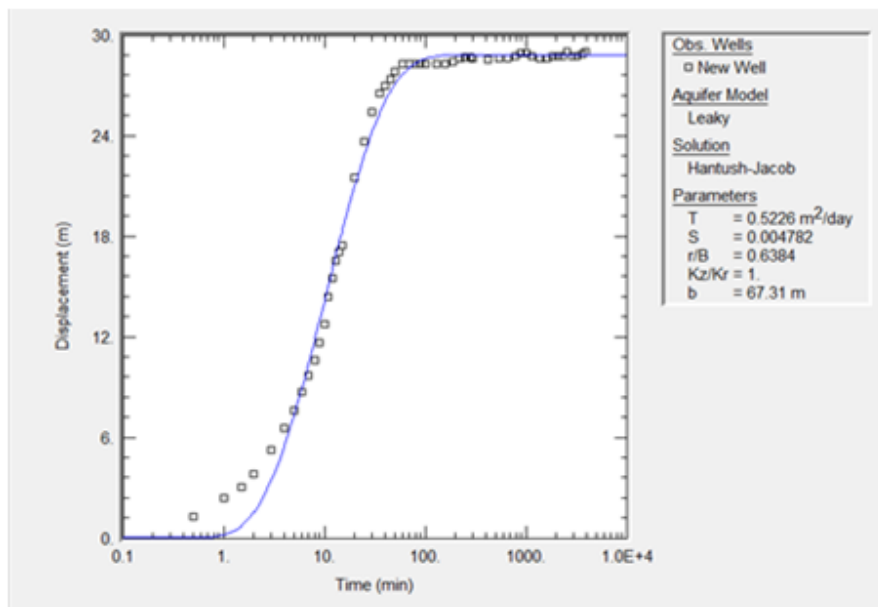


Figura 5.9 Interpretación en AQTESOLV para acuíferos semiconfinados sin almacenamiento en el acuitardo.

Por la solución de Hantush para acuíferos confinados con almacenamiento en el acuitardo, se obtuvo una transmisividad de 0.123 m²/d, k de 0.002 m/d y S de 2.16x 10⁻⁵. En la figura 5.10 se muestra la solución de AQTESOLV.

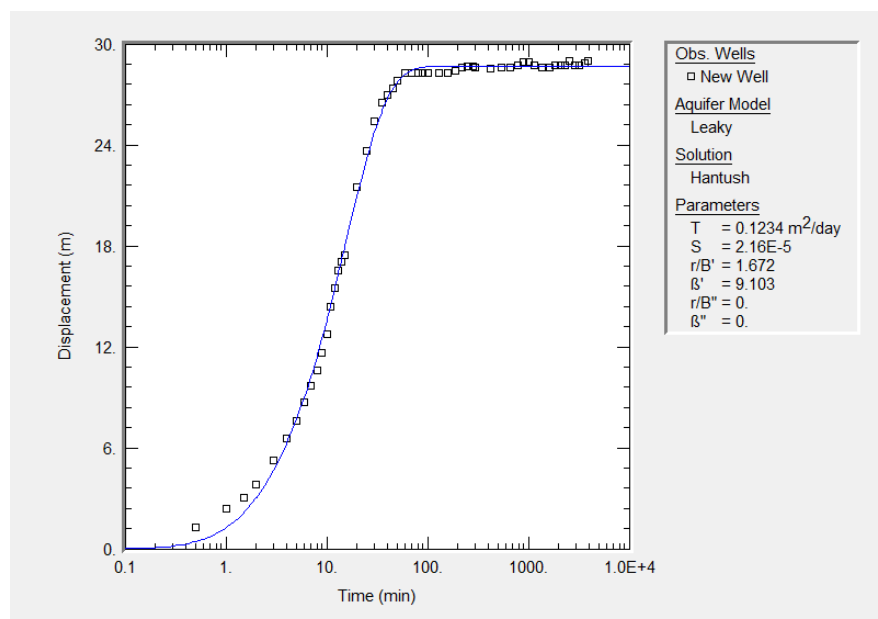


Figura 5.10 Interpretación en AQTESOLV para acuíferos semiconfinados sin almacenamiento en el acuitardo



Al comparar estos valores de la interpretación para acuíferos con almacenamiento con los obtenidos en las interpretaciones anteriores, se encuentran fuera de rango por lo que esta interpretación no se adapta al comportamiento del acuífero del Valle de Iguala

Etapa de recuperación del Pozo 9

Para la interpretación de la etapa de recuperación del Pozo 9 se tomaron los datos del tiempo $t' = 0.25$ min (dato 2) que corresponde al tiempo $(t+t') / t' = 15741$ min, hasta el tiempo $t' = 510$ min (dato 48) que en el tiempo $(t+t') / t' = 8.7196$ min, con los datos de descenso residual que les corresponden. Los datos aquí utilizados provienen del Anexo 4 y la gráfica que se obtuvo se muestra en la Figura 5.6D.

En esta gráfica se interpreta el primer segmento para obtener la transmisividad (T) del acuífero.

Se siguió el mismo procedimiento explicado en la interpretación de la etapa de recuperación del Pozo 5, obteniéndose los siguientes resultados.

$$T = 8.52 \left[\frac{m^2}{d} \right]$$

$$k = 0.12 \left[\frac{m}{d} \right]$$

Los valores obtenidos de la transmisividad (T) de manera gráfica y con AQTESOLV en la etapa de bombeo y en la etapa de recuperación se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. La transmisividad promedio es de $4.8 [m^2/d]$, al calificarla de manera estimada se puede sugerir que la T es baja. Los valores de coeficiente de almacenamiento también se encuentran dentro del mismo rango y el valor medio de la conductividad hidráulica horizontal es $0.07 [m/d]$, lo cual indica un acuífero de baja importancia hidrogeológica al presentar dificultad al movimiento del agua a través de los materiales que conforman el acuífero.



Los valores obtenidos de conductividad hidráulica horizontal (k) durante el procesamiento de los datos obtenidos en campo en las etapas de bombeo y de recuperación son consistentes con la literatura según Fetter (1942), Freeze y Cherry (1979) y Dunne y Leopold (1978) sugieren que corresponden a una litología para depósitos no consolidados como arenas arcillosas. Mientras que para rocas sugieren areniscas.

Al comparar estas clasificaciones con la litología de la zona de estudio se puede inferir que estos valores pertenecen a la matriz de arena arcillosa u horizontes de arenisca arcillosa que componen al Grupo Balsas, formación en la cual se encuentra el acuífero de tipo granular del Valle de Iguala.



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES



6. CONCLUSIONES

En el Valle de Iguala se tiene la presencia de cinco unidades hidrológicas. La primera unidad corresponde a los depósitos del Cuaternario que funge como zona vadosa y acuífero libre somero, la siguiente unidad es un lente arcilloso del Grupo Balsas que actúa como acuitardo una capa confinante superior en algunas secciones del acuífero de relativa baja permeabilidad ya que permite la recarga del acuífero granular a través de él, lo anterior fue confirmado en la interpretación de las gráficas de las pruebas de bombeos. La unidad 3 está conformada por la intercalación de areniscas y conglomerados del Grupo Balsas, el cual es un acuífero granular del cual se extrae agua para abastecimiento de la ciudad de Iguala. Delimitando la parte baja al acuífero granular del Grupo del Balsas, se tiene a la Formación Mexcala (unidad 4), de predominante litología arcillosa aunque por su fracturamiento puede aportar en sus primeros 20-40 m pequeñas cantidades de agua. La unidad 5 corresponde a otro paquete de baja permeabilidad de calizas de la Formación Morelos.

La dirección del flujo en el acuífero de Iguala es noreste-suroeste pero se ha visto ligeramente afectada direccionándola hacia el centro de la ciudad de Iguala por la alta concentración de pozos. Pasando esta zona, continúa con su dirección habitual, siguiendo el Río Iguala.

La transmisividad cualitativa en el acuífero va de mediana a baja y las conductividades hidráulicas horizontales son consistentes con la literatura citada para materiales de arenas arcillosas a arenas medias y conglomerados, lo cual nos confirma que el agua que se extrae en el Valle de Iguala proviene de los materiales granulares y de una marcada heterogeneidad en el acuífero, lo cual es notorio en los variados caudales de extracción que puede ir de 1.5 lt/s a 20 lt/s en distancias cortas.

La zona que representa la mejor opción para la perforación de pozos nuevos es entre la ciudad y la Laguna de Tuxpan debido a que en esta zona se tiene un mayor espesor el acuífero.



CAPÍTULO 7

RECOMENDACIONES



7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se hacen a continuación surgieron de lo observado durante el desarrollo de esta tesis y los resultados obtenidos en la misma.

- Es necesaria la actualización del inventario de pozos de abastecimientos del Valle de Iguala. En el cual se tenga claro el nombre, tipo de aprovechamiento, ubicación, características constructivas y uso del agua extraída
- Realizar un estudio hidrométrico enfocado a la estimación de caudales de extracción.
- Realizar de manera sistemática la toma de lecturas piezométricas mensuales en épocas de lluvia y estiaje. Para tener una mejor comprensión de la evolución piezométrica en la zona y contar con información actual para la realización del balances de aguas subterráneas ya que el último balance se realizó con información del 2005.
- Llevar a cabo un estudio hidrogeoquímico para relacionar la calidad del agua con el uso que se le da al recurso. Debido a que solo se cuentan con 2 estudios en la zona, uno de EXYCO, 1987 y otro de la CONAGUA 2005
- Realizar el balance de agua subterránea con datos actuales, debido a que el último balance realizado por la CONAGUA es con información del 2005.
- Integración de la información para elaborar un modelo numérico de flujo subterráneo que ayudará a la gestión del acuífero.
- Campañas de exploración geofísica en la parte oeste del valle, para mejorar el conocimiento del espesor del acuífero en esa zona
- La perforación de pozos nuevos es recomendable en la periferia de la ciudad, sobre todo en la parte este ya que es la zona con mayor espesor en el acuífero.



8. REFERENCIAS

Álvarez Elizalde, D. J., 2011, Estudio Geofísico para la evaluación de una zona del Acuífero de Iguala, Gro: Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Licenciatura. 105 pp.xx

Bohnenberger Thomas, 1955, Bosquejo Geológico a lo largo de la carretera Iguala Chilpancingo, Estado de Guerrero: Universidad Nacional. Autónoma de México. Tesis Profesional 61 p. inédito.

Campa, M.F., y Iriondo A., 2004, Significado de dataciones Cretácicas de los arcos volcánicos de Taxco, Taxco Viejo y Chapolapa, en la evolución de la plataforma Guerrero-Morelos: Unión Geofísica Mexicana, Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, GEOS, v. 24, n. 2, p. 173.

Campa-Uranga, M.F., y Coney P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, p. 1040-1051.

Campa-Uranga, M.F.; Oviedo, R. y Tardy, M., 1976, La cabalgadura laramídica del dominio volcánico-sedimentario (Arco Alisitos-Teloloapan) sobre el miogeosinclinal mexicano en los límites de los estados de Guerrero y México: III Congreso Latinoamericano de Geología, México, Resúmenes, p. 23.

Clarke, Robin y King, Janet, 2004, The atlas of wáter. Earthscan Publications Ltd. Londres.

CONAGUA, 2005, Informe Final del Estudio, "Medición Piezométrica en las unidades Hidrogeológicas de Iguala, Huitzucó, Poloncingo, Chila y Chilpancingo, Estado de Guerrero". Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Balsas – Subgerencia Regional Técnica, 52 pp.

CONAGUA, 1996, Pruebas de bombeo, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, 152 pp.

CONAGUA, 2008a, Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 1205 Iguala, Estado de Guerrero, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de aguas subterráneas, Subdirección General Técnica, 25 pp.

-2008b, Vedas de agua subterránea en México, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de aguas subterráneas, Subdirección General Técnica, 128 pp.

CONAGUA, 2009, Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero 1205 Iguala, Estado de Guerrero, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de aguas subterráneas, Subdirección General Técnica, 34 pp.

CONAGUA, 2011, Estadísticas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua, 249 pp.

Cooper, H. H. y Jacob, C. E., 1946, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. American Geophysical Union Transactions, v. 27: p. 526–534.

Custodio, E. y Llamas, R., 1996, Hidrología Subterránea, Ediciones Omega S.A. 2da Edición, Barcelona España.



De Cserna, Z., 1965, Reconocimiento geológico de la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, estado de Guerrero: UNAM, Instituto de Geología, Boletín v. 62, p. 77.

De Cserna, Z., Fries, C. Jr., 1981, Hoja Taxco 14Q-h(7), y Resumen de la Geología de la Hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, Series, mapa (1:100,00) y texto, p. 47.

De Cserna, Z., Ortega-Gutiérrez, F., y Palacios-Nieto, M., 1980, Reconocimiento geológico de la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, estados de Guerrero y Puebla, Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la excursión geológica a la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, V Convención Geológica Nacional, p. 2-33.

Dunne, T. y Leopold L. B., 1978, Water in environmental planning. W. H. Freeman and Company, New York.

Espinasa-Pereña, R, Riba-Ramirez, A. y Barcelo-Duarte, J., en prensa; Relaciones kársticas y geológicas del área de San Miguel, Estado de Guerrero; Sociedad Geológica Mexicana., Bol.

EXYCO, S.A., 1988, "Estudio Geológico-Estructural y de prospección geohidrológica en la zona de Iguala-Cocula, Estado de Guerrero".

Fitz-Díaz, E., Campa, M.F., López, M.M., 2002, Fechamiento de lavas andesíticas de la Formación Zicapa, en el límite oriental de la Plataforma Guerrero Morelos, Actas INAGEQ, v. 8, n. 1, p.178.

Freeze, R. Allan; Cherry, J. A., 1980, Groundwater; Prentice Hall, Inc., New Jersey.

Fries, C., Jr., 1960, Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín v. 60, 236 pp.

Geofimex S.A., 1977, "Estudio geofísico en las proximidades de Iguala, Guerrero".

Hantush, M.S., 1960, Modification of the theory of leaky aquifers, Jour. of Geophys. Res., vol. 65, no. 11, pp. 3713-3725.

Hantush, M.S., and C.E. Jacob, 1955, Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer, *Transactions, American Geophysical Union*, 36(1), 95-100.

Hernandez, M. G., 1995, Estudio estratigráfico y diagenético de la secuencia sedimentaria cretácica en el área de Iguala del Estado de Guerrero. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. 128 pp.

Hernández-Treviño, T., Torres de León, R., Solís-Pichardo, G., Schaaf, P., Hernández-Bernal, M.S., Morales-Contreras, J.J., 2004, Edad de la Formación Chapolapa en la localidad del Río Cochoapa al este del Ocotito, estado de Guerrero: IV Reunión Mexicana de Ciencias de la Tierra, Juriquilla, Qro., 338 pp.



I.C.G. S.A., 1979, "Informe de la zona de Almolonga, Apango, Citlala, Huitzucó e Iguala en el Estado de Guerrero".

INEGI, 1997, Manual de Medidas Sociodemográficas. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

INEGI, 2010, Censo de población y vivienda, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

Keith J. Halford, Willis D. Weight, and Robert P. Schreiber, 2006; Interpretation of Transmissivity Estimates from Single-Well Pumping Aquifer Tests; GROUNDWATER. Technical Note.

Kruseman, G.P. and N.A. de Ridder, 2000, Analysis and Evaluation of Pumping Test Data (2nd ed. Al castellano), Publication 47, Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 370p.

Matzander, U. y Wilde, M., 2007, Manual de operaciones del equipo ADU-07e. Metronix GmbH, Braunschweig, Alemania. 114 pp.

Martini Michelangelo, 2008, Estratigrafía, deformación y magmatismo de la región comprendida entre Huetamo y Zihuatanejo (Michoacán, Guerrero): implicaciones para la evolución tectónica del sur de México durante el Cretácico y el Terciario temprano. Tesis Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.

Miranda C.E., 1989, Micropaleontología del Cretácico inferior en el área de Chilacachapa, Guerrero. Trabajo de Investigación, DEPMI.

Ortega- Gutierrez, 1993, Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico, Special Paper 278, The Geological Society of America, pp. 153.

Ortega- Gutierrez, 1981, La evolución tectónica premisisípica del sur de México, Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, V. 5, p. 140-157.

Pous, J., y Marcuello, A., 2003, El método magnetotelúrico: descripción y aportación en investigaciones de ámbito regional. Boletín Geológico y Minero, Madrid España, 114(1): 5- 16 pp.

Schwinn, W. y Tezkan B., 1997, ID joint inversión of radiomagnetotelluric (RMT) and transient electromagnetic (TEM) data; an application for groundwater prospection in Denmark, III EEGS, Aarhus, Denmark, 221-224 p.

SEMARNAT, 2008, Más de 100 consejos para cuidar el ambiente desde mi hogar, 2ª. Reed., México, D.F.

Servicio Geológico Mexicano, 2004, Carta Geológico – Minera, Esc. 1:50000, Iguala, Guerrero Morelos, clave E14A78.

Simpson, F. y Bahr. K., 2005, Practical magnetotellurics. Cambridge University Press, Cambridge. 254 pp.



Theis, C. V., 1935, The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Transactions of the American Geophysical Union, v. 2, p. 519–524.

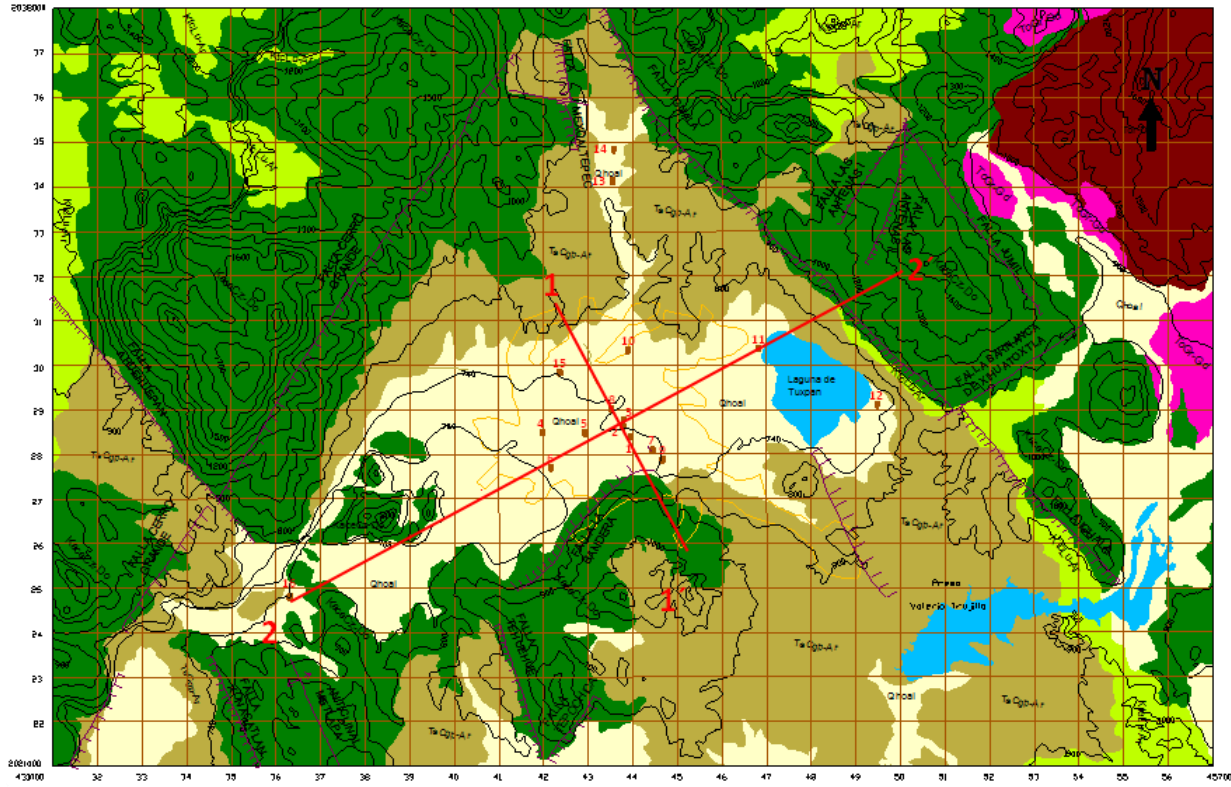
Web 1: www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/TM_ACUIFEROS.xls

Web 2: http://es.wikipedia.org/wiki/Iguala_de_la_Independencia



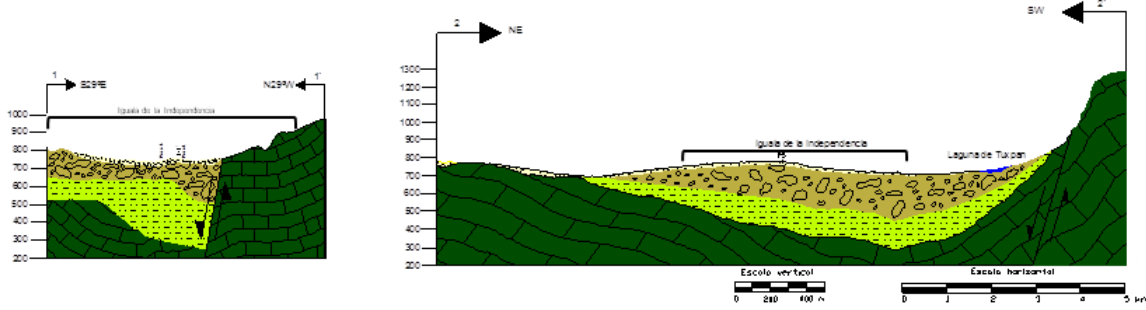
ANEXOS

Mapa Geológico de Iguala de la Independencia, Gro.



SIMBOLOGÍA

- | | | |
|------------------------------------|--|--------------------------|
| CUATERNARIO | | Curva de nivel mayor |
| Qhoal ALUVIÓN | | Curva de nivel ordinaria |
| TERCIARIO PALEÓGENO | | Falla Normal |
| Te-Dal RIOLITA-DACITA | | Ciudad de Iguala |
| Te-Cgr-Ar Grupo Balsas | | Anticinal |
| CRETÁCICO SUPERIOR | | Pozo |
| Kic-Lua-r Formación Mexcala | | |
| INFERIOR | | |
| Ca-De-Co CALIZA-COLOMIA | | |
| ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS | | |
| Tgr-Ge GRANITO-GRANODIORITA | | |



	<p>Facultad de Ingeniería División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra Universidad Nacional Autónoma de México</p>	
--	---	--

Anexo 1. Mapa Geológico del Valle de Iguala de la Independencia, Gro.

Tesis: Caracterización hidrogeológica de un sector del acuífero del Valle de Iguala, Gro.

Elaboró	Alejandra Noemí García Romero
	David Josué Álvarez Elizalde

2. INVENTARIO DE POZOS DE AGUA

CENSO DE POZOS	
Pozo: 1 Clave: 1	
Estado:	Guerrero
Localidad:	Iguala
Coordenadas:	14Q 0443942 mE, 2028378 mN 735 msnm. Datum: WGS84
Dirección:	
Propietario:	CAPAMI
Brocal:	0.6 m
Prof. NE:	m
Q extraído:	19 l/s 1642 m ³ /d
Ø Colum.Succión:	6"
Ø Tuber.Descarga:	6"
Prof.Total:	180 M
NE-Bro:	M
Motor:	Eléctrico
Bomba:	Sumergible
Uso:	Público urbano
Caract. constructivas	NO
Corte litológico	NO
Ensayo de bombeo/aforos	NO
Análisis químicos	SI
Análisis bacteriológico	NO
Hidrógrafo	NO
Observaciones	Estaba prendido cuando se visito.
Fecha:	4 de octubre de 2010.
Censó:	Alejandra Noemí García Romero

	<p>CENSO DE POZOS</p> <p>Pozo: 2</p> <p>Clave: 2</p>	
--	---	--

Estado:	Guerrero		
Localidad:	Iguala		
Coordenadas:	14Q 0443771 mE, 2028549 mN	736 msnm.	Datum: WGS84
Dirección:			
Propietario:	CAPAMI		
Brocal:	0.6 m	Prof.Total:	100 M
Prof. NE:	m	NE-Bro:	M
Q extraído:	14 l/s 1210 m3/d	Motor:	Eléctrico
Ø Colum.Succión:	4"	Bomba:	
Ø Tuber.Descarga:	4"	Uso:	Agua potable
Caract. constructivas	NO	Observaciones	
Corte litológico	NO	Bombea diario todo el día.	
Ensayo de bombeo/aforos	NO		
Análisis químicos	SI		
Análisis bacteriológico	NO		
Hidrógrafo	NO		
Fecha:	4 de octubre de 2010.	Censó:	Alejandra Noemí García Romero



	CENSO DE POZOS Pozo: 3 Clave: CNAIGAP3	
--	---	--

Estado:	Guerrero		
Localidad:	Iguala		
Coordenadas:	14Q 0443781 mE, 2028749 mN 739 msnm. Datum: WGS84		
Dirección:	En las instalaciones de la Policía Preventiva		
Propietario:	CAPAMI		
Brocal:	0.53 m	Prof.Total: 100 M	NE-Bro: M
Prof. NE:	m		
Q extraído:	12 l/s 1037 m3/d		
Ø Colum.Succión:	3"	Motor: Eléctrico	Bomba: Sumergible
Ø Tuber.Descarga:	3 a 6"		
Caract. constructivas	NO	Observaciones	
Corte litológico	NO	Diámetro ademe: 12". El pozo estaba trabajando	
Ensayo de bombeo/aforos	NO	cuando se visito. No sirve el medidor.	
Análisis químicos	SI		
Análisis bacteriológico	NO		
Hidrógrafo	NO		
Fecha:	4 de octubre de 2010.	Censó:	Alejandra Noemí García Romero



CENSO DE POZOS	
Pozo: 4 Clave: 4	
Estado:	Guerrero
Localidad:	Iguala
Coordenadas:	14Q 0441962 mE, 2028459 mN 725 msnm. Datum: WGS84
Dirección:	Colonia Cerro
Propietario:	CAPAMI
Brocal:	0.6 m Prof.Total: 100 M
Prof. NE:	_____ m NE-Bro: _____ M
Q extraído:	12 l/s 1037 m ³ /d Motor: Eléctrico
Ø Colum.Succión:	3" Bomba: _____
Ø Tuber.Descarga:	6" Uso: Agua potable
Caract. constructivas	NO Observaciones
Corte litológico	NO
Ensayo de bombeo/aforos	NO
Análisis químicos	NO
Análisis bacteriológico	NO
Hidrógrafo	NO
Fecha:	4 de octubre de 2010. Censó: Alejandra Noemí García Romero

		CENSO DE POZOS Pozo: 5 Clave: CNAIGAP5					
Estado:		Guerrero					
Localidad:		Iguala					
Coordenadas:		14Q 0442910 mE, 2028446 mN		736 msnm. Datum: WGS84			
Dirección:		Zócalo					
Propietario:		CAPAMI					
Brocal:	-2 m	Prof.Total: 66 m NE-Bro: 19.59 m Motor: Eléctrico Bomba: Sumergible Uso: Agua potable					
Prof. NE:	17.5 m						
Q extraído:	12 l/s 1037 m3/d						
Ø Colum.Succión:		6"					
Ø Tuber.Descarga:		6"					
Caract. constructivas		NO	Observaciones				
Corte litológico		NO				Diámetro ademe: 12"	
Ensayo de bombeo/aforos		NO					
Análisis químicos		SI					
Análisis bacteriológico		NO					
Hidrógrafo		NO					
Fecha:	4 de octubre de 2010.		Censó:	Alejandra Noemí García Romero			

	CENSO DE POZOS Pozo: 6 Clave: 6			
Estado:	Guerrero			
Localidad:	Iguala			
Coordenadas:	14Q 0442157 mE, 2027662 mN 725 msnm.		Datum: WGS84	
Dirección:	Calle Pineda			
Propietario:	CAPAMI			
Brocal:	0.6 m		Prof.Total:	100 M
Prof. NE:	m		NE-Bro:	M
Q extraído:	20 l/s	1728 m3/d	Motor:	Eléctrico
Ø Colum.Succión:	3"		Bomba:	
Ø Tuber.Descarga:	3"		Uso:	Agua potable
Caract. constructivas	NO	Observaciones		
Corte litológico	NO	Cunado se visitó no tenía agua. El agua que se extrae		
Ensayo de bombeo/aforos	NO	se distribuye hacia las partes altas para evitar que		
Análisis químicos	NO	toda el agua de la presa baje al centro.		
Análisis bacteriológico	NO			
Hidrógrafo	NO			
Fecha:	4 de octubre de 2010.	Censó:	Alejandra Noemí García Romero	

	<p>CENSO DE POZOS</p> <p>Pozo: 7</p> <p>Clave: CNAIGAP7</p>		
Estado:	Guerrero		
Localidad:	Iguala		
Coordenadas:	14Q 0444426 mE, 2028070 mN		735 msnm. Datum: WGS84
Dirección:	Atrás del Lienzo Charro		
Propietario:	CAPAMI		
Brocal:	0.5 m		Prof.Total: 100 m
Prof. NE:	17.54 m		NE-Bro: 16.91 m
Q extraído:	5 l/s		432 m ³ /d
Ø Colum.Succión:	3"		Bomba: Sumergible
Ø Tuber.Descarga:	3"		Uso: Agua potable
Caract. constructivas	NO	Observaciones	
Corte litológico	NO	Diámetro ademe: 10".	
Ensayo de bombeo/aforos	NO		
Análisis químicos	NO		
Análisis bacteriológico	NO		
Hidrógrafo	NO		
Fecha:	4 de octubre de 2010.	Censó:	Alejandra Noemí García Romero

	<p>CENSO DE POZOS</p> <p>Pozo: 8</p> <p>Clave: 8</p>		
Estado:	Guerrero		
Localidad:	Iguala		
Coordenadas:	14Q 0443512 mE, 2028998 mN 741 msnm.		Datum: WGS84
Dirección:			
Propietario:	CAPAMI		
Brocal:	0.6 m		Prof.Total: 100 M
Prof. NE:	m		NE-Bro: M
Q extraído:	12 l/s 1037 m3/d		Motor: Eléctrico
Ø Colum.Succión:	3"		Bomba:
Ø Tuber.Descarga:	3"		Uso: Agua potable
Caract. constructivas	NO	Observaciones	
Corte litológico	NO	No tiene medidor y tiene una pequeña fuga.	
Ensayo de bombeo/aforos	NO		
Análisis químicos	NO		
Análisis bacteriológico	NO		
Hidrógrafo	NO		
Fecha:	4 de octubre de 2010.	Censó:	Alejandra Noemí García Romero

CENSO DE POZOS			
Pozo: 9 Clave: 9			
Estado:	Guerrero		
Localidad:	Iguala		
Coordenadas:	14Q 0444652 mE, 2027862 mN 730 msnm		Datum: WGS84
Dirección:	Lateral Periférico Oriente casi esquin Av. Heroico Colegio Militar		
Propietario:	CAPAMI		
Brocal:	0.6 m	Prof.Total:	120 M
Prof. NE:	53.3 m		NE-Bro:
Q extraído:	1.5 l/s	129.6 m3/d	Motor: Eléctrico
Ø Colum.Succión:	3"		Bomba:
Ø Tuber.Descarga:	3"		Uso: Agua potable
Caract. constructivas	NO	Observaciones	
Corte litológico	NO	El agua se almacena en una cisterna, posteriormente	
Ensayo de bombeo/aforos	NO	se rebombee el agua a las colonias de alrededor.	
Análisis químicos	NO		
Análisis bacteriológico	NO		
Hidrógrafo	NO		
Fecha:	4 de octubre de 2010.	Censó:	Alejandra Noemí García Romero

		CENSO DE POZOS Pozo: 15 Clave: CNAIGAPZA			
Estado:		Guerrero			
Localidad:		Iguala			
Coordenadas:		14Q 0444652, 2027862		730 msnm. Datum: WGS84	
Dirección:		Col. Emiliano Zapata			
Propietario:		CAPAMI			
Brocal:	0.42 m	Prof.Total:	100	M	
Prof. NE:	_____ m	NE-Bro:	_____	M	
Q extraído:	1.5 l/s	129.6 m3/d	Motor:	Eléctrico	
Ø Colum.Succión:	3"		Bomba:	Sumergible	
Ø Tuber.Descarga:	3"		Uso:	Agua potable	
Caract. constructivas	NO	Observaciones			
Corte litológico	NO	Diámetro ademe: 10". Bombea cada tercer día por			
Ensayo de bombeo/aforos	NO	4 hrs. Tambien tiene rebombeo.			
Análisis químicos	NO				
Análisis bacteriológico	NO				
Hidrógrafo	NO				
Fecha:	4 de octubre de 2010.	Censó:	Alejandra Noemí García Romero		

3. FORMATO DE LA ETAPA DE BOMBEO DEL POZO 5

	PRUEBAS DE BOMBEO Pozo: 5 Clave: 5 Midió: Alejandra Noemí García Romero	
--	---	--

Estado: Guerrero	Etapa:	Abatimiento	Recuperación
Localidad: Iguala	Mediciones referidas: Al suelo		
Coordenadas: 14Q 0442910, 2028446 736 msnm	Datum: WGS84		
Dirección: Zócalo	Propietario: CAPAMI		
Prof. NE: 17.54 m NE-Bro= 19.,59 m	Año: 2010		
Q extraído: 12 l/s = 1037 m ³ /d	Prof.Total: 66 m		
Ø Colum.Succión: 4 "	Tipo:	Bombeo	Observación
Ø Tuber.Descarga: 6 "	Uso: Agua Potable		
Brocal: -2.1 m			

N.	Fecha	Hora	t (min)	ND (m)	s (m)	Observaciones	Observaciones
1	02/10/2010	9:34	0	19.59	0		
2	02/10/2010	9:35	0.5	22.52	2.93		El caudal fue dato verbal al igual que
3	02/10/2010	9:35	1	22.86	3.45	Se perdieron	la profundidad total del pozo.
4	02/10/2010	9:35	1,5	23.2	3.72	Se perdieron	
5	02/10/2010	9:36	2	23.53	3.94		
6	02/10/2010	9:37	3	23.64	4.05		
7	02/10/2010	9:38	4	23.73	4.14		
8	02/10/2010	9:39	5	23.8	4.21		
9	02/10/2010	9:40	6	23.83	4.24		
10	02/10/2010	9:41	7	23.9	4.31		
11	02/10/2010	9:42	8	23.93	4.34		
12	02/10/2010	9:43	9	23.95	4.36		
13	02/10/2010	9:44	10	23.975	4.385		
14	02/10/2010	9:45	11	23.99	4.4		
15	02/10/2010	9:46	12	24	4.41		
16	02/10/2010	9:47	13	24	4.41		
17	02/10/2010	9:48	14	24.01	4.42		
18	02/10/2010	9:49	15	24.01	4.42		
19	02/10/2010	9:54	20	24.06	4.47		
20	02/10/2010	9:59	25	24.09	4.5		
21	02/10/2010	10:04	30	24.11	4.52		
22	02/10/2010	10:09	35	24.12	4.53		
23	02/10/2010	10:14	40	24.15	4.56		



24	02/10/2010	10:19	45	24.16	4.57		
25	02/10/2010	10:24	50	24.2	4.61		
26	02/10/2010	10:34	60	24.21	4.62		
27	02/10/2010	10:44	70	24.21	4.62		
28	02/10/2010	10:54	80	24.24	4.65		
29	02/10/2010	11:04	90	24.27	4.68		
30	02/10/2010	11:14	100	24.28	4.69		
31	02/10/2010	11:44	130	24.305	4.715		
32	02/10/2010	12:14	160	24.32	4.73		
33	02/10/2010	12:44	190	24.34	4.75		
34	02/10/2010	13:14	220	24.36	4.77		
35	02/10/2010	13:44	250	24.379	4.789		
36	02/10/2010	14:14	280	24.38	4.79		
37	02/10/2010	14:34	300	24.38	4.79		
38	02/10/2010	16:34	420	24.45	4.86		
39	02/10/2010	18:34	540	24.52	4.93		
40	02/10/2010	20:34	660	24.52	4.93		
41	02/10/2010	22:34	780	24.52	4.93		
42	03/10/2010	0:34	900	24.52	4.93		
43	03/10/2010	2:34	1020	24.52	4.93		
44	03/10/2010	4:34	1140	24.516	4.926		
45	03/10/2010	8:34	1380	24.463	4.873	Se fue la luz 30 min.	
46	03/10/2010	11:06	1530	24.41	4.82		
47	03/10/2010	12:34	1680	24.45	4.86	Sin luz de 3 a 5 min	
48	03/10/2010	14:30	1830	24.49	4.9		
49	04/10/2010	16:34	1980	24.46	4.87		
50	03/10/2010	18:34	2130	24.35	4.76		
51	03/10/2010	20:34	2280	24.35	4.76		
52	04/10/2010	0:34	2430	24.35	4.76		
53	04/10/2010	3:09	2580	24.35	4.76	§ y cambio de pilas	
54	04/10/2010	4:34	2730	24.395	4.805		
55	04/10/2010	9:42	2880	24.26	4.67		

4. FORMATO DE LA ETAPA DE RECUPERACIÓN DEL POZO 5

	<p>PRUEBAS DE BOMBEO</p> <p>Pozo: 5 Clave: 5</p> <p>Midió: Alejandra Noemí García Romero</p>	
--	--	--

Estado: Guerrero	Etapa:	Abatimiento	Recuperación
Localidad: Iguala	Mediciones referidas: Al suelo		
Coordenadas: 14Q 0442910, 2028446 736 msnm	Datum: WGS84		
Dirección: Zócalo	Propietario: CAPAMI		
Prof. NE: 17,5 m NE-Bro= 19.59 m	Año: 2010		
Q extraído: 12 l/s = 1037 m ³ /d	Prof.Total: 66 m		
Ø Colum.Succión: 4 "	Tipo:	Bombeo	Observación
Ø Tuber.Descarga: 6 "	Uso: Agua Potable		
Brocal: -2.1 m			

No.	Fecha	Hora	t corrido (min)	(t+t') / t' (min)	t' (min)	ND (m)	s' (m)	Observaciones	Observaciones
1	04/10/2010	9:42	2880	#¡DIV/0!	0	24.26	4.67		
2	04/10/2010	9:42	2880,5	5761	0.5	24.26	4.67		
3	04/10/2010	9:43	2881	2881	1	22.43	2.84		A las 3 hrs 22 min seguía
4	04/10/2010	9:43	2881,5	1921	1.5	20.61	1.02		sin marcar la sonda.
5	04/10/2010	9:44	2882	1441	2	20.475	0.885		
6	04/10/2010	9:45	2883	961	3	20.345	0.755		
7	04/10/2010	9:46	2884	721	4	20.125	0.535		
8	04/10/2010	9:47	2885	577	5	19.965	0.375		
9	04/10/2010	9:48	2886	481	6	19.87	0.28		
10	04/10/2010	9:49	2887	412.428571	7	19.87	0.28	Idem 8	
11	04/10/2010	9:50	2888	361	8	19.825	0.235		
12	04/10/2010	9:51	2889	321	9	19.79	0.2		
13	04/10/2010	9:52	2890	289	10	19.79	0.2	idem 11	
14	04/10/2010	9:53	2891	262.818182	11	19.755	0.165		
15	04/10/2010	9:54	2892	241	12	19.715	0.125		
16	04/10/2010	9:55	2893	222.538462	13	19.685	0.095		
17	04/10/2010	9:56	2894	206.714286	14	19.685	0.095	idem 15	
18	04/10/2010	9:57	2895	193	15	19.685	0.095	idem 15	
19	04/10/2010	10:02	2900	145	20	19.645	0.055		
20	04/10/2010	10:07	2905	116.2	25	19.615	0.025		

5. FORMATO DE LA ETAPA DE BOMBEO DEL POZO 9

	PRUEBAS DE BOMBEO Pozo: 9 Clave: 9 Midió: Alejandra Noemí García Romero	
--	---	--

Estado: Guerrero	Etapa:	Abatimiento	Recuperación
Localidad: Iguala	Mediciones referidas: Brocal		
Coordenadas: 14Q 0444652, 2027862 746 msnm	Datum: WGS84		
Dirección: Lateral Periférico Oriente casi esquina Av. Heroico Colegio Militar	Propietario: CAPAMI		
Prof. NE: 53.28 m NE-Bro= 52.69 m	Año: 2010		
Q extraído: 1.5 l/s = 817 m ³ /d del medidor	Prof. Total: 120 m		
Ø Colum. Succión: 3 "	Tipo:	Bombeo	Observación
Ø Tuber.Descarga: 3 "	Uso: Agua Potable		
Brocal: 0.6 m			

No	Fecha	Hora	t (min)	ND (m)	s (m)	Observaciones	Obsevaciones
1	02/10/2010	13:24	0	52.69	0		
2	02/10/2010	13:24	0.5	53.95	1.26		
3	02/10/2010	13:24	1	55.05	2.36		Se Rehabilitó en el 2009 , el pozo estaba a
4	02/10/2010	13:25	1.5	55.75	3.06		90 m y lo dejaron en 120 m de profundidad.
5	02/10/2010	13:25	2	56.51	3.82		Se prende diario de 7:00 am a 10:00 p.m.
6	02/10/2010	13:26	3	57.92	5.23		Lectura del medidor 2-Oct-10: 007304 m ³ .
7	02/10/2010	13:27	4	59.22	6.53		
8	02/10/2010	13:28	5	60.28	7.59		Q=129,6 m3/d si el pozo bombeara 24 hrs
9	02/10/2010	13:29	6	61.37	8.68		pero como solo bombea 15 hrs el
10	02/10/2010	13:30	7	62.37	9.68		Q= 81 m2/d
11	02/10/2010	13:31	8	63.27	10.58		
12	02/10/2010	13:32	9	64.35	11.66	Se perdieron	
13	02/10/2010	13:33	10	65.42	12.73	Se perdieron	
14	02/10/2010	13:34	11	67.09	14.4	Se perdieron	
15	02/10/2010	13:35	12	68.17	15.48	Se perdieron	
16	02/10/2010	13:36	13	69.25	16.56	Se perdieron	
17	02/10/2010	13:37	14	69.73	17.04		
18	02/10/2010	13:38	15	70.14	17.45		
19	02/10/2010	13:43	20	74.19	21.5		
20	02/10/2010	13:48	25	76.35	23.66		
21	02/10/2010	13:53	30	78.11	25.42		



22	02/10/2010	13:58	35	79.19	26.5		
23	02/10/2010	14:03	40	79.63	26.94		
24	02/10/2010	14:08	45	80.07	27.38		
25	02/10/2010	14:13	50	80.51	27.82		
26	02/10/2010	14:23	60	80.96	28.27	Muy fidedigna	
27	02/10/2010	14:33	70	80.96	28.27	Idem 25	
28	02/10/2010	14:43	80	80.96	28.27	Idem 25	
29	02/10/2010	14:53	90	80.96	28.27	En marca de 80 m	
30	02/10/2010	15:03	100	80.96	28.27	Idem 28	
31	02/10/2010	15:33	130	80.96	28.27	Idem 21	
32	02/10/2010	16:03	160	80.96	28.27	Idem 25	
33	02/10/2010	16:33	190	81.12	28.43		
34	02/10/2010	17:03	220	81.3	28.61		
35	02/10/2010	17:33	250	81.355	28.665		
36	02/10/2010	18:03	280	81.355	28.665		
37	02/10/2010	18:23	300	81.3	28.61	Idem 33	
38	02/10/2010	20:23	420	81.25	28.56	Debajo de 36 y 35	
39	02/10/2010	22:23	540	81.3	28.61	Idem 36	
40	03/10/2010	0:23	660	81.3	28.61	Idem 38	
41	03/10/2010	2:23	780	81.39	28.7	Casi marca de 82 m	
42	03/10/2010	4:23	900	81.63	28.94		
43	03/10/2010	6:23	1020	81.605	28.915	Antes de la 41	
44	03/10/2010	8:23	1140	81.39	28.7	Sobre 40	
45	03/10/2010	10:23	1380	81.3	28.61	Sobre 39	
46	03/10/2010	14:23	1620	81.3	28.61	Idem 44	
47	03/10/2010	18:23	1860	81.41	28.72	Sobre marca 82m	
48	03/10/2010	22:23	2100	81.41	28.72	Sobre 46	
49	04/10/2010	2:23	2340	81.41	28.72		
50	04/10/2010	6:23	2580	81.67	28.98	Aumento pasa 48	
51	04/10/2010	10:23	2880	81.41	28.72	Idem 47	
52	04/10/2010	16:23	3240	81.41	28.72	Idem 47	
53	04/10/2010	22:23	3600	81.53	28.84		
54	05/10/2010	4:00	3937	81.65	28.96	ND final	

6. FORMATO DE LA ETAPA DE RECUPERACIÓN DEL POZO 9

	PRUEBAS DE BOMBEO Pozo: 9 Clave: 9 Midió: Alejandra Noemí García Romero	
--	---	--

Estado: Guerrero	Etapa:	Abatimiento	<u>Recuperación</u>
Localidad: Iguala	Mediciones referidas: Brocal		
Coordenadas: 14Q 0444652, 2027862 746 msnm	Datum: WGS84		
Dirección: Lateral Periférico Oriente casi esquina Av. Heroico Colegio Militar	Propietario: CAPAMI		
Prof. NE: 53.28 m NE-Bro= 52.69 m	Año: 2010		
Q extraído: 1.5 l/s = 129.6 m ³ /d del medidor	Prof.Total: 120 m		
Ø Colum.Succión: 3 "	Tipo:	Bombeo	Observación
Ø Tuber.Descarga: 3 "	Uso: Agua Potable		
Brocal: 0.6 m			

No.	Fecha	Hora	t corrido (min)	t (min)	t' (min)	ND (m)	s' (m)	Observaciones	Observaciones
0	05/10/2010	04:00	3937	/	0	81.65	28.96		
1	05/10/2010	04:00	3937.25	15747	0.25	81.33	28.64		
2	05/10/2010	04:00	3937.5	7875	0.5	81.17	28.48		7638 m3 marcaba el
3	05/10/2010	04:00	3937.75	5248.33	0.75	80.68	27.99		Medidor. Q=129,6 m3/d
4	05/10/2010	04:01	3938	3938	1	80.4	27.71		
5	05/10/2010	04:01	3938.25	3148.6	1.25	80.13	27.44		
6	05/10/2010	04:01	3938.5	2625.67	1.5	79.9	27.21		
7	05/10/2010	04:01	3938.75	2248.71	1.75	79.61	26.92		
8	05/10/2010	04:02	3939	1969.5	2	79.3	26.61		
9	05/10/2010	04:02	3939.25	1748.78	2.25	79.015	26.325		
10	05/10/2010	04:02	3939.5	1575.8	2.5	78.665	25.975		
11	05/10/2010	04:02	3939.75	1430.64	2.75	78.23	25.54		
12	05/10/2010	04:03	3940	1313.33	3	78.01	25.32		
13	05/10/2010	04:04	3941	983.25	4	76.765	24.075		
14	05/10/2010	04:05	3942	788.4	5	75.76	23.07		
15	05/10/2010	04:06	3943	655.167	6	74.65	21.96		
16	05/10/2010	04:07	3944	563.429	7	73.59	20.9		
17	05/10/2010	04:08	3945	491.125	8	72.91	20.22		
18	05/10/2010	04:09	3946	438.444	9	71.965	19.275		
19	05/10/2010	04:10	3947	392.7	10	71.15	18.46		
20	05/10/2010	04:11	3948	358.909	11	70.38	17.69		



21	05/10/2010	04:12	3949	327.083	12	69.715	17.025		
22	05/10/2010	04:13	3950	303.846	13	69.02	16.33		
23	05/10/2010	04:14	3951	280.214	14	68.38	15.69		
24	05/10/2010	04:15	3952	263.467	15	67.83	100..14		
25	05/10/2010	04:20	3957	195.85	20	65.13	12.44		
26	05/10/2010	04:25	3962	158.48	25	62.94	10.25		
27	05/10/2010	04:30	3967	130.233	30	61.26	8.57		
28	05/10/2010	04:35	3972	113.486	35	60.015	7.325		
29	05/10/2010	04:40	3977	97.425	40	58.52	5.83		
30	05/10/2010	04:45	3982	88.4889	45	58.18	5.49		
31	05/10/2010	04:50	3987	77.74	50	57.46	4.77		
32	05/10/2010	05:00	3997	66.6167	60	56.34	3.65		
33	05/10/2010	05:10	4007	55.2429	70	55.51	2.82		
34	05/10/2010	05:20	4017	50.2125	80	54.855	2.165		
35	05/10/2010	05:30	4027	42.7444	90	54.37	1.68		
36	05/10/2010	05:40	4037	40.37	100	54.04	1.35		
37	05/10/2010	06:10	4067	29.2846	130	53.41	0.72		
38	05/10/2010	06:40	4097	25.6063	160	53.15	0.46		
39	05/10/2010	07:10	4127	19.7211	190	53.13	0.44		
40	05/10/2010	07:40	4157	18.8955	220	53.06	0.37		
41	05/10/2010	08:10	4187	14.748	250	53.04	0.35		
42	05/10/2010	08:40	4217	15.0607	280	53.04	0.35		
43	05/10/2010	09:00	4237	12.1233	300	53.04	0.35		
44	05/10/2010	10:00	4297	11.9361	360	53.15	0.46	Subio a la marca 38	
45	05/10/2010	11:00	4357	8.37381	420	53.26	0.57		
46	05/10/2010	11:30	4387	9.74889	450	53.215	0.525		
47	05/10/2010	12:00	4417	7.20208	480	53.19	0.5		
48	05/10/2010	12:30	4447	8.71961	510	53.12	0.43		