



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

SOBREEXPLORACIÓN DEL ACUÍFERO VALLE DE CELAYA

JOSÉ HILARIO ROMERO MENDOZA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2016

La presente tesis titulada: **Sobreexplotación del acuífero Valle de Celaya**, realizada por el alumno: **José Hilario Romero Mendoza**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

HIDROCIENCIAS

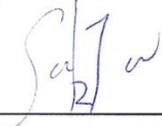
Consejo Particular

Consejero: 

Dr. Oscar Luis Palacios Vélez

Asesor: 

Dr. Enrique Rubiños Panta

Asesor: 

Dr. Bernardo Samuel Escobar Villagran

Montecillo, Texcoco a 14 de Marzo de 2016

Agradecimientos

Agradezco a mis profesores que conformaron mi comité particular: Dr. Oscar Palacios Vélez, por todo el apoyo y cariño demostrado y sus apreciables consejos para la dirección de la presente tesis y nunca cerrar las puertas, siempre estar dispuesto abirme una puerta para conocer otros horizontes; Dr. Enrique Rubiños Panta, por su dedicación y consejos durante mi formación en la maestría y al Dr. Bernardo Samuel Escobar Villagran por todo su tiempo y cuestionamiento hecho, para mejor de la investigación.

Al Dr. Samuel Sandoval Solís por su apoyo y amistad brindada durante la estancia académica en UC Davis, y abrir las puertas a jóvenes estudiantes mexicanos.

A CONAGUA al Lic. Humberto Navarro de Alba y al MC Osvaldo Valdés Robles por abirme las puertas de esta institución y brindarme su apoyo para la realización de la presente tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por apoyar al desarrollo de la investigación por medio de becas y programas, cuyo objetivo es el desarrollo y competitividad de nuestra gran nación. Y beneficiarme con una beca para el desarrollo de la presente investigación.

Agradezco al Colegio de Postgraduados y particularmente al postgrado de Hidrociencias a cada uno de los profesores y personal administrativos por la formación de maestría, y haber infundido en mí un conocimiento técnico como humanos para desempeñar mis labores profesionales para beneficio de la sociedad.

Dedicatorias

Dedico esta tesis al gran pilar de mi vida, mi FAMILIA, mis Padres Hilario Romero y Cecy Mendoza por todo el apoyo, el amor infinito y sus oraciones de siempre alentar a continuar adelante, a mis bros Rodrigo y Toño todo el cariño y el apoyo ya que sin ellos nos podría lograr en nada en cuidar la bento y apoyarme en este tiempo de la aventura llamada maestría, gracias por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas los quiero mucho familia. De igual forma con mucho cariño a mis Tíos

A todos mis amigos que conocí durante la maestría y en especial a: Paul, Daniel, Minely, Chava, Tere, José Luis, Vero, Pablo, Daniel, David y Epsón, dice que no existen las coincidencias si no las diosidencias, ya que por una razón específica aparecieron en mi camino y compartimos momentos agradables y de mucho estrés por la investigación, por cada momento compartido y taza de café les doy las gracias.

A todos mis amigos los prepos que desde muchos años nos juntamos y nos retamos a seguir adelante nunca a conformarnos y luchar y en especial a Sofy por todo el cariño apoyo mostrado está a travesía.

Sobre Explotación Acuífero Valle de Celaya

José Hilario Romero Mendoza, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

El acuífero Valle de Celaya se encuentra ubicado en el estado de Guanajuato dentro de lo que se denomina “El Bajío”, y es la principal fuente de abastecimiento de once municipios con una población de un millón de habitantes. El desarrollo sustentable de estos municipios depende de un adecuado manejo de los recursos naturales, ya que el acuífero se encuentra en zona de veda desde 1949; por lo que es necesario actualizar el estudio hidrológico con base en el cual se pueda elaborar un programa de gestión sustentable del acuífero que asegure el crecimiento poblacional, económico y ambiental de la región. El objetivo de este trabajo fue conocer el grado de sobreexplotación alcanzado en el 2013, para lo cual se aplicaron dos métodos: a) el método de balance hidrológico, que consiste en medir o calcular las diferencias entre entradas y salidas del agua del acuífero, y b) el método de evolución de niveles de agua, que consiste básicamente en multiplicar el abatimiento medio por el coeficiente de almacenamiento. Como resultado de la aplicación del primer método se obtuvo una sobreexplotación de 445.07 Mm³ mientras por método de evolución de niveles de agua fue de 386.58 Mm³. Ambos valores resultaron diferentes, por la falta de información actualizada del censo de aprovechamientos y no se cuentan con datos reales del gradiente hidráulico en las periferias del acuífero. Finalmente se estudiaron tres escenarios con el software MODFLOW, a) escenario base bajo las mismas condiciones de recarga y extracción, b) escenario pesimista, suponiendo un incremento en las extracciones y c) un escenario optimista, donde las extracciones se ajustan a los títulos de concesión de agua subterránea.

Palabras Clave: acuífero, sobreexplotación de acuífero, balance hidrológico, modelo de aguas subterráneas MODFLOW

Aquifer Valle of Celaya Groundwater overdraft

José Hilario Romero Mendoza, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

The Celaya Valley aquifer is located in Guanajuato state, Mexico, in a region known as “El Bajío”, and is the main source of water supply of eleven towns with a population of one million people. Sustainable development of these towns depends on a strong measure in managing their natural resources, especially water, because the aquifer has been banned since 1949 and the Apaseos' Valley aquifers have joined with the Celaya aquifer in 2004, so the actual degree of groundwater overdraft is unknown, so it is necessary to update the hydrological studies, needed to elaborate a program for the sustainable management of the aquifer to ensure the population, economic and environmental growth in the region. The object of this study is to analyze the sources of uncertainty and errors in estimating the aquifer overexploitation for 2013. For this purpose, two methods were applied: a) the method of water balance, estimating the different inputs and outputs, and b) based on the monitoring of the hydraulic heads and the knowledge of the storage coefficient throughout the aquifer. From the application of the hydrological balance a groundwater overdraft of 445.07.98 Mm³ was obtained. By monitoring the hydraulic head, the overexploitation was 386.58 Mm³. Both values were very similar by coincidence, since the used information is incomplete (there are many illegal pumping wells) and the amount and quality of geohydrological data is in many cases unsatisfactory.

Key worlds: aquifer, groundwater overdraft and mass balance.

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PANORAMA DE GUANAJUATO.....	2
1.2	PROBLEMÁTICA DE LA CUENCA LAJA.....	2
1.3	ANÁLISIS DE BALANCES HIDROLÓGICOS ANTERIORES	3
II.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	5
2.1	OBJETIVO GENERAL	5
2.2	OBJETIVOS PARTICULARES.....	5
2.3	HIPÓTESIS	5
III.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1	SOBREEXPLORACIÓN	6
3.1.1	<i>Consecuencias de la sobreexplotación</i>	<i>6</i>
3.2	POBLACIÓN.....	8
3.3	HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	8
3.3.1	<i>Acuífero.....</i>	<i>8</i>
3.3.2	<i>Pruebas de Bombeo</i>	<i>12</i>
3.4	BALANCE HIDROLÓGICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	13
3.4.1	<i>Entradas Totales de Agua (E).....</i>	<i>13</i>
3.4.2	<i>Salidas Totales de Agua (S).....</i>	<i>18</i>
3.4.3	<i>Cambio de Almacenamiento</i>	<i>19</i>
3.5	EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES DE AGUA A TRAVÉS DEL TIEMPO.....	19
3.6	MODELACIÓN NUMÉRICA DE ACUÍFEROS.....	20
3.7	PROCEDIMIENTO PARA LA MODELACIÓN DE UN ACUÍFERO.....	22
3.8	ANÁLISIS DE CALIBRACIÓN.....	23
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1	METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LA SOBREEXPLORACIÓN DEL ACUÍFERO VALLE DE CELAYA.....	26
4.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ENTORNO SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGEOLOGICA	26
4.2.1	<i>Localización del acuífero de Valle de Celaya.....</i>	<i>26</i>
4.2.2	<i>Geomorfología.....</i>	<i>27</i>
4.2.3	<i>Fisiografía</i>	<i>29</i>
4.2.4	<i>Suelos.....</i>	<i>30</i>
4.2.5	<i>Hidrografía.....</i>	<i>31</i>
4.2.6	<i>GEOLOGÍA</i>	<i>34</i>
4.2.7	<i>Hidrogeología.....</i>	<i>38</i>
4.2.8	<i>Tipo de acuífero.....</i>	<i>38</i>
4.2.9	<i>Clima.....</i>	<i>39</i>
4.2.10	<i>Evapotranspiración.....</i>	<i>45</i>
4.3	CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS AGRÍCOLAS	46
4.4	CÁLCULO DE LAS EXTRACCIONES PÚBLICO URBANO	51
4.5	ANÁLISIS DE NIVELES ESTÁTICOS.....	52
4.6	PRUEBAS DE BOMBEO	55
4.7	COSTOS UNITARIOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	57
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
5.1	EVALUACIÓN DE LA SOBREEXPLORACIÓN DEL ACUÍFERO VALLE DE CELAYA (MÉTODO DEL BALANCE HIDROLÓGICO: $E-S=\Delta V$)	59
5.2	MÉTODO DE EVOLUCIÓN DE NIVELES DE AGUA.....	62
5.3	MODELO MATEMÁTICO EN MODFLOW DEL ACUÍFERO.....	64
5.3.1	<i>Construcción del Modelo.....</i>	<i>64</i>

5.3.2 Escenario base.....	66
5.3.3 Escenario Pesimista.....	68
5.3.4 Escenario Optimista.....	70
5.4 COSTOS UNITARIOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	71
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
6.1 CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
VII. BIBLIOGRAFÍA	75
VIII. ANEXOS	79
8.1 PRUEBAS DE BOMBEO	79
8.2 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO VALLE DE CELAYA DE ACUERDO AL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EN EL 2008	85
8.3 DATOS CLIMÁTICOS	86
8.4 PRUEBA DE CALIDAD DE DATOS.....	90
8.5 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE LA PRECIPITACIÓN	92
8.6 PRUEBAS DE BOMBEO REALIZADAS EN EL VALLE DE CELAYA 1999	94
8.7 CALCULO DE REQUERIMIENTOS AGRÍCOLAS	112
8.8 RED DE POZOS PILOTO	116
8.9 ENTRADAS Y SALIDAS	135
8.10 CORTES LITOLÓGICOS DEL ACUÍFERO	147
8.11 RESULTADOS DE CALIBRACIÓN OBSERVADO VS CALCULADO.....	148

Índice de Figuras

Figurar 1.1 Disponibilidad natural media de México	1
Figura 1.2 Disponibilidad de agua per capital en Guanajuato	2
Figura 1.4 Acuífero de Valle de Celaya y Apaseos en el 2000	4
Figura 3.1. Acuíferos Sobre Explotados.....	6
Figura 3.2 Hundimientos diferenciales y fracturas de Celaya; Gto	7
Figura 3.3 Hundimientos en el Acuífero Valle de Celaya.....	7
Figura 3.4 Aparato de Carga constante de Darcy	10
Figura 3.5 Abatimiento del nivel estático del acuífero de Texcoco, México	11
Figura 3.6 Clasificación de acuífero.....	12
Figura 3.7 Métodos de Promedio de Precipitación en un área a) Método Aritmético, b) Método de Thiessen y c) Método de Isoyetas.....	14
Figura 3.8 Red de Flujo.....	18
Figura 3.9 Manual Visual Modflow	22
Figura 4.1 Acuíferos del Estado de Guanajuato	27
Figura 4.2 Acuífero Valle de Celaya	27
Figura 4.3 Geomorfología Valle de Celaya.....	28
Figura 4.4 Fisiografía del acuífero	30
Figura 4.5 Tipo de Suelos.....	31
Figura 4.6 Hidrografía Acuífero Valle de Celaya	32
Figura 4.7 Aprovechamientos Censo 1999-2000	33
Figura 4.8 Estratificación Geológica	35
Figura 4.9 Lineamientos Geológicos.....	38
Figura 4.10 Climas de Acuífero de Valle de Celaya	40
Figura 4.11 Temperatura Histórica.....	42
Figura 4.12 Temperatura mensual promedio histórica 1983 a 2013	42
Figura 4.13 Isotermas del acuífero Valle de Celaya.....	43
Figura 4.14 Precipitación promedio anual.....	43
Figura 4.15 Precipitación promedio mensual	44
Figura 4.16 Isoyetas del acuífero Valle de Celaya	44
Figura 4.17 Distribución de la Precipitación.....	45
Figura 4.18 Evapotranspiración Real del Acuífero Valle de Celaya	45
Figura 4.19 Requerimientos mensuales de agua para uso agrícola	49
Figura 4.20 Consumo de agua por cultivo.....	50
Figura 4.21 Consumo de Agua en el Sector Público – Urbano	51

Figura 4.22 Ejemplos de errores en las mediciones del N.E.	52
Figura 4.23 Pozo 222 en Rincón de Tamayo, Celaya.....	53
Figura 4.24 Pozos de Monitoreo CEAG.....	53
Figura 4.25 Pozos con abatimientos mayor 2 m.....	54
Figura 4.26 Profundidad de Nivel Estático en el 2005	55
Figura 4.27 Profundidad de Nivel Estático en el 2013	55
Figura 4.28 Transmisividad del Acuífero.....	57
Figura 4.29 Coeficiente de Almacenamiento en el Acuífero.....	57
Figura 5.1 Equipotenciales 2011	60
Figura 5.2 Cambio de Almacenamiento 2013	63
Figura 5.3 Diseño de Malla	64
Figura 5.4 Distribución de la conductividad hidráulica en el modelo	65
Figura 5.5 Calibración de Carga Hidráulica 2013 Calculado vs Observado	65
Figura 5.6 Equipotenciales en el 2030	67
Figura 5.7 Profundidad de Nivel Estático Escenario Base	68
Figura 5.8 Escenario Pesimista Equipotenciales 2030	69
Figura 5.9 Escenario Pesimista Profundidad de niveles estáticos	69
Figura 5.10 Equipotenciales escenario Optimista	70
Figura 5.11 Escenario Optimista, niveles estáticos	71
Figura 5.12 Costo energético de extracción de agua subterránea	72
Figura 5.13 Relación de Costo de energía VS Profundidad de Nivel Dinámico	72
Figura 8.1 Método de Jacob	82
Figura 8.2 Sección de un acuífero semiconfinado con bombeo	82
Figura 8.3 Sección de un acuífero libre bombeado	83

Índice de Tablas

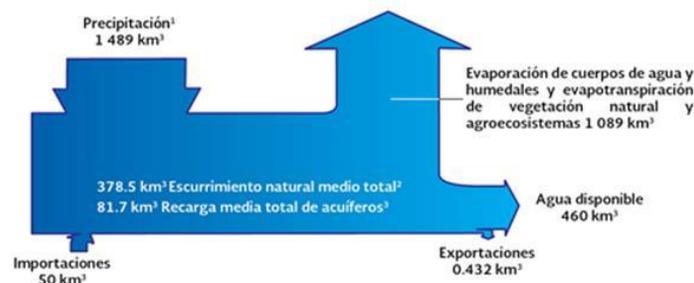
Tabla 1.1 Disponibilidad media de agua en México	2
Tabla 1.2 Analisis de balances anteriores.....	3
Tabla 1.3 Suma de acuíferos de Valle de Celaya y Apaseos	4
Tabla 3.1 Crecimiento poblacional del Acuífero de Valle de Celaya.....	8
Tabla 3.2 Conductividad Hidráulica.....	10
Tabla 3.3 Pruebas de Bombeo	13
Tabla 3.4 Eficiencias de Sistemas de Riego	16
Tabla 4.1 Actualización de Censos de Celaya y Apaseos 2003	34
Tabla 4.2 Volúmenes de Agua Concesionada para el Valle de Celaya por CONAGUA, 2011	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla 4.3 Unidades Hidrogeológicas.....	38
Tabla 4.4 Climas de Acuífero.....	40
Tabla 4.5 Estaciones Climáticas dentro y fuera del Acuífero.....	41
Tabla 4.6 Requerimientos de Riego PRIMAVERA VERANO.....	48
Tabla 4.7 Requerimientos de Riego Otoño – Invierno	48
Tabla 4.8 Requerimientos de Riego Perenes	49
Tabla 4.9 Unidades de Riego Superficial	50
Tabla 4.10 Consumo de Agua per Cápita.....	51
Tabla 4.11 Niveles Estáticos Promedios por municipios	54
Tabla 4.12 Pruebas de Bombeo	56
Tabla 5.1 Entradas y Salidas Horizontales	60
Tabla 5.2 Extracciones de Agua Subterránea	61
Tabla 5.3 Balance de Agua subterránea en el Acuífero Valle de Celaya en el 2013	62
Tabla 5.4 Cambio de Almacenamiento por municipios	63
Tabla 5.5 Características Geo hidráulicas	64
Tabla 5.6 Resultados de Calibración en la conductividad hidráulica	65
Tabla 5.7 Análisis de Calibración.....	66
Tabla 5.8 Estadísticos recomendables para Calibración.....	66
Tabla 5.9 Escenario Base Balance Hidrológico Acumulado de 2013 a 2030.....	67
Tabla 5.10 Escenario Pesimista Balance Hidrológico Acumulado de 2013 a 2030	69
Tabla 5.11 Escenario Optimista, Balance hidrológico acumulado 2013 a 2030	70

I. INTRODUCCIÓN

El recurso natural de agua es uno de los más importantes para el desarrollo de nuestras actividades tanto en el ámbito económico como social, por lo cual la conservación y el uso eficiente de tal recurso es una necesidad vital para todos.

En México, el volumen promedio de agua que se obtiene por precipitación cada año es de aproximadamente 1,489 kilómetros cúbicos; no obstante, la mayor parte, alrededor de 1,089 kilómetros cúbicos, regresa a la atmósfera por evapotranspiración. México recibe alrededor de 50 kilómetros cúbicos por importaciones de ríos de las fronteras norte y sur y exporta 0.432 kilómetros cúbicos del río Bravo a los Estados Unidos (CONAGUA, 2008).

El balance general de la Figura 1.1 indica que la disponibilidad natural media de México es de 460 kilómetros cúbicos de agua en promedio al año, valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara con el de Estados Unidos (3 051 km³), Canadá (2 902 km³) o Brasil (8 233 km³), (FAO, 2007).



Figurar 1.1 Disponibilidad natural media de México

Fuente: CONAGUA, 2012.

México se ha dividido en trece zonas hidrológico - administrativa para la gestión de agua. En la tabla 1.1 se muestra la disponibilidad media anual por zona donde el acuífero Valle de Celaya se encuentra en la zona número VIII Lerma-Santiago-Pacífico.

Tabla 1.1 Disponibilidad de agua por región Hidrológico - Administrativa

Región Hidrológico-administrativa		Esguerrimiento natural medio superficial (Mm ³ /año)	Recarga media total de acuíferos (Mm ³ /año)	Disponibilidad natural media total (Mm ³ /año)
I	Península Baja California	3.43	1.59	5.02
II	Noroeste	5.07	3.16	8.23
III	Pacífico Norte	22.65	3.27	25.92
IV	Balsas	17.06	4.94	21.99
V	Pacífico Sur	30.80	1.88	32.68
VI	Río Bravo	6.86	6.17	13.02
VII	Cuenca Central Norte	5.75	2.42	8.16
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	26.01	8.34	34.35
IX	Golfo Norte	24.74	1.86	26.60
X	Golfo Centro	89.83	4.26	94.09
XI	Frontera Sur	141.39	18.02	159.40
XII	Península de Yucatán	4.28	25.32	29.60
XIII	Aguas de Valle de México	1.17	2.34	3.52

Fuente: (CONAGUA, 2012).

1.1 Panorama de Guanajuato

Aunque México dispone en promedio cerca de 4,000 metros cúbicos anuales por persona, Guanajuato en el año 2000 tiene una disponibilidad aproximada de 749 metros cúbicos, cifra que se redujo alrededor de 50% desde 1970 con una disponibilidad 1636 metros cúbicos per cápita (Figura 1.2) todavía por debajo del límite convencional de escasez (2000 metros cúbicos anuales por persona) (CEASG, 1999).



Figura 1.2 Disponibilidad de agua per capital en Guanajuato

Fuente: (Comisión Estatal del Estado de Guanajuato, 2011).

1.2 Problemática de la Cuenca Laja

El acuífero Valle de Celaya se encuentra ubicada dentro de la cuenca Laja comprende los municipios de San Diego de la Unión, San Felipe, Dolores Hidalgo, San Miguel, San José Iturbide, Dr. Mora, San Luis de la Paz, Guanajuato, Ocampo, Juventino Rosas, Villagrán, Celaya, Juventino Rosas, Apaseo el Grande y Apaseo el Alto. (CEASG, 1999). Donde presenta una seria de problemáticas que se enlistan a continuación:

Problemática natural

- Alto grado de erosión
- Inundaciones
- Abatimientos acelerados de acuífero
- Contaminación de fuentes superficiales y subterráneas
- Zona de incidencias de sequías

Problemática física

- Irregularidades en la operación de estaciones de monitoreo de calidad del agua.
- Deterioro en la infraestructura hidráulica.
- Carencia de estaciones hidrométricas.
- Carencia de plantas de tratamiento de agua en algunas industrias y municipios.

Problemática económica-financiera

- Altos costos de construcción, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento.
- Falta financiamiento de equipo que asegure el uso eficiente del agua.

Problemática Social y Cultural

- Alta demanda de agua debido a la inmigración.
- Asentamiento humano en zonas inundables.
- Conciencia ecológica entre industriales y usuarios.
- Rechazo al cambio tecnológico.

- e) No existe una cultura de saneamiento entre la población.
- f) Falta de conciencia entre usuarios para sembrar según aptitudes del suelo.
- g) Rechazo al cambio a cultivos más redituables y de poco requerimiento de agua.
- h) Falta de conciencia sobre la importancia del monitoreo constante del comportamiento de las variables climáticas e hidrométricas.

1.3 Análisis de balances hidrológicos anteriores

A continuación se muestra la cronología de estudios realizados en la zona de estudio para una mayor comprensión de la historia del Acuífero Valle de Celaya ya que ha pasado por varias modificaciones en los límites del acuífero.

Tabla I.2 Análisis de Balances Anteriores

Año	Nombre de Empresa y proyecto	Balance Hidrológico (Mm ³)		
		Entradas	Salidas	Cambio de Almacenamiento
1995	Lesser y Asociados "Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero de los Apaseos, Guanajuato "	129.80	200.00	-70.20
1999	Ingeniería Geológica Computarizada "Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero Valle de Celaya"	399.84	614.77	-214.93
2000	Servicios de Ingeniería e Investigación del medio ambiente "Actualización del censo de aprovechamientos para el acuífero del Valle de los Apaseos"	n/a	279.00	n/a
2003	DOF unificación del acuífero de Valle de Apaseos y Valle de Celaya (20 vértices)	n/a	n/a	n/a
2003	GONDWANA EXPLORACIONES "Cuantificación de la extracción de agua subterráneas en el Valle de Celaya; Gto"	n/a	931.35	n/a
2009	DOF modificación de los límites del polígono (24 vértices)	286.60	593.00	-306.40

Fuente: Elaboración Propia con base en información de CONAGUA.

Por otro lado, es importante mencionar que en estudios realizados por la CONAGUA durante los años 1995 al año 2000, el acuífero Valle de Celaya estaba dividido en dos acuíferos: el Valle de Apaseos y el Valle de Celaya divididos por el río Laja (Figura I.3). Sin embargo, en un estudio posterior realizado en 2003 por la CONAGUA (Cuantificación de la extracción de agua subterráneas en el Valle de Celaya; Gto.) ya aparecen unificados como un solo acuífero, cuyas coordenadas se publicaron el 31 de enero de 2003 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Aun cuando ya se habían establecido los nuevos límites del acuífero Valle de Celaya, el 28 de agosto de 2009 se publicó en el DOF la disponibilidad media anual de agua subterránea para el acuífero Valle de Celaya en el que se cuantifica el volumen de extracción de agua subterránea en 593 Mm³/año, valor que no considera las extracciones de la zona del Valle de Apaseos (tabla 1.3).

Lo anterior muestra que no se han realizado estudios confiables de la disponibilidad de agua subterráneas en el acuífero Valle de Celaya, dado que lo publicado en el DOF del año 2009 (tabla 1.4) solamente cuantifica volúmenes del acuífero antes de unificarse.

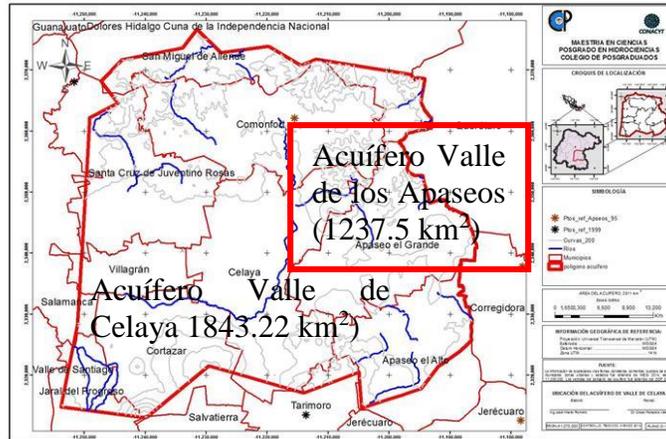


Figura I.1 Acuífero de Valle de Celaya y Apaseos en el 2000

Tabla I.3 Suma de Acuífero de Valle de Celaya 1999 y Apaseos 1995

Entradas (Mm ³)		Salidas (Mm ³)	
Infiltración efectiva	32.05	Extracciones por bombeo	893.77
Infiltración de ríos	2.76	Caudal base	1.75
Entradas subterráneas	359	Salidas subterráneas	20.02
Retornos agrícolas	117.43		
Retornos público-urbanos	0		
Total	511.24	Total	915.54
Cambio de Almacenamiento		-404.30 (Mm³)	

Fuentes: (LESSER Y ASOCIADOS SA DE CV, 1995), (SERVICIOS INGENIERIA E INVESTIGACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE SA DE CV, 2000) (Ingeniería Geológica Computarizada & CEAS de Guanajuato, 1999).

Tabla I.4 Disponibilidad de Agua en el Acuífero Valle de Celaya

CXXVI. REGION HIDROLOGICO-ADMINISTRATIVA VIII "LERMA-SANTIAGO-PACIFICO"

CLAVE	ACUIFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CUBICOS ANUALES					

ESTADO DE GUANAJUATO

1115	VALLE DE CELAYA	286.6	0.0	398.362148	593.0	0.000000	-111.762148
------	-----------------	-------	-----	------------	-------	----------	-------------

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

Los estudios técnicos a través de los que se determinó el volumen que se señala en esta fracción, se realizaron respecto a la poligonal que a continuación se indica:

Fuente DOF, 2009

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo General

Estimar el grado de sobreexplotación de acuífero de Valle de Celaya con dos métodos: a) de balance hidrológico y b) análisis de la evolución de niveles piezométricos y elaborar un modelo matemático que permita estudiar diferentes escenarios de manejo del acuífero para proponer alternativas de solución a su sobreexplotación.

2.2 Objetivos Particulares

- a) Comparar los resultados de los dos métodos utilizados para analizar la sobreexplotación y la mejor factibilidad de uso.
- b) Analizar el impacto del abatimiento del nivel estático del acuífero sobre los costos de extracción de agua subterránea.

2.3 Hipótesis

- a) La sobreexplotación de un acuífero se puede estimar con base en el análisis de las componentes del balance hidrológico.
- b) También es posible hacer esta estimación analizando los abatimientos del nivel piezométrico y conociendo el coeficiente de almacenamiento.
- c) La modelación del acuífero permite analizar su comportamiento utilizando variables del método de balance hídrico y utilizando el método de niveles piezométricos con mayor confiabilidad e identificando los problemas del acuífero.
- d) Los costos de extracción del acuífero se han incrementado en una relación directa con la profundización de los niveles piezométricos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Este apartado es el marcado teórico conceptual cuyo objetivo es recopilar y analizar información existente relacionada con el tema de estudio.

3.1 Sobreexplotación

La sobreexplotación hidrológica de acuerdo a (Candela, 1991) es la relación de una extracción de agua a un ritmo mayor que la recarga del acuífero. En México, se han delimitado 653 acuíferos (conforme a lo publicado en el DOF del 5 de diciembre de 2001; distribuidos en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas. El problema de la sobreexplotación de los acuíferos del país es cada vez más grave; en 1975 eran 32 los acuíferos sobreexplotados, número que se elevó a 36 en 1981, a 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003 y 106 al 2013 (Figura 3.1). El bombeo intensivo de agua subterránea ha dado lugar a su sobreexplotación con una tendencia a incrementar el número de acuíferos sobreexplotados; en el año 2010, 105 acuíferos se encontraban sobreexplotados y de ellos se extraía el 60 % del agua subterránea que se empleaba en el país. (CONAGUA, 2013)

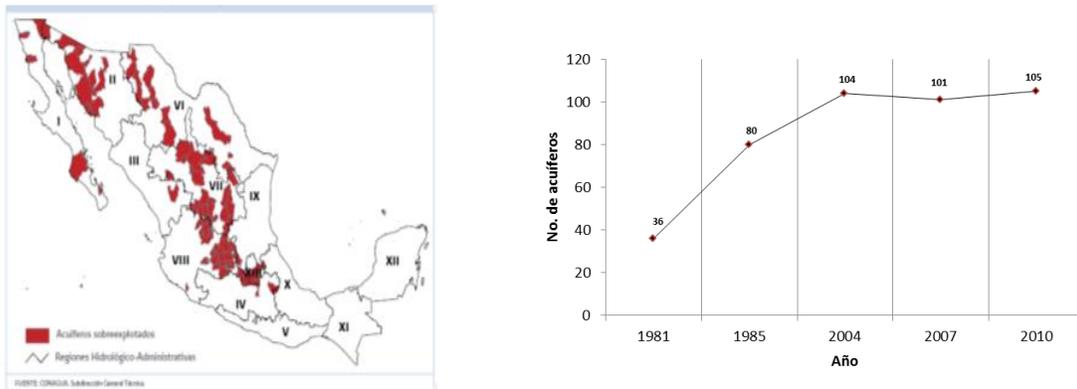


Figura 3.1. Acuíferos Sobre Explotados

Fuente: DOF, 2009.

3.11 Consecuencias de la sobreexplotación

Efectos directos

- Disminución de los caudales de las corrientes naturales (Escolero, 1993)
- Reducción de zonas de captación en pozos
- Agotamiento de manantiales. Reducción de escurrimientos base en ríos. Deseccación de lagos y lagunas
- Reeducación de vida útil de captaciones. Norias y pozos inutilizados. Mayor profundidad de bombeo
- Disminución de la disponibilidad de agua
- Una disminución de los niveles dinámicos de bombeo y costos de bombeo inoperables por mayor consumo de energía, perforación de pozos y equipos de bombeo

- g) Intrusión de agua salina de mares a los acuíferos costeros.

Efectos indirectos

- h) Subsistencia que ha provocado fracturas en edificios históricos del centro de la ciudad de Celaya como se muestra en la figura 3.2 y hundimientos en las calles.



Figura 3.2 Hundimientos diferenciales y fracturas de Celaya; Gto

A continuación se transcribe el texto preparado por el Ing. Jorge A. Trujillo, en (SARH, 1980), para explicar el fenómeno:

“La Ciudad de Celaya se encuentra afectada por cinco fallas geológicas activas, las cuales son casi paralelas, tienen dirección al noroeste a suroeste. Los primeros indicios de estas fallas se presentaron en 1980, aumentando su velocidad de desplazamiento a partir de 1982. La explotación de aguas subterráneas se inició en el estado en 1950 y se intensificó en la década de los 70’s.”

Actualmente, la máxima velocidad de hundimiento es de 15 cm al año y se localiza al oriente de la Alameda (Figura 3.3). El salto acumulado es de 2.5 m en las zonas de mayor afectación. La longitud promedio de las fallas, es de 5 km en cada una de ellas (Rafael Huizar-Álvarez, 2011). Los daños que están causando las fallas son cuantiosos, porque afectan los servicios municipales como pavimentos, banquetas, conductos de agua potable, drenaje, teléfonos y todas las edificaciones que encuentran a su paso. Además los planos de las fallas son conductos por los que fácilmente se infiltran aguas torrenciales de lluvia, aguas negras y que contaminan al acuífero”



Figura III.1 Hundimientos en el Acuífero Valle de Celaya

- i) Degradación de la calidad de agua ya que en la comunidad de Tenería del Santuario se instaló una tratadora de agua para extraer el arsénico obtenido de las aguas subterráneas.
- j) Modificación del esquema de flujo
- k) Contaminación de acuíferos y problemas sociales

- l) Asentamiento de los terrenos y/o agrietamientos, deterioro de las construcciones y de la infraestructura.
- m) Contaminación de agua: En el Estado de Guanajuato se ha incrementado la concentración de sales a través del tiempo debido al abatimiento acelerado de los niveles piezométricos. Esto provoca la deficiencia de algunos minerales como el fierro y zinc en algunos cultivos como el sorgo, maíz e incluso el trigo. (Comisión Estatal del Estado de Guanajuato, 2011).

3.2 Población

El acuífero Valle de Celaya se encuentra ubicado en la zona denominada como *el Bajío*, destacada por su producción agrícola y el corredor industrial. En el 2014, había una población de alrededor de un millón de habitantes y se pronostica que para el 2030 la población se incrementará con cien mil habitantes adicionales (Tabla 3.1) (CONAPO, 2014); donde en el municipio de Celaya vive la mitad de la población (INEGI, 2014) debido al crecimiento económico que se desarrolla en la zona y la llegada de nuevas industrias (Honda, Mazda, Toyota y filiales), por lo que una importante gestión de los recursos es de suma importancia para sostener de forma sustentable el crecimiento económico y demográfico de la zona.

Tabla III.1 Crecimiento poblacional del Acuífero de Valle de Celaya

Municipio	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020	2025	2030
Apaseo el Alto	73863	65,270	65,821	66,371	66,921	67,470	68,012	70,556	72,772	74,649
Apaseo el Grande	69305	86,456	87,649	88,744	89,764	90,723	91,627	95,518	98,700	101,382
Celaya	457018	474,423	480,041	485,248	490,133	494,742	499,094	517,544	531,630	542,279
Comonfort	79886	78,835	79,465	80,118	80,797	81,494	82,203	85,743	89,066	91,961
Cortázar	88781	89,536	89,786	90,132	90,552	91,023	91,526	94,126	96,431	98,236
Jaral del Progreso	36023	37,065	37,582	38,027	38,419	38,767	39,081	40,308	41,230	41,984
Juventino Rosas	81051	80,357	81,136	81,896	82,643	83,377	84,096	87,409	90,271	92,700
Villagrán	55788	56,518	57,087	57,635	58,166	58,683	59,184	61,451	63,363	64,947
Total	943720	968,460	978,567	988,171	997,395	1,006,280	1,014,823	1,052,654	1,083,463	1,108,139

Fuente: Elaboración propia con información de censos poblacionales INEGI y proyecciones poblacionales CONAPO

3.3 Hidrología Subterránea

3.3.1 Acuífero

De acuerdo a Gonzáles de Vallejo define acuífero del latín *aqua* (agua), *fero* (llevar). Formación geológica natural que actúa como conductor y reserva de agua subterránea. Está formado por materiales consolidados (rocas) o no consolidados (sedimentos), Algunas características de un acuífero son las siguientes:

- tienen gran capacidad de almacenar considerables reservas de agua,
- flujos pequeños (laminar) y
- Proporcionan extensas fuentes de suministro de agua

En la Ley de Aguas Nacionales publicada en el DOF, 2014 se define el acuífero como: cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales

se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

Propiedades de los acuíferos

A continuación, se emplean las definiciones de los conceptos más utilizados en la hidrología subterránea:

Porosidad total: Es el porcentaje de proporción del volumen de la parte sólida del material con el volumen del sólido más la del volumen de los huecos (Bowen, 1986). La porosidad de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total.

$$n = \frac{V_v}{V_s + V_v} \quad (3.1)$$

Dónde:

n= porosidad total

V_v = volumen de los huecos

V_s = volumen sólidos

Porosidad Eficaz: como el volumen de huecos disponibles para el flujo respecto del volumen total, son los huecos que permiten el flujo de agua.

Rendimiento específico (Sy): nos informa del volumen de agua que podemos obtener vaciando un medio poroso saturado.

Conductividad hidráulica (k) es la facilidad con que el agua puede fluir o transmitirse a través de una roca o formación. Su valor representa la cantidad de agua que circula a través de una sección transversal unitaria y perpendicular a la dirección del flujo. Sus dimensiones son de velocidad. (Manuel Martínez M, 2014).

En 1856 el ingeniero francés Henry Dary, descubrió por medio del aparato mostrado en la figura 3.4, que consiste en un tubo de área constante, al cual, en un extremo se le fija una carga de agua constante que circula por dos tipos de suelo y en cierta distancia (Δl) se miden las diferencias de presiones (Δh).

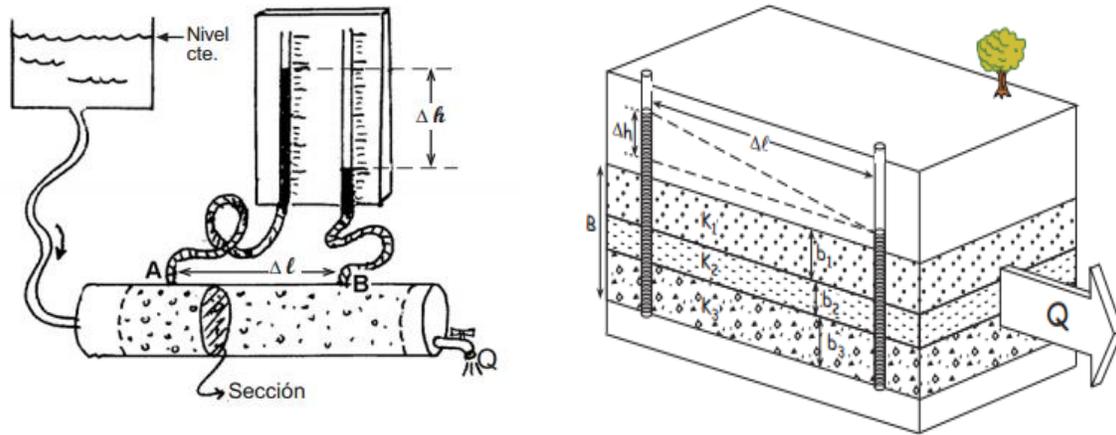


Figura 3.4 Aparato de Carga constante de Darcy

$$Q = -k \frac{dh}{dl} \quad (3.2)$$

Dónde:

Q= caudal

k= conductividad hidráulica

dh= diferencia de carga de presión

dl= diferencia de distancia

Tabla III.2 Conductividad Hidráulica

Conductividad Hidráulica (m/día)	10 ⁴	10 ³	10 ²	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena		Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos				Acuíferos pobres			Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien				Drenan mal		No drenan			

Fuente (Custodio y Llamas, 2001)

Transmisividad (T): Producto de la conductividad hidráulica media (k) por el espesor del acuífero (B), o bien, caudal de agua liberado bajo un gradiente hidráulico unitario a través de una sección transversal de anchura unitaria y altura igual al espesor total del acuífero. O, capacidad (m²/seg) del acuífero de transmitir agua a través de todo su espesor. (Custodio & Llamas, 2001)

$$T = k * B \quad (3.3)$$

Coefficiente de Almacenamiento (S): Volumen de agua almacenada o liberada por unidad de superficie del acuífero, para un cambio unitario en la carga hidráulica, o baja unitaria del nivel piezométricos. Es el volumen de agua liberada por bombeo (Bowen, 1986).

Nivel Piezométrico: Altura de la columna de agua que equilibra la presión del agua del acuífero en un punto determinado, está referida a una altitud determinada. Representa la energía por unidad de peso de agua. En algunas ocasiones la superficie piezométrica puede ascender por arriba del nivel del suelo presentándose pozos artesianos (Fitts, 2002).

La medición de niveles estáticos de agua sería óptima de realizar en pozos sin equipamiento de bombeo y a un radio de 500 metros en donde no existan pozos de extracción en operación, en el momento de la medición no debe confundirse el nivel estático con el cono de abatimiento.

Los niveles freáticos tienen dos funciones:

1. Estimar los gradientes de las corrientes subterráneas para poder calcular los flujos de entrada y de salida horizontal del acuífero.
2. La evolución de los niveles de agua, cuando tienen una tendencia a ser más profundos, indican que hay una sobreexplotación del acuífero (Como se ilustra en la Figura 3.5).

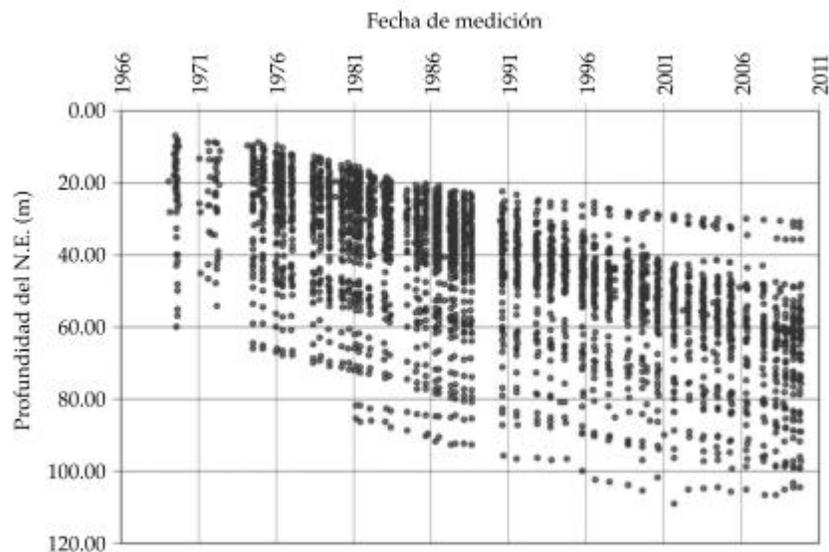


Figura III.2 Abatimiento del nivel estático del acuífero de Texcoco, México

Fuente (Escobar y Palacios, 2012)

Clasificación de acuífero

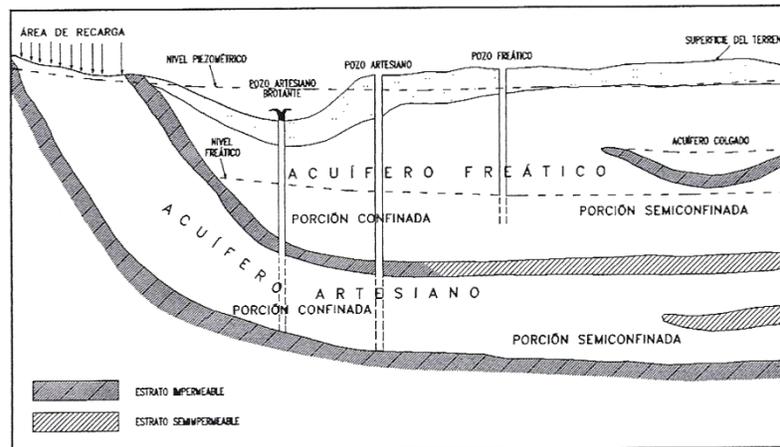


Figura III.3 Clasificación de acuífero

Fuente: (Hantush, 1964)

Acuífero libre o freático: serán aquellos cuyo nivel superior de agua coincide con la presión atmosférica, su nivel piezométrico coincide con la línea de saturación.

Acuíferos semiconfinados: Es el acuífero que está totalmente saturado de agua siendo su límite superior una capa semi-permeable, y el límite inferior, o bien, una capa impermeable o semi-permeable. Se define como capa semi-permeable aquella que tiene una baja, pero medible, permeabilidad. Un descenso en el nivel piezométrico, (por ejemplo, por bombeo), en este tipo de acuíferos, genera un flujo de agua vertical desde la capa semipermeable hacia el acuífero bombeado. Como la permeabilidad de la capa superior es generalmente muy pequeña, se puede despreciar en ella la componente horizontal del flujo.

Acuífero confinado: Es el acuífero que está totalmente saturado de agua y cuyos límites, superior e inferior son capas impermeables. Las capas totalmente impermeables rara vez se dan en la naturaleza, por ello este tipo de acuíferos son menos comunes de lo que se cree. En estos acuíferos, la presión del agua suele ser mayor que la atmosférica y el nivel de agua en los pozos de observación es más alto que el nivel del límite superior del acuífero. Al agua existente en estos acuíferos se le llama confinada o artésiana (Peña, 2014).

3.3.2 Pruebas de Bombeo

La obtención de la transmisividad (T) y del coeficiente de almacenamiento (S) se realiza generalmente a través de lo que se llama prueba de bombeo, un pozo se explota por un determinado tiempo a un caudal constante y se van tomando los niveles estáticos en cada determinado tiempo, en un pozo denominado observación. (Fletcher G Driscoll, 1987)

Las pruebas de bombeo han demostrado ser el medio más apropiado para encontrar valores fidedignos y representativos de las características hidrodinámicas de los acuíferos. Para el desarrollo de la prueba de bombeo se deben tomar en cuenta ciertas circunstancias según los casos de ser un acuífero libre, un semiconfinado o uno confinado; aunque estas condiciones de funcionamiento se obtienen precisamente de la interpretación de las medidas del nivel dinámico, o sea la interpretación de las mismas. En el anexo I se muestran los diferentes tipos de prueba de bombeo.

La tabla 3.3 muestra una matriz de decisión para seleccionar el mejor método de acuerdo a las siguientes variables que sea a caudal constante, el acuífero homogéneo e isotrópico y uniforme.

Tabla III.3 Pruebas de Bombeo

<i>Método</i>	<i>Tipo de Acuífero</i>			<i>Observaciones</i>
	<i>Confinado</i>	<i>Semi confinado</i>	<i>Libre</i>	
Theis	X	X	X	
Jacob	X			U<0.01 y r es muy pequeño
Hantush-Jacob (Walton)	X			Cuando hay recarga de un acuífero superior
Theis-Jacob		X	X	U<0.01 y r es muy pequeño
Neuman		X	X	Se utiliza para acuíferos anisótropos

Fuente: (Röhricht, 2008)

3.4 Balance Hidrológico de Aguas Subterráneas.

El estudio del balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido por nosotros como ecuación de la continuidad. Esta establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada. Si las salidas son mayores a la recarga indican que existe una sobreexplotación en el acuífero. La forma general de la ecuación de balance (Sokolov & Chapman., 1981) es la siguiente:

$$E - S = \Delta A \quad (3.4)$$

Dónde:

E=Entradas totales de agua subterránea

S=Salidas totales de agua subterránea

ΔA =Cambio de almacenamiento del acuífero.

El desarrollo de la ecuación de balance hidrológico es sencilla, y está basada en las ganancias o pérdidas en un determinado tiempo, dando como resultando un cambio de almacenamiento. (ΔA) continuación se va definir las principales entradas y salidas de los componentes que conforman el balance hidrológico:

3.4.1 Entradas Totales de Agua (E)

Precipitación.

Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua. (Chávez, 2013). La precipitación se mide por pluviómetro y/o Fluviógrafo en una zona puntual.

Precipitación promedio de un área

Para evaluar la cantidad promedio de precipitación sobre un área en un intervalo de tiempo determinado es necesario basarse en los valores puntuales registrados en cada medidor que conforma la red. Pero como la contribución de cada instrumento al total de la tormenta es

desconocida, han surgido varios métodos que intentan darnos una aproximación de la distribución de la precipitación dentro del área en consideración, entre estos métodos tenemos:

Método de la media aritmética

Es una forma sencilla para determinar la lluvia promedio sobre un área, consiste en hallar la media aritmética de las cantidades conocidas para todos los puntos en el área, sobre el área que es uniforme y la variación en las cantidades individuales de los medidores no es muy grande.

Método de Thiessen

Se emplea cuando la distribución de los pluviómetros no es uniforme dentro del área en consideración. Para su cálculo se define la zona de influencia de cada estación mediante el trazo de líneas entre estaciones cercanas, éstas líneas se bisecan con perpendiculares y se asume que toda el área encerrada dentro de los límites formados por la intersección de estas perpendiculares en torno a la estación ha tenido una precipitación de la misma cantidad que la de la estación.

Calculando el área encerrada por cada estación y relacionándola con el área total, se sacan pesos relativos para cada pluviómetro y posteriormente el valor de la precipitación promedio se obtiene a partir de un promedio ponderado.

Método de las isoyetas

Las isoyetas son contornos de igual altura de precipitación, que se calculan a partir de interpolación entre pluviómetros adyacentes. Las áreas entre isoyetas sucesivas son medidas y se multiplica por el promedio de precipitación entre la isoyetas adyacentes, el promedio total para el área es entonces la sumatoria de éste producto entre el área total considerada. Este método tiene la ventaja que las isoyetas pueden ser trazadas para tener en cuenta efectos locales, y por ello es posiblemente el que mejor nos aproxima a la verdadera precipitación promedio del área.

La Figura 3.7 muestra la diferencia entre los métodos de promedios aritméticos, polígonos de Thiessen y de isoyetas

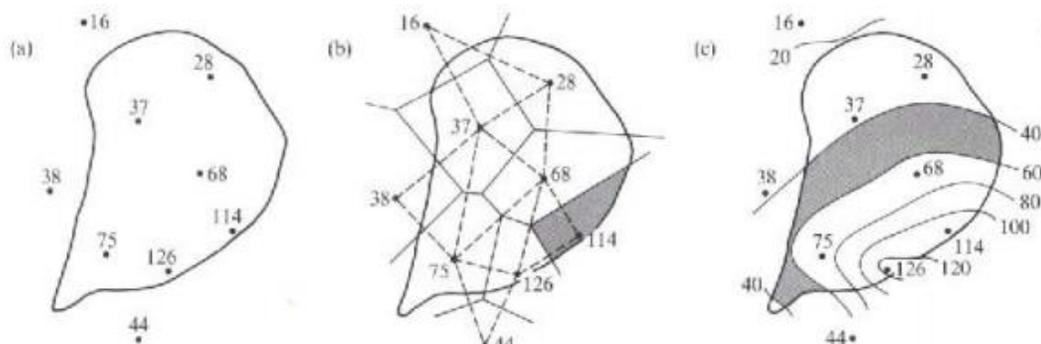


Figura III.4 Métodos de Promedio de Precipitación en un área a) Método Aritmético, b) Método de Thiessen y c) Método de Isoyetas

Infiltración

Infiltración es el proceso, por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente (Drever, 1997).

Factores que afecta a la infiltración.

El agua para filtrarse, debe penetrar a través de la superficie del terreno y circular a través de éste. Hay dos grupos de factores que influyen en el proceso:

1. Factores que definen las características del terreno o medio permeable
2. Factores que definen las características del fluido que se infiltra.

Características del terreno o medio permeable

- a) Condiciones de superficie.- la compactación natural, por ejemplo: una superficie desnuda está expuesta al choque directo de las gotas de lluvia, que también da lugar a compactación y consiguiente disminución de la infiltración, o cuando el suelo está cubierto por vegetación, las plantas protegen de la compactación por impacto de lluvia, se frena el recorrido superficial del agua que esta, y las raíces de las plantas abren grietas en el suelo que facilitan la penetración del agua.
- b) Características del terreno.- la textura del terreno influye por sí misma y la influencia en la estabilidad de la estructura, tanto menor cuanto mayor sea la proporción de materiales finos que contenga. Un suelo con gran cantidad de limos y arcillas está expuesto a la disgregación y arrastre de estos materiales por el agua. La estructura define el tamaño de los poros y la existencia de poros grandes reduce la tensión capilar pero favorece directamente la entrada de agua.
- c) Condiciones ambientales.- la humedad inicial del suelo juega un importante papel, cuando el suelo está seco al comienzo de la lluvia, se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores, y este afecto se suma al de gravedad incrementando la intensidad de infiltración.

Características del fluido que se infiltra

El contenido de sales a veces, favorece la formación de floculos con los coloides del suelo y reduce por el mismo motivo la intensidad de infiltración. En otras ocasiones, puede ocurrir lo contrario, al producirse deflocuación.

Cálculo del Volumen infiltrado

El volumen infiltrado se puede obtener por la siguiente expresión:

$$VI = VP - VE - ET \quad (3.5)$$

Dónde:

VI= Volumen infiltrado

VP = volumen precipitado

VE= volumen escurrido superficialmente

ET= volumen evapotranspirado

“Para cuencas de regiones semiáridas, se han utilizado con éxito, fórmula empírica” (Custodio y Llamas, 2001 pp. 348).

$$I = \alpha(P - E_{to}) \quad (3.6)$$

Dónde:

I= infiltración

α = coeficiente adimensional de escurrimiento característico de la cuenca

P= precipitación sobre la cuenca en mm/año

E_{to}= Evapotranspiración sobre la cuenca en mm/año

Recarga inducida

Núcleos urbanos. La principal pérdida en los sistemas de abasto a poblaciones se da por las fugas en las redes de distribución, parte de estas fugas recargan al acuífero.

En el año 2009 la operadora de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Celaya (JUMAPA) realizó un estudio de pérdida de eficiencias en la conducción de agua y determinó, que el 40% del agua se pierde por diversas fugas en la conducción por la falta de mantenimiento y antigüedad de la red de conducción de agua.

Por uso de agua en la agricultura. En el caso de la agricultura hay que tomar en cuenta que en general las obras convencionales para irrigar los cultivos con agua de origen superficial y subterráneo constituyen por sí solas dispositivos de infiltración (Peña, 2014).

En el acuífero Valle de Celaya en el 2003 se realizó una investigación titulada “actualización de volúmenes de Extracción de agua subterránea” por la empresa Gondwana Exploraciones S. C. en cual se determinó que los principales sistemas de riego dentro del acuífero se muestran la tabla 3.4; donde muestra que más del 80% es un sistema tradicional de gravedad con poca eficiencia. Para obtener el porcentaje de eficiencia de cada sistema de riego utilizamos los coeficientes propuestos por (Solis, 2008). En conclusión, el porcentaje de retorno de agua al subsuelo en los sistemas de riego es de 25.85%.

Tabla III.4 Eficiencias de Sistemas de Riego

Sistema de riego	Superficie Sembrada (Ha)	Eficiencia Sistema de Riego (%)	Ponderación de Superficie por Eficiencia
Rodado	1439.00	73.00	1050.47
Compuertas	1762.00	73.00	1286.26
Goteo	268.50	86.00	230.91
Aspersión	165.00	78.00	128.70
Side Roll	5.00	70.00	3.50
Avance Frontal	23.80	70.00	16.66
Total	3663.30		2716.50

Fuente: Elaboración propia con información de SAGARPA

Infiltración de manantiales y ríos

Es la aportación del volumen de aguas superficiales de ríos y manantiales que desciende hasta el nivel freático a la zona saturada de agua en el subsuelo. Por lo regular para calcular el volumen infiltrado es la diferencia de estaciones hidrométricas al inicio y final del área de estudio, menos el agua utilizada por los diferentes usos, menos el agua evaporada, el resultado es el volumen infiltrado (SARH, 1980).

Recarga horizontal

Es el volumen de agua subterránea proveniente de las periferias de otros acuíferos o de zonas montañosas entre las capas del subsuelo hacia el acuífero. El flujo horizontal se obtiene por medio de la ecuación de Darcy (Ecuación 3.2) al multiplicar el área de tubo de corriente ($B \times L$), por la Transmisividad (T) y el gradiente hidráulico (i) como se muestra la Ecuación 3.7 (Fitts, 2002)

$$Q = T * B * i \quad (3.7)$$

Dónde:

Q= Volumen de agua (m³/s)

T= Transmisividad (m²/s)

B= Ancho en la periferia de influencia del tubo de corriente (m)

i = Gradiente hidráulico de la Ley Darcy

Para obtener los flujos de entrada y salida, las zonas de recarga y descarga se dividen en tantos canales de flujo (también llamados “tubos de corriente”) como se quiera, de acuerdo con la uniformidad de las líneas equipotenciales o de corriente y de la transmisividad. Es conveniente recordar que la función gradiente considerada coincide con la definición matemática, es decir se trata de un vector. El caudal total de entrada por flujo horizontal (E_H) es la suma de los correspondientes a cada canal de flujo a un tiempo determinado (Ecuación 3.8). La Figura 3.8 muestra un diagrama de red de flujo donde se hace el análisis en una intercepción de líneas de corriente y equipotenciales para ilustrar los conceptos utilizados para los cálculos de entradas de agua subterránea horizontales (Harbaugh, 2006).

$$E_H = \sum_{j=1}^{nc} Q_j t = \sum_{j=1}^{nc} T_j * i_j * B_j * t \quad (3.8)$$

Dónde:

nc = Número de canales de flujo de entrada y/o salida, definidos en la periferia del área de balance.

t = Es el intervalo de tiempo considerado para plantear el balance

T = *transmisividad del canal*

i = *gradiente hidráulico $(h_1-h_2)/L$*

B = *ancho del canal*

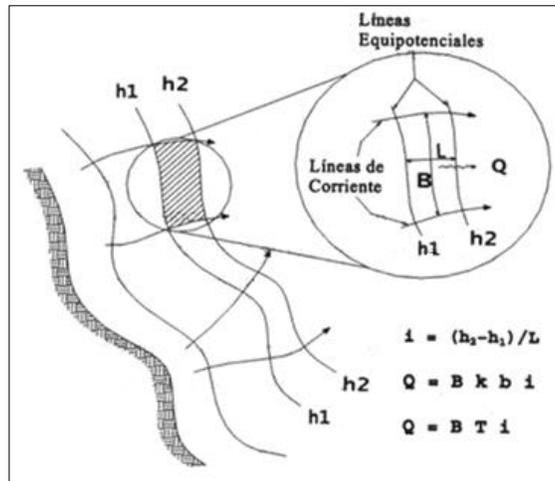


Figura III.5 Red de Flujo

Fuente (Escobar Villagran, 2010)

3.4.2 Salidas Totales de Agua (S)

Evapotranspiración

La evaporación potencial (Ev) es la cantidad de vapor de agua que puede ser emitida desde una superficie libre con agua. Transpiración es la pérdida de agua liberada hacia la atmósfera a través de las estomas de las plantas. Evapotranspiración (ET) es la suma de las cantidades de agua evaporadas desde el suelo y transpirada por las plantas (American Society of Civil Engineers, 1990). Evapotranspiración potencial (ETP) es la máxima cantidad de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo.

Para calcular la evapotranspiración, la NOM-CONAGUA-011 (Diario Oficial de la Federación, 2015) propone la fórmula de Turc ya que es uno de los métodos más sencillos ya que solo depende de dos variables (Precipitación media anual y Temperatura media anual) en comparación de otros métodos que piden una serie de datos climáticos que no se disponen fácilmente teniendo que calcularse los datos climáticos faltantes.

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (9)$$

Dónde:

ET= evapotranspiración en mm

P = precipitación media anual en mm

T= temperatura media anual en °C

$$L = 300 + 25 T + 0.05T^3$$

Manantiales y flujo base

Una de las evidencias superficiales más claras de la interacción que existe entre el agua subterránea y el agua superficial en una cuenca determinada, es la existencia de manantiales y flujo base. (SCHAWARTZ & ZHANG, 2003) Estas manifestaciones representan zonas de descarga de sistemas de flujo, por lo que sus características químicas generales son importantes en la definición del sistema de flujo al que pertenecen.

En la zona del Acuífero de Celaya, no existen corrientes superficiales permanentes que presenten flujo base a lo largo de todo el año, como correspondería a zonas de descarga de sistemas de flujo regional.

Captaciones de agua subterránea

- a) Pozos. Perforaciones verticales, en general de forma cilíndrica y de diámetro mucho menos que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo típico radial. Es tipo de captación más común. (Otálvaro, 1999)
- b) Drenes y galerías. Perforaciones o instalaciones horizontales de sección más o menos circular con una longitud mucho mayor que el diámetro. El agua penetra a lo largo de la obra creando un flujo aproximado paralelo y horizontal. Los drenes y galerías acaban en un pozo recolector y afloran en la superficie.
- c) Zanjas. Excavaciones rectilíneas en trinchera, en general de poca profundidad, y cuyo funcionamiento es parecido a los drenes
- d) Socavones. Excavaciones de forma variada, en general de poca profundidad, cuyo funcionamiento es parecido a un pozo de gran diámetro.
- e) Pozos de drenes radiales. Obra consistente en un pozo revestido del que salen drenes horizontales en varias direcciones.

Salidas horizontales de agua subterránea

Las salidas horizontales de otros acuíferos (S_H). El valor de este componente, así como la determinación de los canales de salida, se puede calcular al igual que las entradas por flujo subterráneo, mencionados en el capítulo 3.4.1, mediante la ecuación Darcy.

3.4.3 Cambio de Almacenamiento

Es la cantidad de agua liberada por unidad de superficie del acuífero y por unidad de descenso del nivel piezométrico perpendicular a dicha superficie. (Bear, 1994) Como el coeficiente se refiere a un volumen de agua por otro del acuífero no tiene dimensiones.

En acuífero confinado, los valores típicos se encuentran entre 0.00005 y 0.025 muchos menores que la porosidad eficaz de un acuífero libre. (Anderson & Woessner, 1992) Esto se debe a que en un acuífero confinado el agua no es liberada por el drenaje de los intersticios sino por la compresión del acuífero, en particular de las capas intercaladas de arcillas y limos, por eso también denominado coeficiente de almacenamiento elástico, y todo el material acuífero permanece saturado. (Domenico & Schwartz, 1990).

3.5 Evolución de los niveles de agua a través del tiempo

La sobreexplotación de un acuífero se puede también *medir directamente*, sin necesidad de calcular la recarga y las extracciones por medio de la siguiente ecuación: (Harbaugh, 2006)

$$\Delta V = \pm \sum_{i=1}^{na} a_i h_i S_i \quad (3.10)$$

Dónde:

ΔV = Cambio de almacenamiento ($m^3/año$)

h_i = Variación de la carga hidráulica (Δh) ($m/año$)

S_i = Coeficiente de almacenamiento (adimensional)

a_i = Elemento de área con evolución (m^2)

na = Número de elementos en que se divide el área de balance.

Para esto se requiere básicamente dos tipos de datos:

1. La evolución de los niveles piezométricos (o del agua libre) del acuífero, también denominada variación de la carga hidráulica (Δh). Para esto es importante tener un programa de mediciones de estos niveles, en tantos sitios como sea posible. Puede haber pozos de observación construidos específicamente para este propósito (generalmente muy pocos, por su alto costo), pero también se pueden hacer lecturas en los pozos de bombeo. En este último caso es importante distinguir entre niveles dinámicos, cuando el pozo está operando; o niveles estáticos, cuando el pozo no está en operación. La comparación debe hacerse entre niveles dinámicos o estáticos. La sobreexplotación del acuífero se manifiesta de manera contundente y definitiva cuando se tienen abatimientos de estos niveles a través de los años.
2. El coeficiente de almacenamiento y sus variaciones a lo largo y ancho de los acuíferos. Este coeficiente es equivalente a la lámina de agua que se libera cuando el nivel piezométrico del acuífero desciende una unidad de longitud (o la lámina de agua que hay que adicionar para que el nivel ascienda una unidad de longitud). El coeficiente se determina con pruebas de bombeo que por lo general se realizan en número insuficiente por el alto costo de las mismas.

La suma o integración del producto del abatimiento, por el coeficiente de almacenamiento y por el área de la parte del acuífero con estos datos proporciona el volumen de la sobreexplotación, también denominado “minado” del acuífero.

3.6 Modelación Numérica de Acuíferos.

Un modelo es cualquier dispositivo que represente una aproximación de una situación del campo. Se dividen en:

- a) Modelos físicos: simulan el flujo del agua subterránea de manera directa (por ejemplo, los tanques de arena de los laboratorios)
- b) Modelos matemáticos: simulan el flujo de agua subterránea por medio de la ecuación gobernante que describe las cargas hidráulicas o flujos en los límites de un modelo.

Utilidades de los modelos:

- a) Los datos escasos y la complejidad de la naturaleza requieren de herramientas que nos ayuden a interpretar algún problema.
- b) Los procesos tan lentos del agua subterránea requieren de un poder predictivo.

- c) Sólo se pueden medir las cargas hidráulicas pero a menudo las cantidades de flujo y transporte son de interés.
- d) Se requiere de un gran esfuerzo de interpretación dado que la obtención de información es muy cara.

Modelos Numéricos

Se caracterizan porque no manejan variables continuas, sino que el medio de estudio tiene que discretizarse; es decir se construye un “modelo” y se dan valores de las características geo hidrológicas en cada componente (celda) del modelo, así como en su frontera. Las ecuaciones diferenciales que describen el flujo también se discretizan transformándose en ecuaciones algebraicas que se resuelven numéricamente. Por supuesto que el tiempo también se homologa y la solución (carga hidráulica, gastos, velocidades) se obtiene en forma de valores discretos (matrices en el caso de problemas bidimensionales, que pueden representarse geométricamente como “redes de flujo”, mediante líneas de corriente y equipotenciales) (Palacios Vélez, 2014). Existen varios programas de cómputo, como el MODFLOW, que facilitan enormemente la aplicación de estos métodos. Las principales dificultades o limitaciones de los métodos analíticos es que las características hidrodinámicas (conductividad hidráulica, transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento) que suelen variar fuertemente en el espacio por lo general no se conocen con detalle, o su calidad y confiabilidad son dudosas. Esto en buena parte se debe a que la obtención de tal información es bastante costosa y los funcionarios que tienen que aprobar las erogaciones correspondientes frecuentemente ignoran la relación que existe entre la confiabilidad de los resultados de un modelo y la cantidad y calidad de los datos de entrada.

MODFLOW

Es el código de computación gratuito desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para simular el flujo de agua subterránea, o más exactamente, la evolución de los niveles en las condiciones especificadas: bombeos, ríos, drenes, infiltración de las precipitaciones, etcétera. En su versión original y gratuita, su utilización no es sencilla. En cambio, existen otras versiones que, utilizando el motor de cálculo original, le añaden una interfaz cómoda para el usuario, tanto para introducir las características del modelo como para observar al final los resultados. La más extendida y comercial es Visual Modflow. La figura 3.9 muestra esquemáticamente las principales funciones de Visual Modflow, las que nos ayudan a comprender los comandos del programa.

El software MODFLOW utiliza la ecuación de flujo de agua subterránea. El punto de vista del sistema de flujo no se dirige por la identificación de acuíferos y capas confinantes, sino que se enfoca en la construcción de la distribución tridimensional de las cargas, los parámetros como las conductividades hidráulicas y los almacenamientos en todo el sistema; bajo este punto de vista son posibles las componentes horizontal y vertical a través del sistema y el tratamiento de perfiles en tres dimensiones. Una forma general de las ecuaciones gobernantes es (Anderson & Woessner, 1992):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R \quad (3.11)$$

Dónde:

K_x , K_y y K_z = componentes de la conductividad hidráulica en las direcciones de los ejes coordenados,

S_s = almacenamiento específico;

R = término general de fuentes o sumideros y define lo de entradas o salidas al sistema en unidades de volumen por unidad de tiempo.

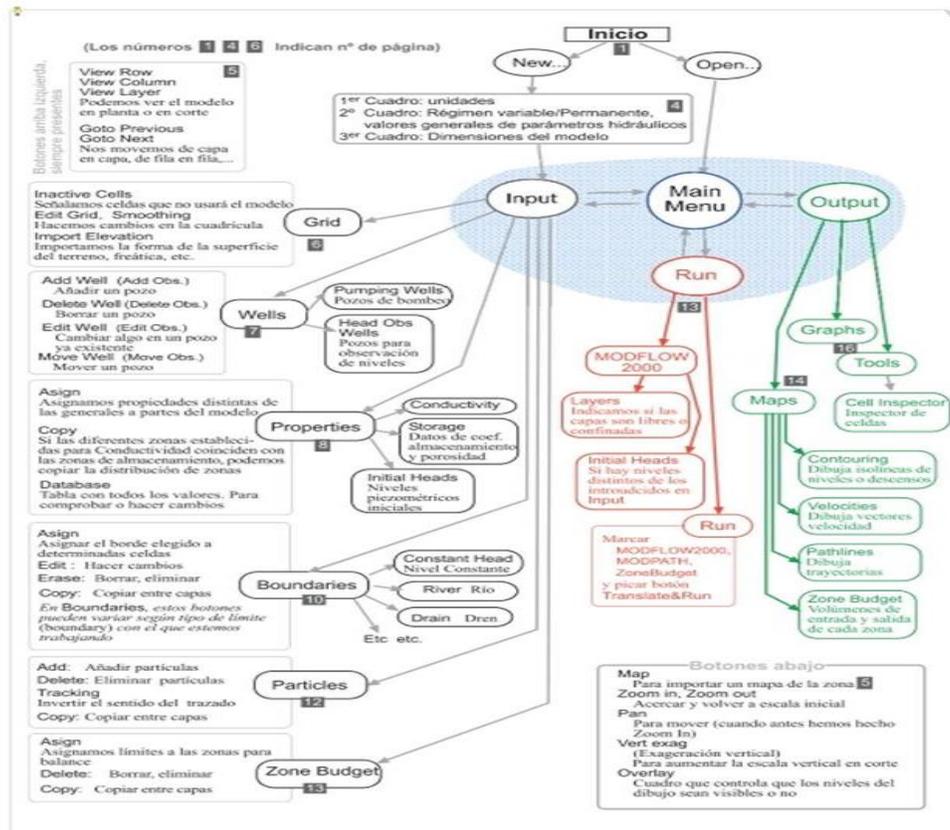


Figura III.6 Manual Visual Modflow

Fuente: (Sánchez, 2006)

3.7 Procedimiento para la modelación de un acuífero.

Se recomienda seguir la siguiente metodología para modelar un acuífero:

1. Definición de la forma (geometría) del área o volumen de estudio y propuesta de discretización (malla, elementos o nodos cuadrangulares o triangulares), así como de parámetros operativos, como tiempo de simulación, intervalo de tiempo, criterios de convergencia, forma de entrada y salida de datos del modelo y de la simulación, etc.
2. Asignación en cada nodo del modelo, mediante diferentes técnicas de interpolación, de las características geohidrológicas: transmisividad o producto de la

- conductividad hidráulica por el espesor de la corriente y del coeficiente de almacenamiento para estudios en régimen no-permanente,
3. Definición de las “condiciones iniciales” del modelo, por ejemplo, asignación de la carga hidráulica o potencial al principio del periodo de simulación que tiene que ser conocido en todos los nodos del modelo,
 4. Definición de las “condiciones (tipos) de frontera” del modelo. Hay tres tipos principales de frontera: a) fronteras de carga conocida (condición de primer género o de Dirichlet), b) fronteras de flujo conocido (valor de la derivada de la carga en dirección normal a la frontera), también llamada condición de segundo género, o condición de Neumann y c) condición mixta en la que se conoce una relación entre la carga y su derivada.
 5. Definición de las acciones que se van a simular, como la extracción de volúmenes dados de agua en cada celda o nodo del modelo, según el número de pozos de bombeo existentes. Por lo general, en la modelación de acuíferos no se pretende modelar los conos individuales de abatimiento de los pozos, sino el efecto combinado de todos los pozos ubicados en cada celda del modelo.
 6. Calibración y validación del modelo como paso previo indispensable antes de iniciar la simulación de escenarios. La calibración es el proceso de hacer los ajustes necesarios al modelo hasta que éste sea capaz de reproducir satisfactoriamente variaciones conocidas de la carga hidráulica. La validación es la reproducción satisfactoria de datos históricos que no hayan sido utilizados en la calibración, lo que da una idea más realista de la capacidad predictiva del modelo.
 7. Simulación de escenario. Una vez calibrado y validado las cargas hidráulicas del modelo, se generaran tres escenarios: a) escenario base, b) escenario pesimista y c) escenario optimista.

3.8 Análisis de calibración.

La calibración de un modelo de flujo se refiere al ajuste que demuestre que el modelo es capaz de reproducir niveles medidos en el campo. La calibración se lleva a cabo encontrando un conjunto de parámetros, condiciones de frontera y caudales de extracción que produzcan cargas hidráulicas cuyos niveles concuerden con los medidos en el campo dentro de un rango de error permisible.

El promedio de las diferencias entre los niveles calculados y los niveles observados es el usado para cuantificar el error promedio en la calibración. El objetivo de la calibración es minimizar este error, llamado criterio de calibración, en el programa existen diversos parámetros estadísticos para expresar la diferencia entre los niveles simulados y calculados los cuales se explican a continuación:

Coefficiente de correlación de Pearson (R^2), describe el grado de alineación entre los valores calculados y los observados, los valores se encuentran entre 0 a 1 y cuando el valor de este parámetro es más cercano a 1 esto significa que se ajusta más el modelo (Legates & Gregory , 1999).

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (h_{obs} - \bar{h}_{obs})(h_{cal} - \bar{h}_{cal})}{[\sum_{i=1}^N (h_{obs} - \bar{h}_{obs})^2]^{1/2} [\sum_{i=1}^N (h_{cal} - \bar{h}_{cal})^2]^{1/2}} \right\}^2 \quad (3.12)$$

Dónde:

h_{obs} = son los valores de carga hidráulica medidos en el campo en metros

\bar{h}_{obs} = es la media aritmética de la carga hidráulica medidos en el campo en metros

h_{cal} = son los valores de carga hidráulica simulados por el modelo en metros

\bar{h}_{cal} = es la media aritmética de la carga hidráulica simulados por el modelo en metros

N = es el número de observaciones

i = i-ésimo termino

El error de la raíz media cuadrática (RMS) es uno de los mejores estimadores del error en la modelación y se expresa como la raíz cuadrada de la media de las diferencias (entre los valores observados y los valores calculados) al cuadrado y se define por la siguiente ecuación (Anderson & Woessner, 1992)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{obs} - h_{cal})_i^2} \quad (3.13)$$

Índice de Asentamiento (Willmott), representa el radio entre la RMS y la suma de los cuadrados de los valores absolutos entre el valor calculado y la media de lo observado (Legates & Gregory, 1999).

$$I_{Willmott} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (h_{obs} - h_{cal})^2}{\sum_{i=1}^N (|h_{cal} - \bar{h}_{obs}| + |h_{obs} - \bar{h}_{obs}|)^2} \quad (3.14)$$

Coefficiente de NASH, es la estadística normalizada que determina la magnitud relativa y la variancia de los residuos comparado con los valores calculados, el valor óptimo es 1.

$$NASH = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i^{obs} - h_i^{cal})^2}{\sum_{i=1}^n (h_i^{obs} - h^{media})^2} \quad (3.15)$$

$$NSE = 1 - NASH \quad (3.16)$$

Porcentaje Parcial PBIAS, es la medida del promedio de la tendencia de los datos calculados, el valor optimo es 0 si el valor da negativo indica una sobreestimación de los datos calculados y si es positivo indica subestimas de los datos calculados (Moriasi, 2007)

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i^{obs} - h_i^{cal}) * 100}{\sum_{i=1}^n (h_i^{obs})} \quad (3.17)$$

RMSE-Observaciones estándar derivadas del radio (RSR), es un común estadístico en cuál es el cociente de la desviación estándar del error y combinada con el índice de error. Donde el valor optimo es 0 donde indica que no hay variación entre el valor calculado y el observado (Moriassi, 2007).

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i^{obs} - h_i^{cal})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i^{obs} - h_i^{medial})^2}} \quad (3.18)$$

Calibración por PEST

Es un algoritmo que viene como un módulo en Visual Modflow por sus siglas en inglés (Non-Linear Parameter ESTimation program (Modelo inverso) el cual funciona con el método Gauss- Marquard – Levenberg y se estima fijando nuevos parámetros basados en las comparaciones previas del resultado del modelo y las observaciones; proporciona información valiosa sobre los valores geo hidrológicos del modelo conceptual y permite hacer juicios con el grado de incertidumbre asociado con las predicciones del modelo (Harbaugh, 2006).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describen los materiales y equipo utilizados (equipo de cómputo, software, etc.) así como la metodología utilizada en el presente estudio, lo cual incluye la descripción de las características de interés de la zona de estudio, y los métodos para cuantificar la sobreexplotación o minado del acuífero Valle de Celaya.

4.1 Metodología para evaluación de la sobreexplotación del acuífero Valle de Celaya

La cuantificación del grado de sobreexplotación de un acuífero se puede deducir del método del *balance hidrológico*, que corresponde a la aplicación del principio de la conservación de la masa o ecuación de continuidad, como la diferencia de las entradas (recarga) menos las salidas (extracciones) en un cierto periodo, generalmente de un periodo de tiempo. Hay un segundo enfoque para evaluar tal sobreexplotación, *como la suma o integración del producto del abatimiento por el coeficiente de almacenamiento y por el área de la parte del acuífero*; proporcionando el volumen de la sobreexplotación, también denominado “minado” del acuífero. Ambas metodologías se explican a detalle en los capítulos 3.4 y 3.5. Y posteriormente con los datos de las recargas y salidas del balance hidrológico se realiza un modelo matemático que pronostica el flujo de agua subterránea a través de tres diferentes escenarios.

4.2 Caracterización física del entorno superficial de la unidad hidrogeológica

4.2.1 Localización del acuífero de Valle de Celaya.

El área de estudio se encuentra localizado en el estado de Guanajuato, el acuífero de Valle de Celaya está localizado dentro de las coordenadas: $-101^{\circ}5'29''$, $-100^{\circ}28'52''$ de longitud y $20^{\circ}20'12''$, $20^{\circ}51'57''$ de latitud. El acuífero tiene un área de 2,811 kilómetros cuadrados. El anexo 8.2, muestra las coordenadas del polígono del acuífero mencionadas en el Diario Oficial de la Federación (CONAGUA, 2009).

El acuífero de Valle de Celaya se puede observar de color verde con límites rojos (Figura 4.1) donde se ubica en la parte Este del estado de Guanajuato, limitando con los acuíferos al norte de San Miguel Allende, y Cuenca de Alto Rio Laja, al Sur con Acámbaro, la Cueva y Salvatierra, al Oeste con Valle de Irapuato y al Este con el estado de Querétaro.

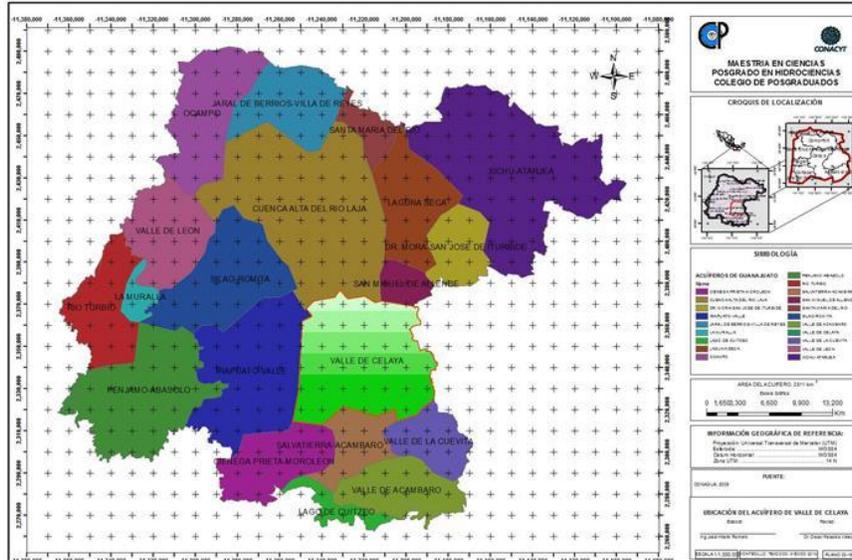


Figura IV.1 Acuíferos del Estado de Guanajuato

Los municipios que se encuentran dentro de nuestra área de estudio son once (Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Salamanca, San Miguel Allende, Tarimoro y Villagrán) como se observa el Figura 4.2

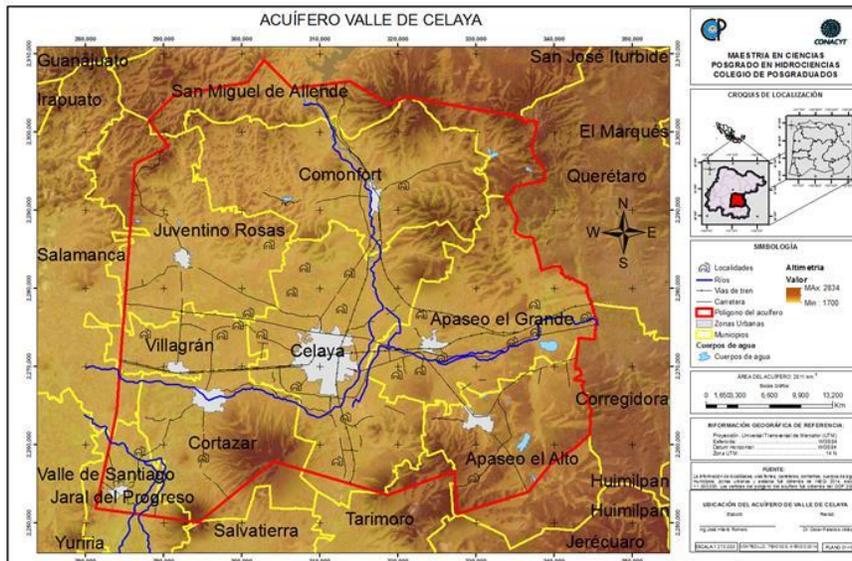


Figura IV.2 Acuífero Valle de Celaya

4.2.2 Geomorfología

La caracterización geomorfológica de una zona consiste en la descripción cualitativa de distintos parámetros morfológicos como son patrones de drenaje, grado de las pendientes, altitudes, perfiles, etc., con lo cual es posible establecer a su vez ciertas características hidrológicas del terreno como son la identificación de zonas de recarga y descarga.

Se identificaron cuatro unidades geomorfológicas principales, las cuales se clasificaron como sigue: la porción de valle o llanura, conjunto de sierras y mesetas de la parte norte, conos volcánicos y conjunto de mesetas y lomeríos (Figura 4.3). Algunas características de estas unidades se describen enseguida.

Valle o llanura (A). La zona del valle se extiende principalmente en las porciones central y occidental del área del acuífero, con algunas entrantes hacia la parte sur de Celaya y hacia el norte en las inmediaciones de Escobedo y Comonfort. Esta porción plana corresponde con la subprovincia fisiográfica denominada Bajío Guanajuatense y está escasamente interrumpida por algunos cerros de poca altura.

Dentro del valle se reconocen diferencias de altitud respecto al nivel del mar en distintas porciones; por ejemplo, en la zona de Obrajuelos se registran curvas de nivel de 1850 msnm, mientras que en el valle de Celaya se tienen alturas de 1700 msnm. El drenaje en general se puede considerar de muy baja densidad, destacando solo algunas corrientes intermitentes como el Río Laja y arroyos asociados que desarrollan formas meándricas en algunas porciones.

Conjunto de Sierras y Mesetas (B). El conjunto de sierras y mesetas se identifica en el sector noroccidental del acuífero y corresponde con el extremo suroriental de la Sierra de Guanajuato. Estas geo formas se caracterizan por estar constituidas por materiales volcánicos que conforman porciones elevadas de perfiles abruptos, pendientes pronunciados y cimas aplanadas en el caso de las mesetas. Aquí los procesos de intemperismo y erosión han generado en muchos casos cañadas angostas y profundas características de un estado de juventud geomorfológica.

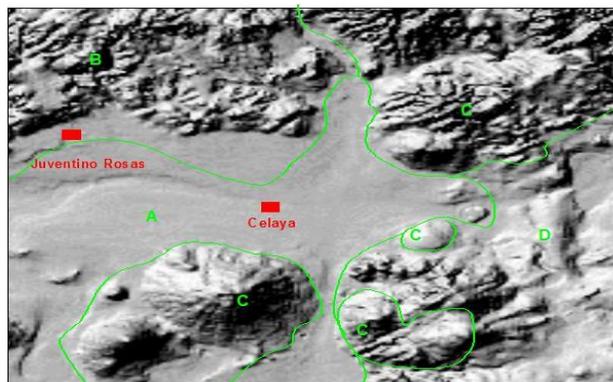


Figura 4.3 Geomorfología Valle de Celaya

Fuente: (Gondwana Exploraciones S. C, 2003)

Las cotas más elevadas en este conjunto morfológico alcanzan 2,250 msnm, aunque las partes altas de las mesetas alcanzan alturas promedio de 2,000 msnm; los desniveles con respecto al valle varían de 300 a 550 m.

Conos volcánicos (C). Estas unidades morfológicas se distribuyen en parte sobre la porción noreste del área del acuífero, donde se distinguen tres unidades volcánicas representadas por los cerros El Picacho, Santa Rosa y El Jocoque. Los cerros El Picacho y Santa Rosa presentan laderas de perfil abrupto debido a las cañadas angostas y profundas que en ellas se desarrollan; las alturas que alcanzan sobre el nivel del mar son 2750 y 2570

m respectivamente, y presentan en planta un patrón de drenaje radial con una distribución que pierde uniformidad debido a lo accidentado de las laderas.

El Cerro El Jocoque y los conos volcánicos de la porción sur están constituidos por materiales de composición básica y se caracterizan por presentar en planta formas circulares mejor definidas que los de la parte norte, además de exhibir laderas de pendientes menos pronunciadas y más suavizadas, típicas de los volcanes en escudo. El Cerro Grande localizado al sur de Celaya es la forma más representativa de este tipo de conos, el cual alcanza una altura de 2560 m sobre el nivel del mar y en cuyas laderas se desarrolla un patrón homogéneo de drenaje radial clásico.

Cabe hacer notar que en general la red fluvial es una expresión del fracturamiento de las rocas, por lo que puede tomarse como un equivalente de los lineamientos. Este es el caso de los conos volcánicos en el área donde la red fluvial se presenta como lineamientos definidos con dirección predominante y en forma abundante, por lo que estos elementos geomorfológicos presentan un alto potencial para funcionar como zona de recarga.

Mesetas y Lomeríos (D). Las mesetas y lomeríos se presentan bordeando a las formas de mayor elevación del área y se distribuyen al sur y sureste del área de estudio, porción correspondiente a la de su provincia fisiográfica denominada Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo.

Las mesetas están conformadas por flujos de lava de composición basáltica en donde las curvas de nivel delimitan en planta formas alargadas de poca elevación, de 100 a 150 m de altura con respecto al valle. En ellas se desarrolla un drenaje poco denso, casi nulo en la cima de las mesetas, tendiente a configurar un patrón dendrítico, pero aún desmembrado.

En el caso de los lomeríos estos desarrollan un drenaje de tipo dendrítico aunque también de baja densidad; estos elementos morfológicos están asociados principalmente con rocas de composición riolítica.

4.2.3 Fisiografía

El acuífero de Valle de Celaya se encuentra entre dos zonas fisiográficas; el eje neo volcánico transversal, donde el volcán más importante de la región es la Gavia y la mesa central, (Figura 4.4). La provincia del Eje neo volcánico se extiende en dirección este-oeste atravesando la República Mexicana. Está caracterizada por predominar en ella derrames basálticos, numerosos volcanes y lagos, cuya morfología, orientación y distribución sugieren estar situados en fosas tectónicas. Dentro de esta provincia fisiográfica, se encuentran lagos formados en depresiones causadas por fallas, así como por el carácter volcánico de la región que propició el cierre de cuencas hidrográficas y la acumulación de aguas superficiales que dieron origen a numerosos lagos. Los más sobresalientes corresponden a Chapala, Cuitzeo. De la misma forma, se encuentran un gran número de depresiones con orientación perpendicular al eje, es decir, norte-sur. Otra característica de esta provincia fisiográfica es la existencia de numerosos aparatos volcánicos que se encuentran desde el oeste como el volcán de Colima, hasta la parte oriental de la provincia, representados por los volcanes Iztaccihuatl, Popocatepetl, Pico de Orizaba, Cofre de Perote y Malinche. Existen otros muchos conos volcánicos que, aún y cuando su extensión es amplia, no alcanzan la magnitud de los mencionados anteriormente. En las cercanías de la zona en estudio se encuentran los conocidos como Cerro Grande, El picacho, Cerro de La

Cruz, Cerro Culiacán y Cerro de La Gavia. Además, la zona de estudio se divide en cinco subregiones fisiográficas: al norte, Sierras y Llanuras del norte de Guanajuato, en el centro, el Bajío, al sur, Sierras y Llanos de Guanajuato y Michoacán y al este, Sierras y Llanos de Querétaro e Hidalgo.

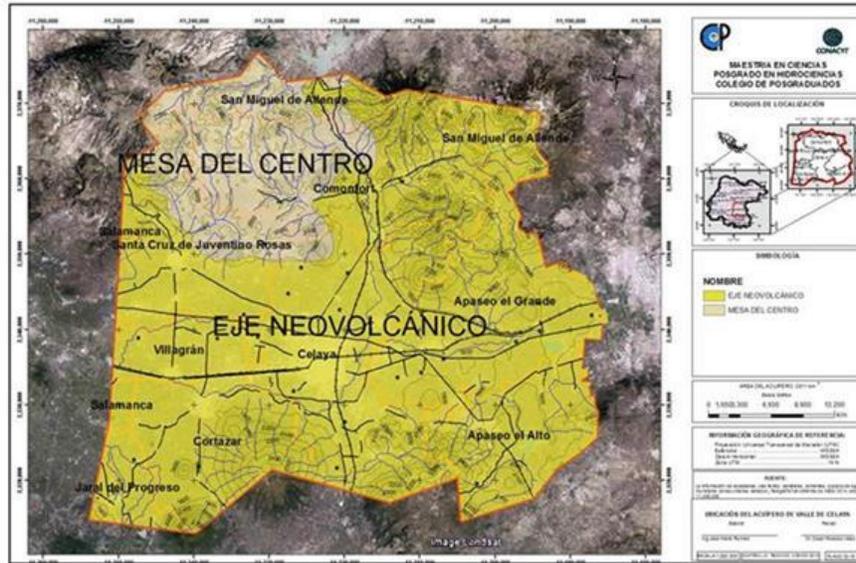


Figura 4.4 Fisiografía del acuífero

4.2.4 Suelos

Dentro del acuífero tenemos una gran variedad de suelos y la figura 4.5 muestra la ubicación de cada uno de ellos. A continuación se describe cada tipo de suelo:

REGOSOLES. Del griego reghos: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos poco desarrollados, sin estructura y de textura variable, muy parecidos a la roca madre. Suelos sueltos como dunas, playas, cenizas volcánicas (FAO, 2008).

VERTISOLES. Del latín vertere, voltear. Suelos muy arcillosos; en época de secas tienen grietas muy visibles a menos de 50 cm de profundidad, siempre y cuando no haya riego artificial por lo cual se considera que son suelos muy fértiles y admiten variedades de cultivos, rinden buenas cosechas, se utilizan para la producción de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización (INEGI, 2012).

ACRISOLES. Del latín acris: agrio, ácido; y solum: suelo. Suelos ácidos de climas húmedos, con un subsuelo arcilloso y pobre en general. Suelos propios para explotación forestal. Suelos pobres en nutrientes, pueden dedicarse a explotaciones agropecuarias o agrícolas con elevados costos de fertilización y encalado. Son impermeables.

CHERNOZEMS. Del ruso cherno: negro; y zemljá: tierra. Suelos negros de climas semisecos. La única diferencia con los Castañozems es su color superficial más oscuro. Ricos en materia orgánica y nutriente. (SEMANART, 2001)

Los PHAEOZEM (del griego phaios, oscuro) también se forman sobre material no consolidado. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. Son suelos oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que son muy utilizados en agricultura de temporal; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes. Se utilizan intensamente para la producción de granos (soya, trigo y cebada, por ejemplo) y hortalizas, y como zonas de agostadero cuando están cubiertos por pastos (INEGI, 2012).

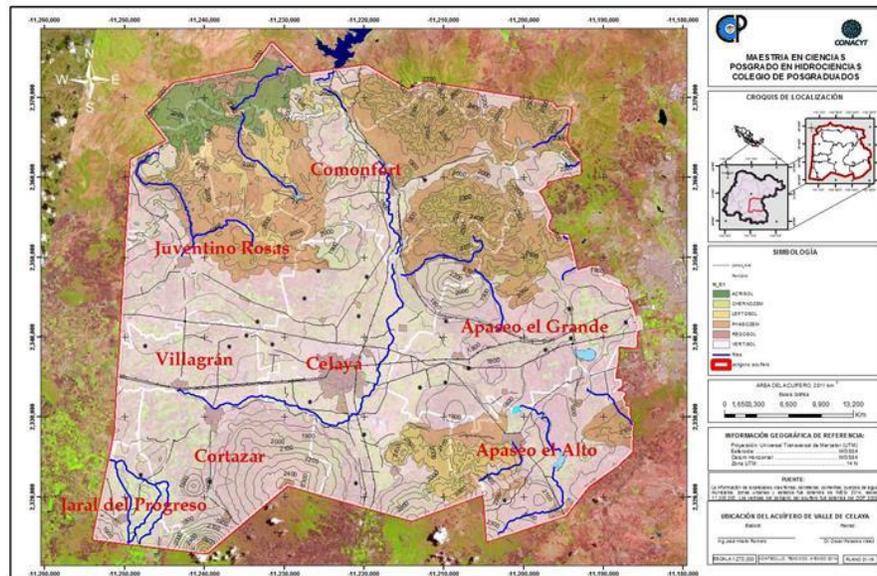


Figura 4.5 Tipo de Suelos

4.2.5 Hidrografía

El acuífero de Celaya está dentro de la Región Hidrológica Lerma-Santiago y en la porción sur de la Cuenca del Río La Laja, la cual representa el 33% de la superficie estatal, haciéndola de esta forma la cuenca más grande dentro del estado de Guanajuato, así mismo esta cuenca cubre la mayor parte del área ya que el extremo suroeste corresponde a la Cuenca del Río Lerma-Salamanca (Figura 4.6)

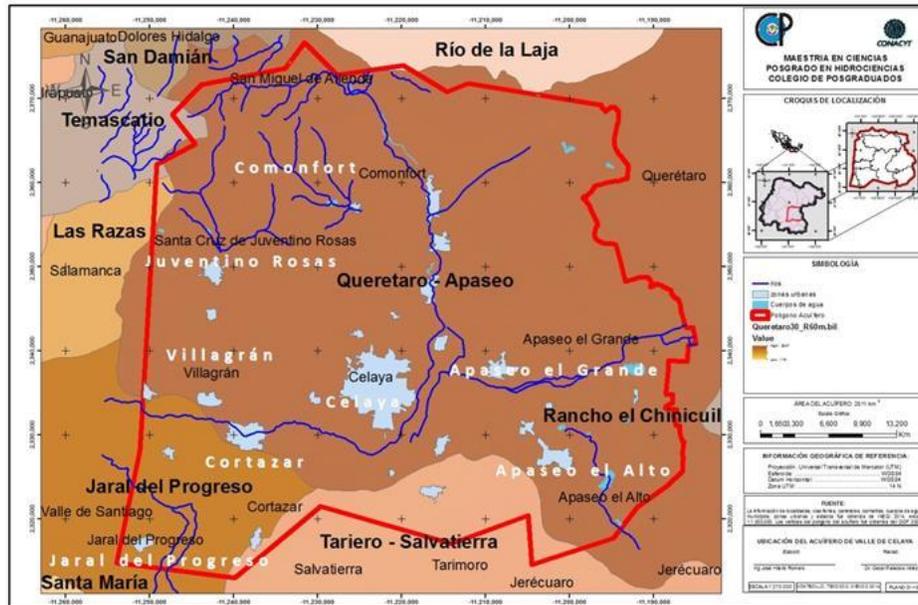


Figura 4.6 Hidrografía Acuífero Valle de Celaya

Hidrología Superficial

A continuación se detallan las micro cuencas que conforman el Acuífero Valle de Celaya: (CONAGUA, 2014)

Cuenca Río La Laja 1, comprendida desde el origen del Río la Laja hasta donde se localiza la presa Ignacio Allende La Begoña. Tiene una superficie de aportación de 4,981 kilómetros cuadrados, y geográficamente se ubica en el centro del país, dentro del cuadro de coordenadas 20° 45 y 21° 40 latitud Norte y 100° 15 y 101° 30 longitud Oeste.

El Río La Laja tiene su origen en el del cerro de San Juan con el nombre de Río del Nuevo Valle de Moreno y hasta donde cruza con la estación del ferrocarril Obregón, Guanajuato, cambia su nombre al de Río La Laja. Entre los aportadores principales hasta donde se ubica la presa Ignacio Allende, tenemos al Río de la R y los arroyos San Damián, Cochinchis y González.

Cuenca Río Querétaro, comprendida desde el origen del Río Querétaro hasta donde se localiza la Estación Hidrométrica Ameche. Tiene una superficie de aportación de 2,255 kilómetros cuadrados, y geográficamente se ubica en el centro del país, dentro del cuadro de coordenadas 20° 15 y 21° 00 latitud Norte y 100° 05 y 100° 40 longitud Oeste.

El Río Querétaro se origina en el Cerro del Astillero, en el Estado del mismo nombre, que fluye en dirección Oeste y hasta donde se localiza la Estación Hidrométrica Ameche tiene como principales aportadores al Río El Pueblito y al Arroyo Jurica.

Cuenca Río La Laja 2, comprendida desde la presa Ignacio Allende y la Estación Hidrométrica Ameche hasta donde se localiza la Estación Hidrométrica Pericos. Tiene una superficie de aportación de 2,415 kilómetros cuadrados, y geográficamente se ubica en el centro del país, dentro del cuadro de coordenadas 20° 15 y 20° 55 latitud Norte y 100° 15 y 101° 10 longitud Oeste.

En esta cuenca el principal aportador al Río La Laja hasta la Estación Hidrométrica Pericos, es el Río Apaseo, el cual es formado por la unión de los ríos Querétaro y El Pueblito.

Aprovechamientos de aguas subterráneas

El acuífero de Valle de Celaya, es uno de los acuíferos que tienen un número importante de aprovechamientos a nivel nacional, como se puede observar en la Figura 4.7 parece un gran queso perforado por 3044 aprovechamientos.

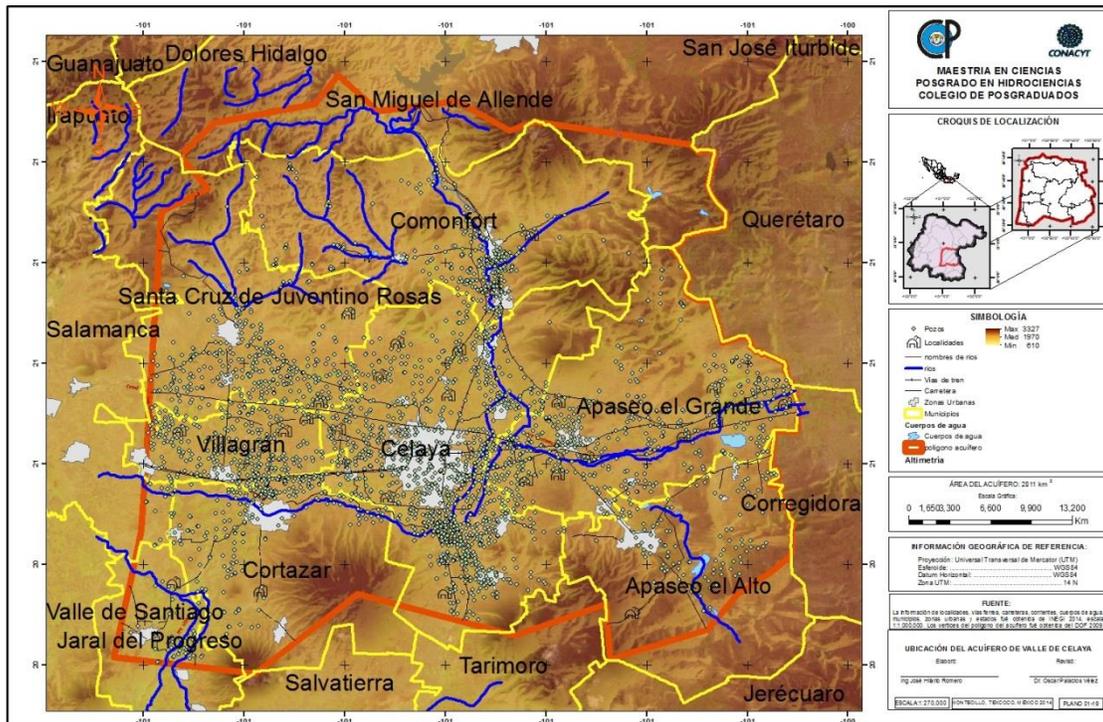


Figura 4.7 Aprovechamientos Censo 1999-2000

En 2013, CONAGUA realizó un censo de aprovechamientos subterráneos donde se existen 4250 aprovechamientos de los cuales el 93.12 % son pozos, el 2.98% manantiales y 3.88% es noria, donde se estima que hay 1200 aprovechamientos clandestinos o que están en trámite de Título de Concesión de Aguas Subterráneas, pero a este censo le falta mucha información, como coordenadas de aprovechamientos y volúmenes de extracción, por lo que se tuvo que rechazar. Para fines de esta tesis se utilizará el censo de 1999-2000 de Valle de Celaya y de Apaseos actualizados con los trabajos de la empresa (Gondwana Exploraciones S. C, 2003) “Cuantificación de la Extracción del Agua Subterránea en el Valle de Celaya, Gto. Aplicando Técnicas de Percepción Remota” con el número de contrato SGT-LSP-GTO-081-CE-13. De los 3044 aprovechamientos del censo 1999-2000 solo están activos 2376 aprovechamientos, 589 están inactivos y 79 están inactivos temporalmente, en la tabla 4.1 se muestra la distribución de aprovechamientos por tipo:

Tabla IV.1 Actualización de Censos de Celaya y Apaseos 2003

SITUACIÓN	TIPO DE APROVECHAMIENTO			
	MANANTIAL	NORIA	POZO	TOTAL
ACTIVO	78	48	2250	2376
INACTIVO	2	10	577	589
INACTIVO TEMPORAL			79	79
TOTAL	80	58	2906	3044

Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA

De acuerdo a (CONAGUA, 2013) los **derechos de títulos** de explotación de agua subterránea para el acuífero Valle de Celaya es de **382 millones de metros cúbicos** de acuerdo a la tabla 4.2, lo cual indica que hay un alto grado de pozos clandestinos y/o que se está bombeando diariamente más agua al volumen autorizado por CONAGUA.

Tabla IV.2 Volúmenes de Agua Concesionada para el Valle de Celaya por CONAGUA, 2011

MUNICIPIO	AGRÍCOLA	AGROINDUSTRIAL	DOMESTICO	INDUSTRIAL	MÚLTIPLE	PECUARIO	PÚBLICO URBANO	SERVICIOS	TOTAL	PORCENTAJE
APASEO EL ALTO	18.71	0.00	0.001	0.002	0.57	0.00	4.47	0.00	23.76	0.0621
APASEO EL GRANDE	50.52	0.21	0.001	0.588	2.75	57.89	5.31	0.48	59.95	0.1567
CELAYA	76.83	0.00	0.001	8.56	1.27	74.33	50.24	1.08	138.09	0.3610
COMONFORT	17.42	0.00	0.001	0.000	0.45	32.32	2.21	0.06	20.2	0.0528
CORTÁZAR	31.66	0.00	0.005	0.374	0.28	0.051	4.31	0.009	36.7	0.0959
SALAMANCA	1.89	0.00	0.000	0.000	0.0	0.00	0.15	0.00	2.05	0.0054
SAN MIGUEL DE ALLENDE	0.54	0.00	0.001	0.000	0.36	0.00	0.14	0.00	1.04	0.0027
JUVENTINO ROSAS	40.2	0.36	0.016	0.15	0.19	0.12	4.76	0.00	45.81	0.1198
TARIMORO	0.31	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.0008
VILLAGRÁN	44.88	0.00	0.017	3.35	0.77	0.01	1.54	0.25	50.84	0.1329
JARAL DEL PROGRESO	3.7	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	3.7	0.0097
Total	286.71	0.57	0.095	13.03	6.66	0.35	73.18	1.89	382.51	1.0000
Porcentaje	0.7496	0.0015	0.0002	0.0341	0.0174	0.0009	0.1913	0.005	1	

Fuente: Registro Público de Derechos de Agua, CONAGUA, 2011

4.2.6 Geología

Estratificación

Considerando que la sucesión estratigráfica, de las rocas que se encuentran expuestas en la zona estudiada corresponde con diferentes dominios geológicos (Figura 4.8), su descripción se realizará atendiendo al ambiente geológico al que pertenecen y en un orden cronológico (Montgomery, 2006).

Bajo este contexto, se iniciará con las rocas más antiguas que conforman el extremo suroriental de la Sierra de Guanajuato, sucediéndole el conjunto de rocas volcánicas derivadas de la actividad de la Sierra Madre Occidental (SMO), para finalizar con las rocas derivadas de la actividad de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT).

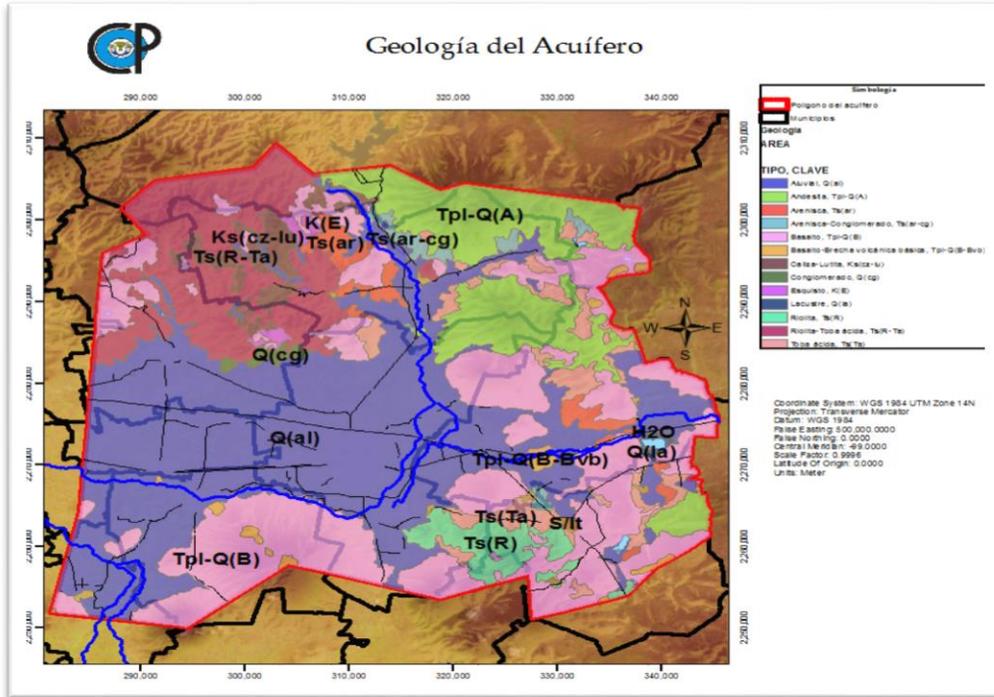


Figura 4.8 Estratificación Geológica

Conjunto litológico de la Sierra de Guanajuato

Dentro de estas rocas se incluyen a las unidades *Kip*, *E* y *Kcsg*, las cuales se caracterizan por mostrar una marcada foliación. Estas rocas tienden a presentar un metamorfismo regional de bajo grado, de facies esquistos verdes y tienen como protolitos a rocas sedimentarias de ambientes profundos y flujos de lavas andesíticas derivadas de un vulcanismo de arco. Se encuentran distribuidas de manera aislada hacia el sector noroccidental del área de estudio. Dentro de las diferentes unidades que conforman este complejo metamórfico, se encuentra la formación Esperanza, se compone por una serie de cuerpos masivos de filitas y en menor proporción areniscas y pizarras. En conjunto, estos materiales muestran una foliación bien desarrollada, son de color gris, gris verdoso y negro, que intemperiza en tonalidades amarillentas y amarillo verdosas, presentan una marcada laminación y un aplanamiento en sus componentes granulares. El fracturamiento y el fallamiento tienden a ser estructuras comunmente observadas en los afloramientos.

Se estima un espesor superior a los 1,500 m. La edad asignada de Jurásico Tardío-Cretácico Temprano a partir de la microfaua determinada en rocas de la Formación Esperanza fue a partir de la presencia de radiolarios y nannoplancton. Se encuentran subyaciendo mediante una discordancia angular y petrológica a las rocas volcánicas derivadas de la Sierra Madre Occidental.

Secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental (SMO)

Las rocas asociadas con esta provincia geológica se distribuyen en el extremo noroccidental del área de estudio. En el plano geológico comprende la unidad litológica *Tvr*.

Litológicamente, esta secuencia volcánica está conformada por una serie volcánica explosiva compuesta por una serie de domos de composición riolítica, la extensión del Supergrupo Volcánico Superior de la SMO. Las riolitas presentan una estructura de flujo característica, son de color rosa, que intemperiza en el mismo color con tonalidades amarillentas y anaranjadas, son bastante compactas y tienden a manifestar un fracturamiento conjugado, bajo la lupa muestran una textura afanítica con algunos fenocristales de cuarzo y feldespatos.

El espesor estimado para esta secuencia de materiales volcánicos varía de unos 150 a 200 m en la zona de Silao, hasta más de 1000 m en el Misterio del Chorro y Sierra de Pénjamo.

Secuencia volcánica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT)

Los productos litológicos de esta gran provincia geológica y fisiográfica comprenden la parte meridional y nororiental del área de estudio. Corresponden con las unidades *Tmb*, *Tmpr*, *Tmv*, *Tmo*, *Tsa*, *Tom*, *Tpl-Q* (*B-Bvb*).

La variedad litológica, así como la diversidad de las geoformas que configuran los aparatos volcánicos de composición predominantemente básica y en menor proporción intermedia y ácida, le imprimen un paisaje impresionante a esta provincia volcánica. Las primeras manifestaciones del vulcanismo de la FVT, se encuentran en el extremo NE del área y al sur de la Sierra de Guanajuato, en donde los productos volcánicos de composición básica e intermedia configuraron los estratovolcanes San Pedro, Palo Huérfano y La Joya, así como los aparatos menores y los derrames localizados al sur de la Sierra de Guanajuato. Las rocas presentan un grado de fracturamiento de moderado a intenso, este último en zonas de falla. La edad de estas rocas varía de 12 a 9.9 Ma.

La sucesión del vulcanismo se manifiesta con los derrames de basalto que conforman una serie de mesetas en la parte oriental del área, en donde son denominados como Basaltos Querétaro cuya edad varía de 7.5 a 5.6 Ma.

La migración del vulcanismo en el Plioceno Temprano (entre 5 y 3.8 Ma), hacia el sur manifiesta variaciones en su composición de intermedia a félsica, lo cual se expone a través del emplazamiento de domos riolíticos al SW de Apaseo El Alto, así como cuerpos de ignimbritas asociados con actividad de la caldera de Amealco. Estas rocas tienden a intercalarse con flujos de piroclastos compuestos exclusivamente por pómez.

Finalmente la expansión de los centros volcánicos se desarrolla de manera intensa en el sector meridional del área de estudio en donde constituyen parcialmente el Campo Volcánico Guanajuato-Michoacán. Estos centros de emisión consisten de volcanes monogénicos, conos cineríticos, conos de lava compuestos. Su diversidad litológica varía desde flujos de lava, flujos de piroclastos, brechas de colapso, depósitos de caída y flujos de escombros

Su composición varía de básica a intermedia, se encuentran afectados por un patrón de fallas con una tendencia noreste, los cuales producen familias de fracturas en varias direcciones; tienen un rango de edad que varía del Plioceno Tardío al Holoceno. El espesor de la secuencia volcánica es muy variable, dado que este será menor en zonas distantes a los centros de emisión, siendo estas zonas donde su potencia alcanza dimensiones considerables.

DEPÓSITOS LACUSTRES

La presencia de este tipo de materiales sedimentarios de origen lacustre se manifiesta hacia el extremo nororiental del área de estudio. Estos sedimentos presentan un color blanco-grisáceo y amarillento, se disponen en estratos medios a delgados y ocasionalmente gruesos (fracción arenosa) y se encuentran sobreyaciendo a los cuerpos de basaltos del Mioceno Tardío. Se considera que su espesor no excede los 100 m y en base a su posición estratigráfica se considera que su edad es Plioceno.

DEPÓSITOS RECIENTES

Las rocas de las diferentes provincias geológicas descritas, se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos recientes los cuales se acumulan en las zonas topográficamente bajas, como abanicos aluviales, terrazas, o bien sobre los cauces de arroyos y ríos, así como en la base de las sierras y cerros.

Su litología es diversa, ya que los depósitos de acarreo están constituidos por lo general de fragmentos redondeados y subredondeados de todos tamaños que van desde arcillas hasta bloques de varios decímetros de diámetro, en tanto que los taludes están compuestos por gravas, bloques y material areno-arcilloso, con una estructura masiva y con un grado incipiente de compactación; en la zonas de terrazas la sedimentación consiste de sedimentos clásticos de todos tamaños, grado de redondez es muy diverso, esporádicamente presentan compactación, estratificación burda y comúnmente muestran una estructura masiva. Se considera que los espesores de estas unidades varían de 50 hasta más de 200 m, ocurriendo el máximo espesor hacia la zona del valle.

Lineamientos

Los lineamientos son estructuras geológicas que definen una trayectoria de bloques de masa y modifican los patrones de flujo de agua subterránea. Dentro de la zona de estudio se presentan varios lineamientos mostrados en la Figura 4.9 (GEOPE SA DE CV, 1980):

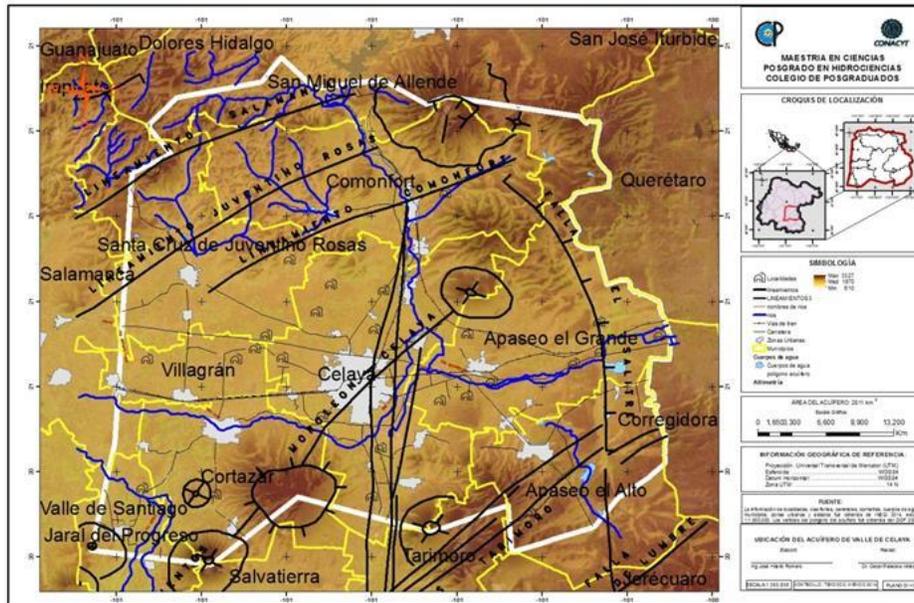


Figura 4.9 Lineamientos Geológicos

4.2.7 Hidrogeología

Unidades hidrogeológicas

Las características petrofísicas de los tres conjuntos litológicos; Sierra de Guanajuato, Serie Volcánica de la Sierra Madre Occidental (SMO) y la Serie Volcánica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), permitieron establecer la clasificación de las siguientes unidades hidrogeológicas y su asociación con las unidades geológicas (Tabla 4.3).

Tabla IV.3 Unidades Hidrogeológicas

Unidad Hidrogeológica	Unidad Geológica
I	Depósitos granulares del Reciente
II	Depósitos lacustres del Plioceno
III	Flujos de piroclastos, depósitos de caída (tobas), conos cineríticos y volcanoclásticos de las series volcánicas de la SMO y FVT
IV	Ignimbritas
V	Flujos de lava basálticas
VI	Domos riolíticos, conos y escudos y estratovolcanes volcánicos andesítico-basálticos.
VII	Secuencia volcanosedimentaria con metamorfismo regional de bajo grado

Fuente: (GEOPE SA DE CV, 1980)

4.2.8 Tipo de acuífero

Dentro del área de estudio, los tipos de acuíferos existentes son el libre heterogéneo en materiales granulares y volcanoclásticos, los cuales en algunos sectores pueden estar semiconfinados por cuerpos arcillosos, o bien flujos de lava. Por otra parte, el acuífero en el medio fracturado se considera confinado, dado que las fracturas no se encuentran

totalmente abiertas en superficie, estando selladas por precipitación de calcita, o bien por sedimentos lacustres.

Definición del Sistema Acuífero.

La distribución de la secuencia de materiales granulares que constituyen el medio poroso, asociadas con las rocas volcánicas del medio fracturado y el patrón de fallas regionales, integran el sistema que controla el movimiento del agua subterránea en la zona de estudio. La existencia de varios lineamientos que atraviesan el área, juegan un papel importante en el potencial acuífero dentro del medio fracturado, en donde estas estructuras se comportarían como conductos, o bien barrera-conducto para captar y transmitir flujos en sentido paralelo a su traza.

Asimismo, se considera que los medios poroso y fracturado, forman parte de un sistema acuífero heterogéneo, en donde el movimiento del agua subterránea se encuentra fuertemente influenciado por la geología estructural del área, así como del tipo de sistema de flujo al que se encuentre integrado. El acuífero es heterogéneo debido a que incluye sedimentos y material litológico diverso, tanto en el sentido vertical como horizontal.

Los límites del acuífero Valle de Celaya se han modificado a través del tiempo por dar respuesta a una administración eficiente del recurso de aguas del subsuelo. La ley de aguas naciones define los límites del acuífero convencionalmente para evaluación, manejo y administración del agua subterránea. Ya que definir las fronteras de un acuífero se presenta una serie de dificultades por lo que han contribuido a que se terminó se defina más por fronteras políticas que otro tipo hidráulico o geológico.

4.2.9 Clima

Por definición, el clima es un conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera de un lugar determinado de la superficie de la Tierra. Los elementos que evalúa el clima son: la presión atmosférica, vientos, temperatura y humedad (vapor de agua, nubes, precipitación y evaporación). (Lovato Sánchez, 2009)

El clima resulta ser un factor importante para evaluar dentro del funcionamiento hidrológico, ya que determina parámetros como la infiltración, escurrimiento y evaporación.

Con base en la clasificación y distribución de climas reportado por el INEGI en el Anuario Estadístico del Estado de Guanajuato (2010) y Síntesis Geográfica de Guanajuato se identifican cuatro diferentes tipos de clima (Tabla 4.4):

Tabla IV.4 Climas de Acuífero

Clima	Ubicación	Precipitación (mm)	Temperatura(°C)
AC w0	Juventino Rosas, Cortázar y Villagrán parte oeste del acuífero	700-800	18-20
C (w1)	La Gavia, sur del acuífero y partes altas	700-800	16-18
BS 1hw	Desde Villagrán, Celaya y Apaseo el Grande y Alto (la parte central del acuífero)	400-500	16-18
C (w0)	Comonfort parte noroeste del acuífero	700-800	16-18

Fuente: INEGI, 2014

El clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano (**AC w0**), se identifica en la parte Noroeste del área y bordeando las partes bajas del Cerro Grande. Este tipo de clima es el más cálido de los que se presentan en el estado; se caracteriza por sus rangos de temperatura que oscilan entre los 18° y los 20°C y precipitación media anual de 700 a 800 mm. Se encuentra asociado con vegetación de matorrales subtropicales, chaparral y pastos, llega a presentar periodos de sequía.

El clima templado subhúmedo **C (w0)**, se identifica en la parte noroeste y se caracteriza por ser mesotérmico, es decir, intermedio en cuanto a temperatura. Su rango de precipitación media anual oscila entre los 700 y 800 mm. La vegetación que se desarrolla en este tipo de climas es: bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino, chaparral y pastos. Se presenta en las partes topográficamente altas.

El tipo de clima semiseco semicálido (**BS 1hw**), abarca la mayor parte del área del Acuífero de Celaya, extendiéndose de Este a Oeste (desde Villagrán hasta La Norita) y centro septentrional (Celaya, Roque). Se le conoce también como clima seco estepario y se caracteriza porque en él la evaporación excede a la precipitación, cuyo rango varía entre 600 y 700 mm. Este tipo de clima se encuentra asociado a una vegetación del tipo matorral desértico, como nopaleras, cardonal, lechuguilla, maguey, etc

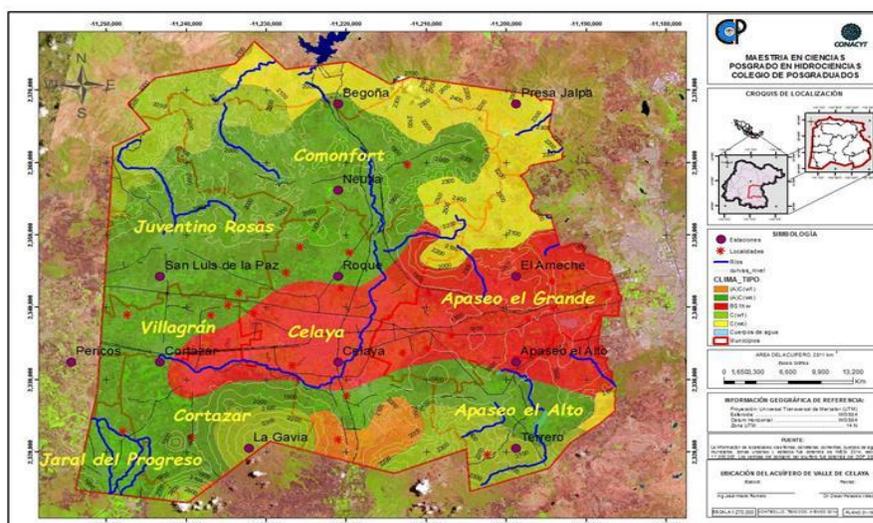


Figura 4.10 Climas de Acuífero de Valle de Celaya

Estaciones Climáticas

En la siguiente tabla se muestran las 23 estaciones que están dentro y fuera del acuífero que fueron tomadas en cuenta para las variables climáticas de precipitación y temperatura media histórica del año 1983 a 2013. Los datos se obtuvieron de distintas bases climáticas como el Erick III, CLICOM y CONAGUA. La tabla 4.5 muestra la ubicación y datos climáticos de Precipitación y temperatura media de las estaciones seleccionadas.

Tabla IV.5 Estaciones Climáticas dentro y fuera del Acuífero

Clave	Longitud	Latitud	Elevación	Nombre	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
11005	-100.70	20.50	1778	Apaseo el Grande	643.41	19.24
11006	-100.60	20.50	1879	Apaseo el Alto	657.85	19.57
11009	-100.80	20.50	1761	Celaya	607.47	19.86
11011	-100.90	21.00	2062	Cinco Señores	628.26	17.79
11012	-100.40	20.20	2271	Coroneo	610.14	16.74
11013	-101.00	20.50	1730	Cortázar	626.88	19.65
11022	-100.60	20.40	2039	Terrero	671.12	17.72
11033	-100.80	20.80	1850	Begoña	589.68	18.00
11041	-101.30	20.70	1767	Los Razos	576.71	20.11
11048	-100.80	20.70	1838	Neutla	571.39	18.48
11052	-101.10	20.50	1718	Pericos	603.24	18.47
11072	-101.10	20.30	1729	Santa Rita	683.75	18.84
11075	-100.80	20.30	1786	Soledad Nueva	468.89	17.53
11100	-100.80	20.60	1722	Roque	553.00	18.52
11105	-100.60	20.60	1780	El Ameche	586.46	18.18
11122	-100.60	20.80	1992	Presa Jalpa	616.63	17.45
11145	-100.90	20.40	2342	La Gavia	618.02	17.70
11150	-101.30	20.70	1775	San José el Alto	590.20	17.34
22004	-100.40	20.50	1895	El Batan	440.40	17.59
11136	-101	20.7	1829	La Joyita	653.62	14.54
11007	-101.20	21.00	1900	Calderones	696.50	13.11
11066	-100.40	21.00	1870	San José Iturbide	519.10	10.98
11085	-101.05	20.83	2200	Los Arroyos, SMA	676.70	12.13

Fuente: Información climática de: CONAGUA, CLICOM y ERICK III

En el Anexo III se muestran los datos mensuales y anuales de precipitación y temperatura por estación. Los datos faltantes se calcularon con el programa PALMER. (Crespo Pichardo, 2005)

Temperatura

La temperatura promedio histórica de 1983 a 2013 es de 18.30 °C donde el año 1992 se presentó el año más frío y en 1995 el más caluroso como se ve en la figura 4.11

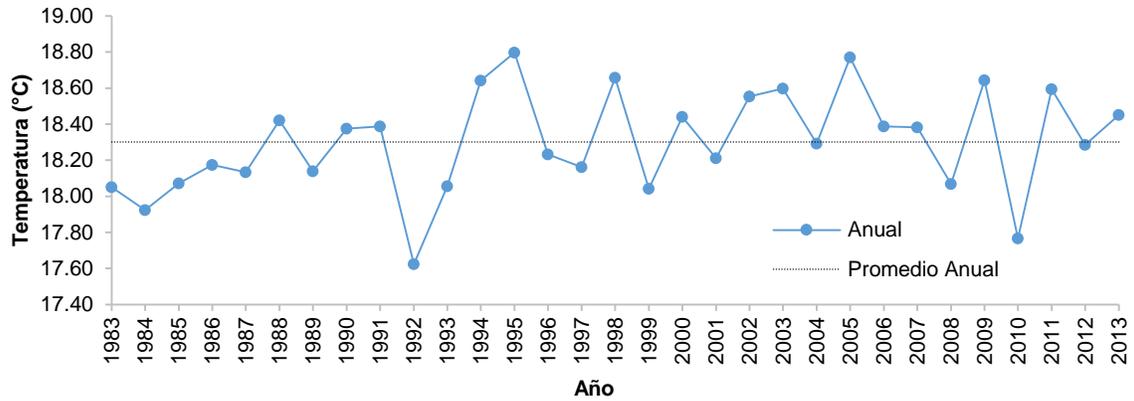


Figura 4.11 Temperatura Histórica

El promedio mensual nos muestra que los meses de abril-agosto son donde se presenta mayor temperatura y en octubre a febrero son los meses de invierno. Figura 4.12.

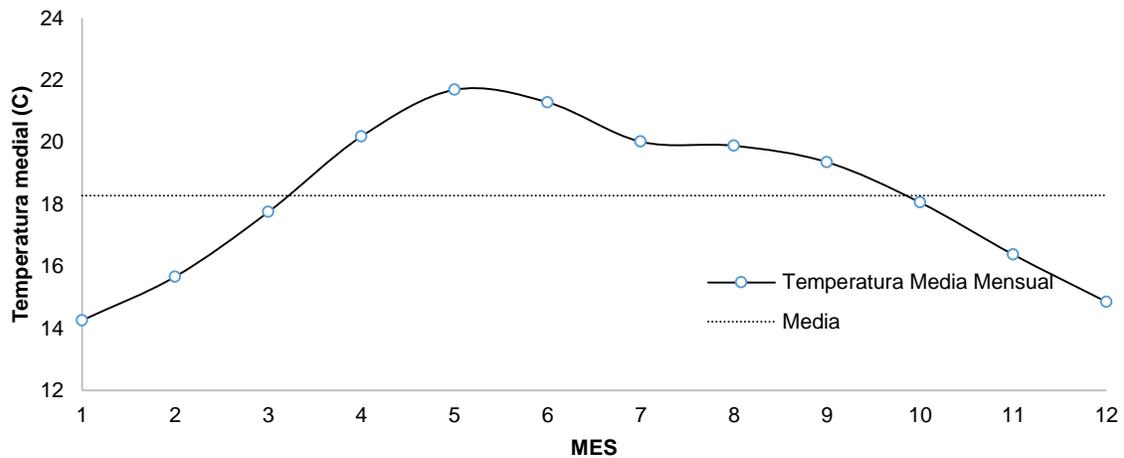


Figura IV.3 Temperatura mensual promedio histórica 1983 a 2013

En la figura 4.13 presenta las isotermas, donde muestra que en la parte central del acuífero muestra la mayor temperatura de 19°C y disminuye hacia el noroeste en el municipio de Juventino Rosas con 14°C. Las isotermas posteriormente nos ayudaran a calcular la evapotranspiración del acuífero.

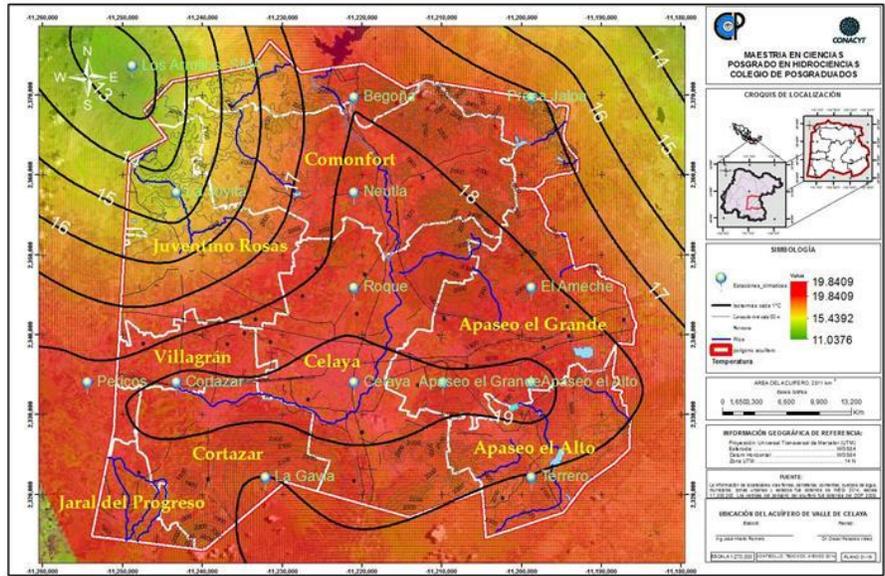


Figura IV.4 Isotermas del acuífero Valle de Celaya

Precipitación

El promedio histórico de precipitación de 1983 al 2013 (Figura 4.14) nos da una magnitud de 613 mm en promedio anual (por el método de promedios) donde el año 2003 fue la precipitación máxima de 855.59 mm que provocó el desborde del río Laja.

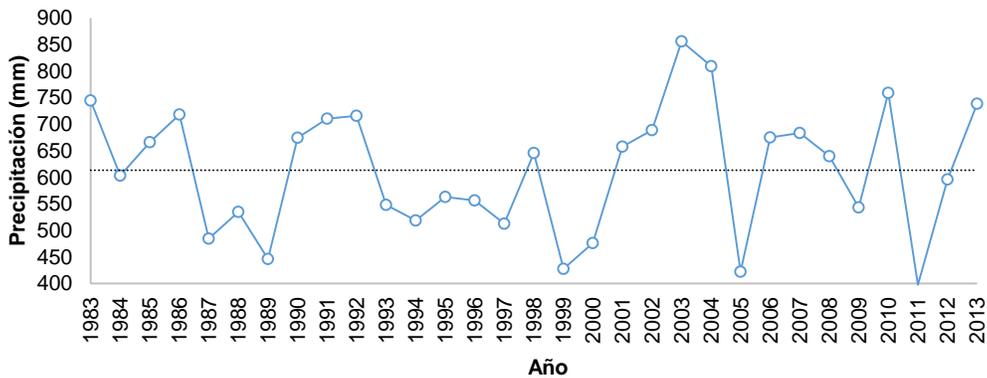


Figura IV.5 Precipitación promedio anual

La precipitación mensual (Figura 4.15) en promedio es de 50.98 mm donde de noviembre a mayo son los meses de estiaje, mayo a octubre son los meses de lluvia donde julio es el mes que presenta la mayor parte de las lluvias.

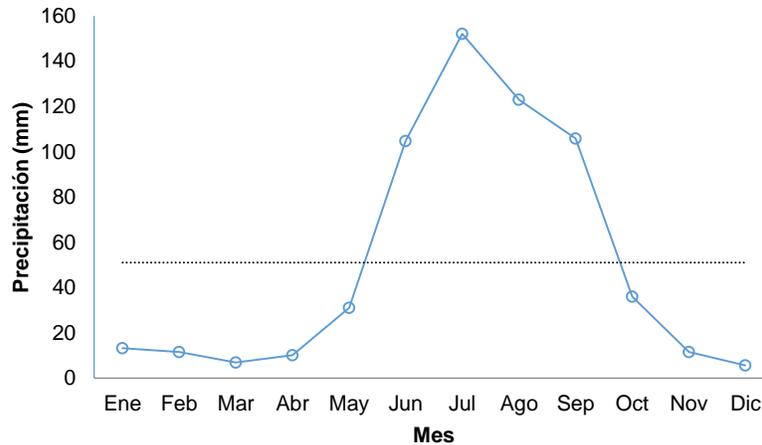


Figura IV.6 Precipitación promedio mensual

La interpolación de las 23 estaciones climatológicas ubicadas dentro y fuera del área de estudio por el método de vecino natural del módulo de ArcMap (Figura 4.16). La precipitación por el método de isoyetas es de **612 mm**. El volumen precipitado dentro del acuífero es igual al área del acuífero (2811 km²) por la lámina de precipitación (0.612 m) de **1,720.33 millones de metros cúbicos** a este volumen, con una lámina donde hay que restar la evotranspiración y el escurrimiento para ver el volumen infiltrado al suelo.

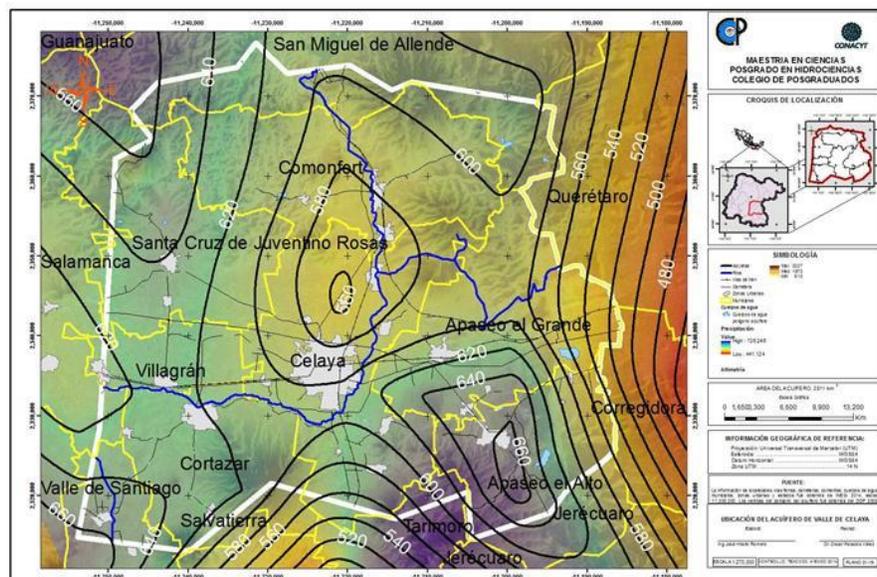


Figura IV.7 Isoyetas del acuífero Valle de Celaya

Es importante mencionar que para verificar la calidad de los datos, se realizaron dos pruebas (Ortiz Solorio, 1987): la de asimetría evaluada mediante el Índice de Asimetría, obteniéndose como resultado 4.3 % (ligera asimetría a la derecha), lo cual da un margen de seguridad bastante aceptable y la de homogeneidad de los registros mediante el método de Sved Eisenhart, cuyos resultados demuestran que la serie de datos es homogénea (ver Anexo IV). La precipitación se ajustó bien a las distribuciones de probabilidades del tipo

Normal, Log-Normal y Gama-Incompleta (Figura 4.17), de acuerdo a las dos pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov y Smirnov) realizadas y cuyos cálculos se presentan en el Anexo V.

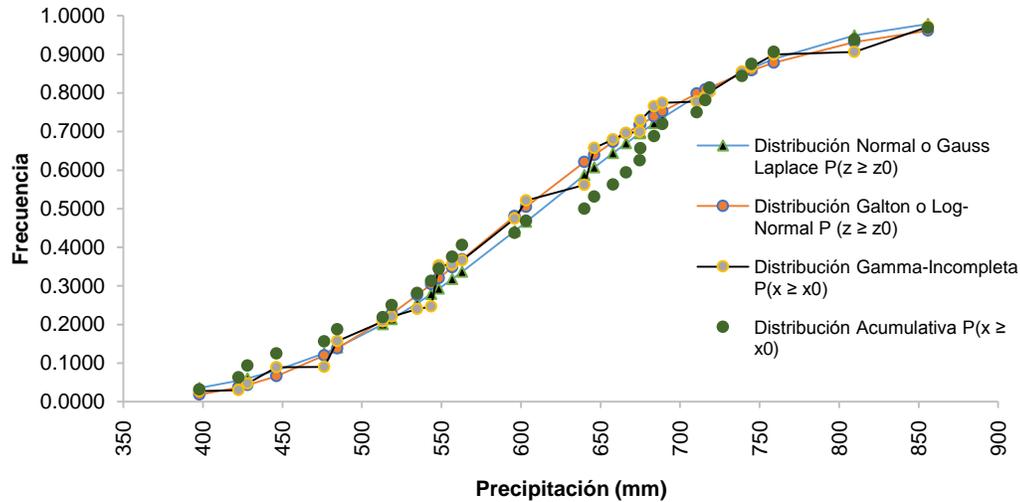


Figura IV.8 Distribución de la Precipitación

4.2.10 Evapotranspiración

La evapotranspiración fue calculada por la fórmula de Turc, vista en el capítulo 4.5.1.1 y que recomienda la NOM-011-CONAGUA-2015 (Diario Oficial de la Federación, 2015), Se ingresaron las variables de precipitación anual y temperatura media anual (Capítulos 4.2.9.2 y 4.2.9.3) en cada pixel del acuífero y por el método de isolíneas se obtuvo que la evapotranspiración real del acuífero es de **543 mm**. Como se observa en la figura 4.18 las isolíneas varían 200 mm, donde el rango mayor se concentra en los municipios de Apaseo el Alto y Celaya

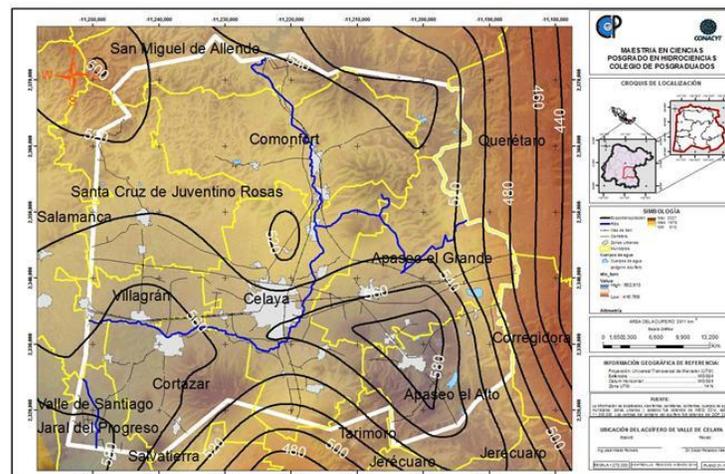


Figura IV.9 Evapotranspiración Real del Acuífero Valle de Celaya

4.3 Cálculo de los requerimientos agrícolas

Una de las principales actividades económicas del Bajío es la agricultura, por su alta producción en granos, alfalfa y hortalizas, por lo que es importante realizar los cálculos de evapotranspiración de los principales cultivos de la zona para tener un mejor conocimiento del consumo de agua de este sector. Para esto se utiliza la metodología de Blaney – Cridle (American Society of Civil Engineers, 1990) para la obtención de los volúmenes de agua aproximados en el sector agrícola.

Cálculo de los Requerimientos de Riego

La estimación de las extracciones en este uso se inició con el cálculo de los requerimientos de riego (R_r) para los cultivos de los ciclos primavera-verano, otoño-invierno, y perennes, reportados por la SAGARPA para el año 2003. Estos requerimientos de riego se estimaron con base en la información climatológica de distintas estaciones ubicadas en el área del acuífero (Ver Anexo III), además de información recopilada por la empresa Gondwana Exploraciones en cuanto al patrón de cultivos, ciclos de los mismos e información técnica relacionada.

Los requerimientos de riego de los cultivos ubicados dentro del área del acuífero fueron calculados por medio de la siguiente ecuación:

$$R_r = E_t * K_c * K_s - P_e - M_f \quad (4.1)$$

Dónde:

E_t : Evapotranspiración de referencia

K_c : Coeficiente de consumo de agua del cultivo que depende de su grado de desarrollo

K_s : Coeficiente que depende de las condiciones de humedad del suelo

P_e : Precipitación efectiva

M_f : Aportes del manto freático (nula ya que el nivel estático es mayor a 20 metros)

Para el cálculo de la evapotranspiración durante un ciclo vegetativo se utilizó el método de Blaney-Cridle que emplea la siguiente expresión:

$$E_t = k_g * F \quad (4.2)$$

Dónde:

E_t : Evapotranspiración real del cultivo

K_g : Es el coeficiente global de consumo de agua por el cultivo

F : Evapotranspiración de referencia

El valor de F se determinó como:

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{t_i+17.8}{21.8} p_i \quad (4.3)$$

Dónde:

t_i = temperatura media mensual del i-ésimo mes (°C)

p_i = porcentaje de horas luz del i-ésimo mes respecto al total anual (adim)

n = número de meses del ciclo vegetativo del cultivo

A la expresión anterior, Phelan (Gondwana Exploraciones S. C, 2003) introdujo un coeficiente térmico (Kt) que relaciona los coeficientes de desarrollo con los valores mensuales de la evapotranspiración de referencia. La relación empírica de este coeficiente es la siguiente:

$$kt = 0.31144t_i + 0.2396 \quad (4.4)$$

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó el método propuesto por Ogrosky y Mockus, en el cual el coeficiente de efectividad de la lluvia depende de la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación observada. La relación empírica propuesta por los autores mencionados es la siguiente:

$$Cp_i = \frac{\frac{Et}{P_i}}{1.53+0.83\frac{Et}{P_i}} \quad (4.5)$$

Dónde:

Cp_i = Coeficiente de efectividad de la precipitación del i-ésimo mes (adim).

E_{ti} = Evapotranspiración real del cultivo en el i-ésimo mes (cm)

P_i = Precipitación observada en el i-ésimo mes (cm)

Finalmente, la precipitación efectiva se determinó por:

$$P_e = C_p \times P \quad (4.6)$$

Con las estimaciones de la evapotranspiración real y la precipitación efectiva se obtuvo el requerimiento de riego total de cada cultivo.

Cálculo de láminas brutas

Para el cálculo de las láminas brutas se empleó la siguiente expresión, indicada en los términos de referencia:

$$Lrb = \frac{Rr}{Efc \times Efa} \quad (4.7)$$

Dónde:

Lrb= Lamina de riego bruta

Rr= Requerimiento de riego

Efc= Eficiencia de aplicación

Efa= Eficiencia de conducción

Los valores de eficiencia de aplicación y de conducción concernientes al área de estudio fueron proporcionados por el estudio de Cuantificación de Extracción de Agua Subterránea del Acuífero Valle de Celaya (Gondwana Exploraciones S. C, 2003) con un 47% de eficiencia de aplicación y 92% de eficiencia de conducción.

Finalmente, las láminas obtenidas para los cultivos en los ciclos considerados, se multiplicaron por las superficies de cada cultivo proporcionadas por la SAGARPA, con lo cual se obtuvo el volumen aplicado a cada uno de ellos; sumando estos volúmenes, se obtuvo el volumen de extracción para el uso agrícola en el Valle de Celaya. Como se muestra en el anexo VI.

En las tablas 4.6, 4.7 y 4.8, se muestran las superficies proporcionadas por la SAGARPA y las láminas obtenidas para el patrón de cultivos, así como los volúmenes resultantes.

Tabla IV.6 Requerimientos de Riego Primavera - Verano

Cultivo	Sup. sembrada (ha)	Lamina bruta (m)	Volumen Mm ³
HORTALIZAS PRIM - VERANO	2564	0.381	9.76
AVENA FORRAJERA EN VERDE	4	0.815	0.03
CALABACITA	84	0.533	0.44
COL(REPOLLO)	15	0.564	0.08
FRIJOL	2538	0.790	20.06
LECHUGA	438	0.403	1.76
MAÍZ FORRAJERO EN VERDE	332	1.813	6.01
MAÍZ GRANO	11686	0.904	105.70
SORGO GRANO	13062	0.702	91.69
Total	30723		235.58

Tabla IV.7 Requerimientos de Riego Otoño – Invierno

Cultivo	Sup. sembrada (ha)	Lamina bruta (m)	Volumen Mm ³
Hortalizas y Otros	4143	0.525	21.76
Avena Forrajera	641	1.154	7.4
Cebada Grano	13808	0.981	135.54
Chile Verde	168	0.781	1.31
Frijol	646	0.918	5.93
Lechuga	1100	0.429	4.72
Jitomate	57	0.914	0.52
Trigo Grano	4163	0.958	39.9
Zanahoria	1405	0.735	10.34
VOL. TOTAL	26131		227.42

Tabla IV.8 Requerimientos de Riego Perenes

Cultivo	Sup. sembrada (ha)	Lamina bruta (m)	Volumen (Mm ³)
Aguacate	294	1.715	5.04
Alfalfa Verde	20006	2.748	549.80
Pastos	341	2.422	8.26
VOL. TOTAL	20641		563.11

La figura 4.19 muestra los requerimientos mensuales de agua en los meses de febrero, mayo, junio, julio y agosto, en la temporada de secas en el acuífero, requerimientos agrícolas, la necesidad de superar los 100 millones de metros cúbicos, y el cultivo de alfalfa utiliza el 50% de requerimiento de agua con 500 millones de metros cúbicos como se ve en la figura 4.20. Si se cambiaran los cultivos a otros menos demandantes de agua y se desestimula la cosecha de alfalfa se podría bajar el consumo de agua en la agricultura.

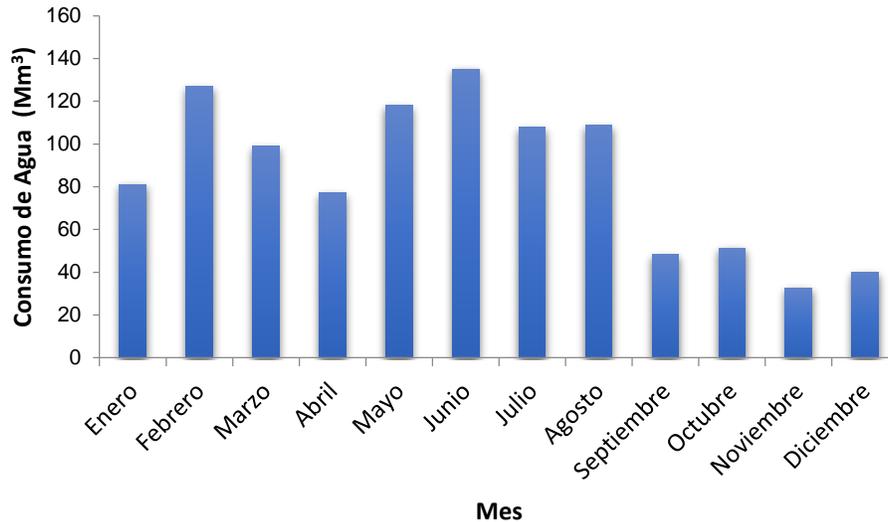


Figura IV.10 Requerimientos mensuales de agua para uso agrícola

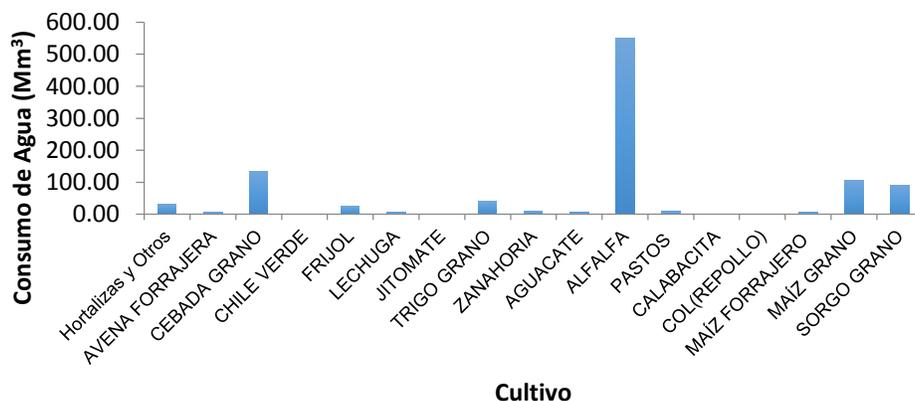


Figura IV.11 Consumo de agua por cultivo

Sin embargo, los volúmenes de requerimiento de riego presentados anteriormente (Figura 4.20) incluyen el riego con aguas de origen subterráneo y superficial. Para determinar cuál es el volumen de agua de origen subterráneo se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{sub} = \frac{(A_t - A_s)}{A_t} * V_c \quad (4.8)$$

Dónde:

V_{sub} = Volumen de agua de origen subterráneo;

A_t = Área total sembrada anualmente;

A_s = Área sembrada con riego de agua superficial de las unidades de riego 11083 Ha (Tabla 4.9);

V_c = Requerimiento de volumen de agua calculado.

Tabla IV.9 Unidades de Riego Superficial

<i>Municipio</i>	<i>Unidades de riego</i>	<i>Sup. Regable (Ha).</i>
Apaseo el Alto	Galvanez	114
Apaseo el Alto	Mandujano	699
Apaseo el Alto	Paredones	71
Apaseo el Alto	Providencia	58
Apaseo el Alto	San Marcial	164
Apaseo el Grande	Presa San José	158
Comonfort	Jalpa	698
Juventino Rosas	Jaralillo	277
Juventino Rosas	Purísima	245
Juventino Rosas	Segunda	70
Juventino Rosas	San Isidro	142
Juventino Rosas	San Juan Diles	217
Juventino Rosas	San Nicolás	170
Sn. Miguel de Allende	Ignacio Allende	7490
Comonfort	Neutla	510
Superficie total (Has.) regada con aguas superficiales		11083

Fuente: (Gondwana Exploraciones S. C, 2003)

El resultado del volumen estimado de agua subterránea para la agricultura es de **829.86 Millones de metros cúbicos**, pero este dato hay que verlo bajo mucha reserva ya que se obtuvo por un porcentaje de la ecuación 4.8; es necesario un inventario real de aprovechamientos de pozos para comprobar el volumen extraído por pozo y uso y comparar con un censo de patrón de cosechas clasificando el origen de aguas, para tener un dato lo más real posible.

4.4 Cálculo de las extracciones Público Urbano

De acuerdo a una recopilación de información de las operadoras de agua municipales que operan en el acuífero por la empresa (Gondwana Exploraciones S. C, 2003) se llega a la conclusión que el consumo per cápita de agua es de 93.58 metros cúbicos/ habitante, como se ilustra en la tabla 4.10, este valor se va a multiplicar por la las proyecciones de CONAPO vistas en el capítulo 3.2 para tener el consumo de agua por el sector público-urbano como se muestra en la figura 4.21 en donde el **2013 hay un consumo de 93.84 millones de metros cúbicos** para el sector público-urbano.

Tabla IV.10 Consumo de Agua per Cápita

ORGANISMO OPERADOR	VOL. DE EXTRACCIÓN (m ³)	Población	Demanda m ³ por persona
JUMAPA (CELAYA)	36,269,514	431,434	84.07
CMAPA (APASEO EL GRANDE)	1,375,739	77,561	17.74
JUMAPAC (CORTÁZAR)	3,682,023	84,488	43.58
CMAPA (APASEO EL ALTO)	2,178,911	60,208	36.19
JUMAPAV (VILLAGRÁN)	1,469,313	51,252	28.67
VOL. DE EXTRACCIÓN	44,975,501	704,943	53.8
Otras Fuentes	37,926,447	0	0
Total Consumo Público Urbano	82,901,947	885,862	93.58

Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO y Groudwana Exploraciones

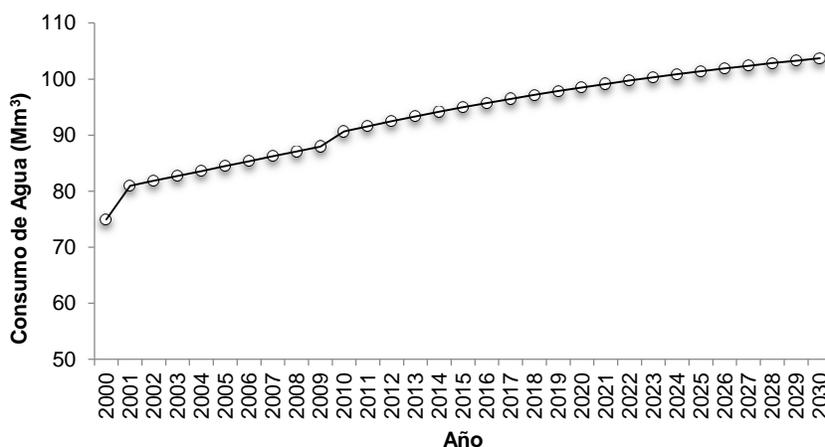


Figura IV.12 Consumo de Agua en el Sector Público – Urbano

4.5 Análisis de Niveles Estáticos.

El conocimiento de la distribución de los niveles en un acuífero, aporta la información necesaria para la determinación de las direcciones preferenciales de movimiento del agua y por lo tanto de su red de flujo (CONAGUA, 1994). La Comisión Estatal de Aguas del Estado de Guanajuato monitorea 114 pozos para el acuífero de Celaya en los cuales se tomaron en cuenta los siguientes criterios para homogenizar la base de datos:

- 1) Los pozos que tengan más del 60% de información del periodo 2005 a 2013,
- 2) Los pozos cuya variabilidad no sea muy amplia (Figura 4.22). Se calcularon los datos faltantes por medio de regresión lineal de cada pozo.

Una vez más se pudo comprobar que hay muchos errores en mediciones de los niveles estáticos ya sea por error humano, tomar la medición en diferentes fechas y/o por falta de exactitud en las sondas eléctricas ya que la mayoría están graduadas a cada 10 metros y el operador puede perder en la cuenta del nivel y adicionalmente tiene que medir con un fluxómetro de la marca más próxima, dónde marca el nivel teniendo cuidado que no mida más del nivel del pozo, a causa de esta operación hay mucha incertidumbre de decenas de centímetros del error, estos errores se pudieron contrastar con datos del acuífero de Texcoco (Escobar Villagran, 2010). Pero un ejemplo muy claro de errores cometidos en la medición es el pozo IGC-1592 (Figura 4.22) ya que muestra una recuperación en sus niveles estáticos, pero tiene una observación de que no se puede determinar el nivel estático por falta de nivel o el pozo está seco. Otro ejemplo lo podemos ver en el pozo con identificación 212 ubicado en el centro de la localidad de Rincón de Tamayo en Celaya, de este pozo brotaba el agua y al transcurso del tiempo han descendido sus niveles estáticos de acuerdo a los pobladores del lugar. (Figura 4.23). En el anexo 8.9 se observan las gráficas individuales de los pozos de observación utilizados en la presente tesis.

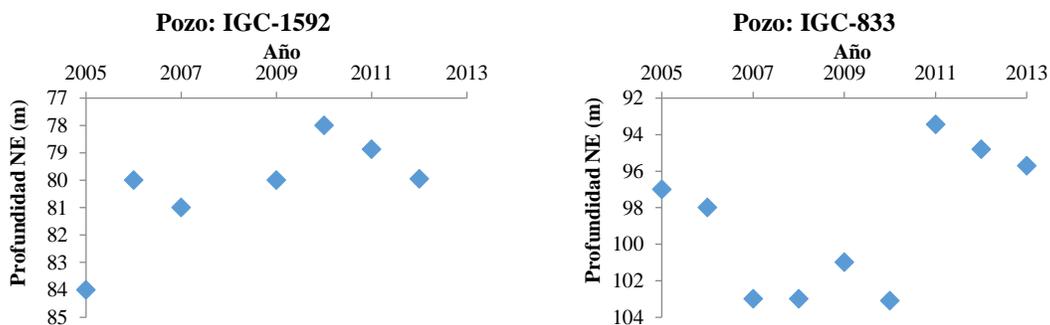


Figura 4.22 Ejemplos de errores en las mediciones del N.E.

Fuente: CEAG, 2014



Figura IV.13 Pozo 222 en Rincón de Tamayo, Celaya

En la red de monitoreo de 77 pozos del Acuífero Valle de Celaya (Ver anexo VII la base de datos y gráficas individuales de pozos piloto) muestra una tendencia al descenso de niveles estáticos a una razón de 1.75 metros por año (Figura 4.24) pero existe una gran variedad de profundidades y pocos años por lo que no se muestra una tendencia muy clara de la sobre explotación del acuífero por lo cual se seleccionó un grupo de pozos que muestran abatimiento mayor de 2 metros para visualizar mejor el fenómeno de sobre explotación en el acuífero (Figura 4.25).

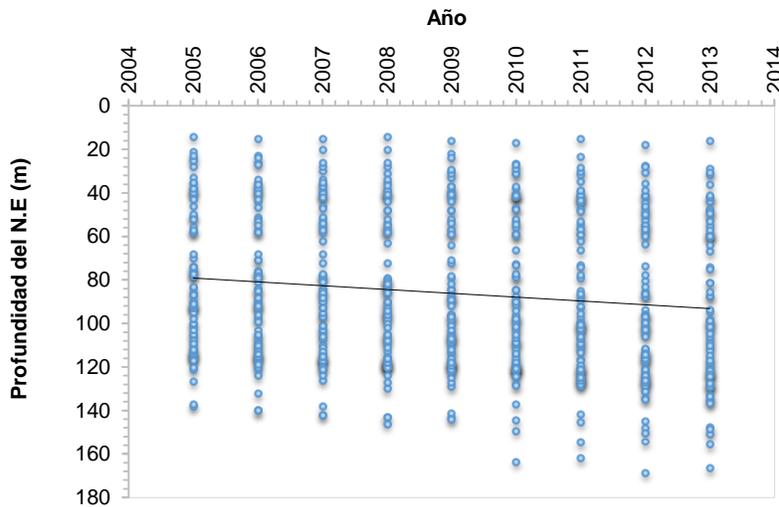


Figura IV.14 Pozos de Monitoreo CEAG

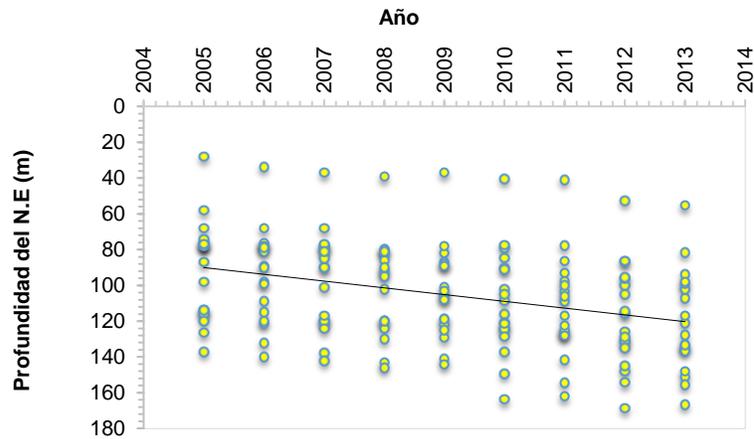


Figura IV.15 Pozos con abatimientos mayor 2 m/año.

En la tabla 4.11 se muestra el promedio de niveles estáticos por municipio, donde Apaseo el Grande es el municipio que tiene los valores más altos en la profundidad de nivel estático, lo cual no se debe al volumen extraído sino a la geología de la zona, ya que se presentan basaltos y vulcanismos con mucha porosidad, por lo que el agua se filtra más rápido, mientras que en Jaral del Progreso es donde se presenta menor profundidad del nivel estático.

Tabla IV.11 Niveles Estáticos Promedios por municipios

Municipio	No Pozos Piloto	Promedio Anual de Profundidad Nivel Estático								
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
APASEO EL GRANDE	19	97.74	100.48	102.46	105.68	107.43	110.16	112.44	115.98	117.01
JUVENTINO ROSAS	7	93.25	95.6	97.68	87.91	101.97	104.16	106.27	109.05	111.16
CELAYA	25	85.88	87.6	88.84	89.22	88.93	90.49	91.75	95.89	98
APASEO EL ALTO	5	75.61	76.83	77.86	79.8	79.88	81.72	84.61	86.48	89.79
VILLAGRÁN	6	60.66	62.04	60.97	62.33	66.46	68.92	70.82	77.53	78.56
CORTÁZAR	8	57.23	58.12	58.65	59.57	57.09	59.56	60.63	61.49	64.73
COMONFORT	4	32.75	35.25	36	36.5	36.75	37.74	38.34	42.48	44.04
SALAMANCA	1	23	24	26	26	24	27	23.2	28	30.85
JARAL	2	22.66	24.47	24.96	25.64	26.03	28.77	30.09	31.58	32.43
Total general	77	78.65	80.57	81.76	82.16	83.85	85.96	87.58	91.1	93.01

Fuente: Elaboración propia con información CEAG

Como se puede observar en los planos de nivel estático 2005 (Figura 4.26) y 2013 (Figura 4.27) donde va de color verde las zonas donde la profundidad de nivel estático es más somero y de rojo de mayores valores, destacando el municipio de Apaseo el Grande donde se nota un incremento en el área roja.

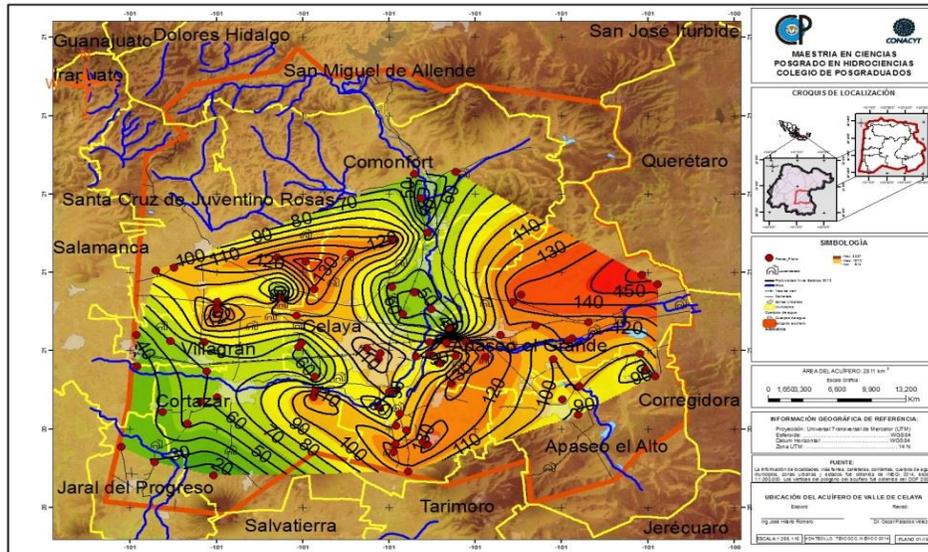


Figura IV.16 Profundidad de Nivel Estático en el 2005

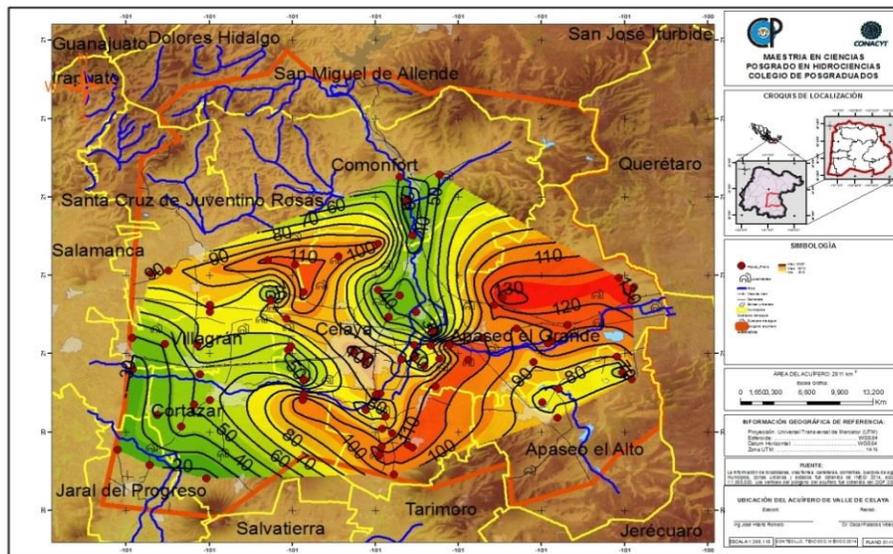


Figura IV.17 Profundidad de Nivel Estático en el 2013

4.6 Pruebas de bombeo

La prueba de bombeo consiste en la observación de las fluctuaciones del nivel piezométrico en un pozo durante el abatimiento o recuperación producido por el bombeo. Al iniciarse el bombeo en un pozo, el nivel del agua sufre un abatimiento que es mayor en el propio pozo y decrece conforme se aleja de él. El agua fluye a través del acuífero aumentando su velocidad conforme se acerca al pozo. La Ley de Darcy expresa que en un medio poroso que la velocidad es directamente proporcional al gradiente hidráulico, el abatimiento en la superficie piezométrica forma un cono de depresión, cuyo tamaño y forma depende del caudal, del tiempo de bombeo y de las características del acuífero. El objetivo principal de

las pruebas de bombeo es conocer las características hidrométricas de la formación acuífera, como son transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento, también se pueden determinar el tipo de acuífero, (libre, semiconfinado o confinado), la existencia de barreras laterales, la recarga de agua superficial (ríos o manantiales), el radio de influencia del pozo, el factor de infiltración, así como la predicción del comportamiento de los niveles piezométricos. Con las observaciones realizadas durante la prueba de bombeo se construye la gráfica de variación del nivel dinámico en relación al tiempo.

Los acuíferos Valle de los Apaseos y Valle de Celaya se unificaron en el 2003 (Diario Oficial de la Federación, 2003), como se menciona en el capítulo 1.3. Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento de 34 pruebas de bombeo realizadas: 21 pruebas en Valle de Celaya por (Ingeniería Geológica Computarizada & CEAS de Guanajuato, 1999) y 13 pruebas en el Valle de los Apaseos por (LESSER Y ASOCIADOS SA DE CV, 1995), en la Tabla 4.12 se puede ver los resultados de las pruebas de bombeo. En el anexo 8.6 se muestran las gráficas de las pruebas de bombeo realizadas en el año 1999.

Tabla IV.12 Pruebas de Bombeo

Zona	Nombre Pozo	Longitud	Latitud	Transmisividad (m ² /s)	Conductividad Hidráulica (m/s)	Espesor del Acuífero (m)	Coefficiente de Almacenamiento
Valle de Celaya	IGC-1289	-100.96	20.63	2.38E-03	2.06E-05	115.39	0.0954
	IGC-1488	-100.81	20.5	2.31E-03	2.43E-05	94.89	Na
	IGC-1527	-100.84	20.54	8.82E-04	8.77E-06	100.53	0.0331
	IGC-834	-100.86	20.54	2.49E-02	2.64E-04	94.16	0.0141
	IGC-1505	-100.79	20.51	1.27E-03	1.31E-05	96.9	Na
	IGC-1300	-100.99	20.63	1.20E-04	8.83E-07	127.55	0.45
	IGC-1351	-100.76	20.63	1.16E-03	3.05E-05	37.99	0.0413
	IGC-893	-100.75	20.63	5.31E-03	5.88E-05	90.41	0.0544
	IGC-1219	-100.88	20.66	1.24E-04	5.40E-05	23.09	0.025
	IGC-1403	-100.96	20.74	4.26E-05	9.65E-06	4.42	0.0828
	IGC-373	-100.77	20.43	9.51E-05	9.05E-07	104.98	0.0905
	IGC-1879	-100.78	20.39	3.75E-03	1.01E-03	36.88	Na
	IGC-1556	-100.8	20.6	4.52E-03	1.20E-04	36.78	0.0455
	IGC-38	-101.04	20.46	2.56E-04	9.33E-06	38.16	0.0636
	IGHC-1880	-101.06	20.37	5.39E-04	4.98E-05	10.83	0.0157
	IGC-1866	-101.04	20.55	4.06E-03	9.40E-05	40.89	0.0411
	IGC-1632	-100.8	20.46	1.65E-02	1.05E-04	156.51	0.0186
	IGC-792	-100.76	20.52	6.29E-04	6.94E-06	90.58	0.0268
	IGC-1446	-100.81	20.78	1.65E-04	3.04E-06	54.45	0.0287
	IGC-1149	-100.81	20.7	1.40E-04	1.89E-06	60.26	0.0495
	IGC-519	-100.75	20.49	5.70E-05	1.09E-06	52.11	0.494
Valle Apaseos	L-190	-100.71	20.55	2.70E-03	7.71E-06	350	0.05
	L-158	-100.64	20.56	1.91E-02	9.46E-05	202	0.03
	L-205	-100.54	20.52	7.00E-03	2.31E-05	303	0.0225
	L-272	-100.67	20.53	3.30E-03	1.02E-05	323	0.05
	L-3	-100.49	20.58	1.23E-02	5.92E-05	207	Na
	L-937	-100.72	20.59	5.05E-03	1.43E-05	354	0.05
	L-362	-100.75	20.43	8.10E-03	3.46E-05	234	Na
	L-429	-100.74	20.47	9.00E-04	3.59E-06	251	Na
	L-183	-100.67	20.58	1.54E-01	7.16E-04	215	Na
	L-882	-100.74	20.67	3.80E-03	1.68E-05	226	Na
	L-596	-100.7	20.52	1.57E-02	4.15E-05	378	Na
	L-132	-100.61	20.54	4.14E-02	1.18E-04	350	Na
	L-621	-100.59	20.48	0.0467	0.000149201	313	0.04

Fuente: Elaboración propia con información de CEAG y CONAGUA

El resultado de las pruebas de bombeo, permitió caracterizar el acuífero desde el punto de vista geohidráulico, cuya variabilidad en la transmisibilidad comprende un mínimo de $4.26 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ y un máximo de $0.154 \text{ m}^2/\text{s}$ (Figura 4.28); y un coeficiente de almacenamiento del orden de 0.0141 como mínimo y 0.494 como máximo. Se estimó un valor promedio regional del coeficiente de almacenamiento de 0.076, interpolando por el método de distancias inversas al cuadrado en todo el polígono del acuífero (Figura 4.29).

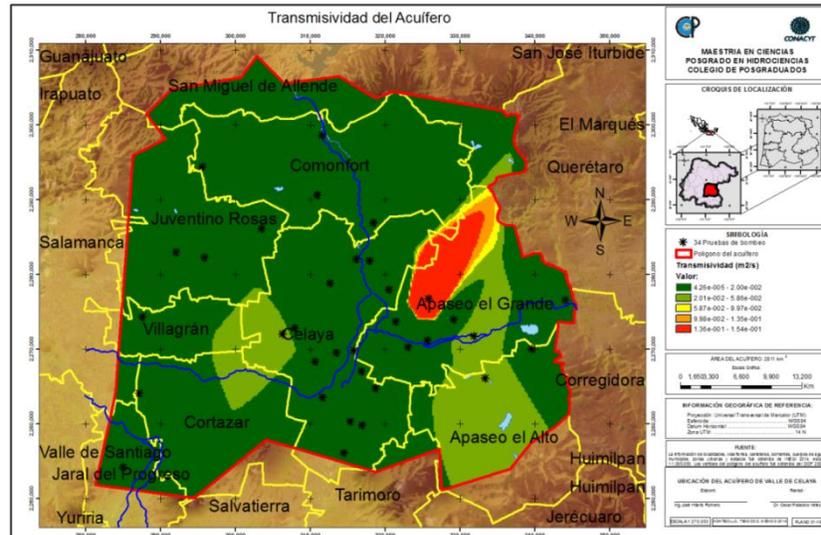


Figura IV.18 Transmisividad del Acuífero

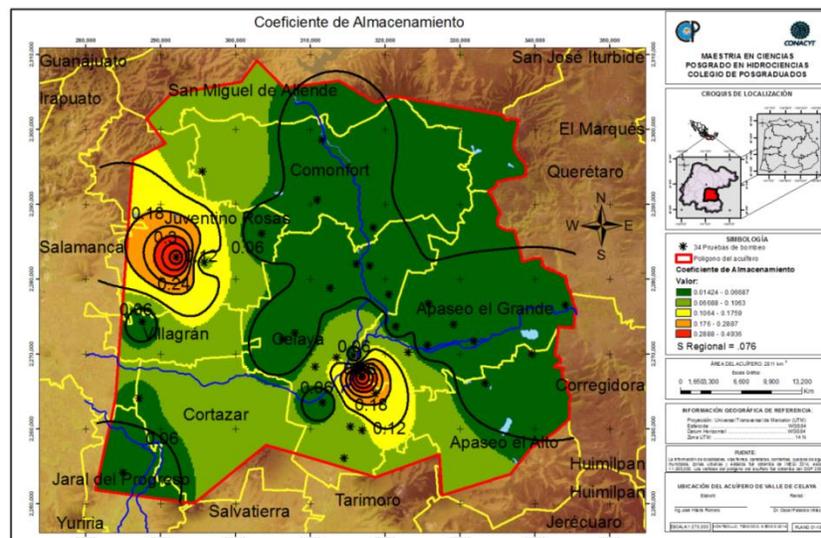


Figura IV.19 Coeficiente de Almacenamiento en el Acuífero

4.7 Costos unitarios de extracción de agua subterránea.

Para la toma de decisiones el lenguaje universal es el monetario, poder plasmar en cantidades de dinero el impacto de las consecuencias de la sobre explotación del acuífero y de la inversión de una serie de programas para contrarrestarla. En la presente tesis solo vamos a analizar el costo de energía para bombear agua en tres diferentes escenarios

simulados por MODFLOW. Para esto la Norma oficial mexicana NOM-006-ENR-2015 (Secretaría de Energía, 2015), señala que la eficiencia electromecánica de un equipo de bombeo es la relación de la carga hidráulica por el peso específico del agua y el volumen extraído entre la energía consumida por el equipo de bombeo, como se muestra las siguientes expresiones:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} 100 \quad (4.8)$$

$$P_e = \sqrt{3} * V * I * fp \quad (4.9)$$

$$P_s = Q * \rho * g * H \quad (4.10)$$

Dónde:

η = Eficiencia electromecánica (adimensional)

P_s = Potencia de Salida (Kw-H)

P_e = Potencia de entrada (Kw-H)

V = Voltaje (V)

I = Corriente (A)

F_p = Factor de potencia (adimensional)

Q = Caudal o gasto de agua (m³/s)

ρ = densidad de agua (1000 kg/m³)

G = gravedad (9.81 m/s²)

H = carga o elevación de columna de agua

Para obtener el costo de energía se despeja de la ecuación 4.8 y multiplicando por el costo de producción de energía eléctrica de la Comisión Federal de Energía como se muestra en la siguiente función:

$$C_{bombeo} = \frac{Q * \gamma * H}{\eta} * C_{energía} \quad (4.11)$$

Dónde:

C_{bombeo} = Costo energético de extracción de agua subterránea

Q = Volumen de agua extraído (m³/año)

γ = Peso específico de agua a 20°C

H = Profundidad de nivel de bombeo (m)

η = eficiencia electromecánica de equipo de bombeo

$C_{energía}$ = Costo de energía eléctrica por kW-H sin subsidio de gobierno para productores agrícolas

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado se dan a conocer por un lado los resultados obtenidos de la aplicación de los dos métodos (balance hidrológico y evolución de niveles de agua) para estimar la sobreexplotación del acuífero Valle de Celaya y por otro lado los valores estimados de la carga hidráulica y el balance hidrológico para cada escenario (escenario base, escenario pesimista y escenario optimista) mediante el software MODFLOW y finalmente se calculó el costo de energía en la extracción de agua subterránea para cada escenario.

5.1 Evaluación de la sobreexplotación del acuífero Valle de Celaya (método del balance hidrológico: $E-S=\Delta V$)

Las entradas de agua subterránea hacia al acuífero se dividen en entradas verticales y horizontales que a continuación se expresan los valores obtenidos de cada componente:

Entradas verticales (E_V)

Se consideraron la parte de la precipitación que se infiltra al acuífero (I_e), más la recarga inducida o pérdidas por infiltración por el uso del agua superficial y subterránea en la agricultura (canales) y por fugas en las redes en el uso público urbano (tuberías de agua potable) ($R_{iag} + R_{ipu}$) más la infiltración proveniente de cuerpos de agua o ríos ($I_{río}$).

Componentes	(Mm^3 /año)	Método de Cálculo	Simbología
Ie	5.81	$I_e = A_c * \alpha * (V_p - E_t)$	A_c = Área del acuífero (2811 km^2) α = Coeficiente de escurrimiento (0.30) (INEGI, 1995) V_p = Precipitación media (612 mm) E_t = Evapotranspiración media (543 mm)
Riag	265.25	$R_{iag} = (C)(V_{sup-sub})$	R_{iag} = Pérdidas por infiltración por el uso de agua superficial y subterráneo en la agricultura C = Coeficiente de retorno (0.2585)
Ripu	37.40	$R_{ipu} = (C)(V_{sub})$	R_{ipu} = Pérdidas por fugas en las redes en el uso público urbano C = Coeficiente de pérdidas (.40) (JUAMAPA, 2009)
I_{río}	1.37	$I_{río} = V_{Begoña} - V_{evaporado} - V_{utilizado} - V_{3\text{ Guerras}}$	$I_{río}$ = Infiltración del río Laja $V_{Begoña}$ = Volumen anual en la estación hidrométrica Begoña (126.63 Mm^3) $V_{evaporado}$ = Volumen anual evaporado (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1973) (1.29 Mm^3) $V_{utilizado}$ = Volumen de agua extraído del río para el distrito de riego 085 (CONAGUA, 2014)(77.44 Mm^3) $V_{3\text{ Guerras}}$ = Volumen anual en la estación hidrométrica Tres Guerras (126.63 Mm^3)

Entradas horizontales (E_h) y Salidas horizontales (S_h)

Las entradas y salidas de agua provenientes de las periferias de otros acuíferos fueron calculadas por la ecuación de Darcy (Capítulo 3.5.1.5), en la cual se interpoló por el método de distancias inversas al cuadrado la altura del nivel estático (msnm) de 98 pozos de monitoreo de la Comisión Estatal de Aguas del Estado de Guanajuato (CEAG) dentro y fuera del polígono del acuífero, de los cuales 77 pozos se ubican dentro del área del acuífero, una vez interpolada la carga hidráulica en todas las periferias del acuífero se simuló una batería de dos pozos de monitoreo en los límites del polígono del acuífero con el fin de obtener el gradiente hidráulico (i), de igual forma se interpoló el valor de la transmisividad (T) de las 23 pruebas de bombeo descritas en el capítulo 4.6. En el Anexo

8.10 muestra el valor de los gradientes hidráulicos (i) y las Transmisividades (T) interpolados en las periferias del acuífero; como resultado de flujo de agua subterránea en la tabla 5.1, se describe que **las diferencias de entradas y salidas horizontales es de 186.11 Mm³**.

La Figura 5.1 muestra las equipotenciales generadas de la altura del nivel estático (msnm) en cual el flujo se transporta de este a oeste, con varios conos de abatimiento a lo largo del río Laja y Juventino Rosas resultado de la sobreexplotación de agua que sufre la región.

Aunque hay que aclarar que su cálculo es altamente dependiente de los valores de los gradientes de la carga hidráulica en la periferia del acuífero y, dada la falta de pozos de observación en dicha periferia, la carga hidráulica y los gradientes fueron estimados mediante interpolación de datos obtenidos principalmente en la parte central del acuífero. Debe pues, aclararse que este dato es de precisión desconocida.

Tabla V.1 Entradas y Salidas Horizontales

Clasificación	No Pozos monitoreo simulados	Volumen (m ³ /s)	Volumen (Mm ³ /año)
Entrada	251	10.05	317.15
Salida	249	-4.15	-131.04
Total general	500	5.90	186.11

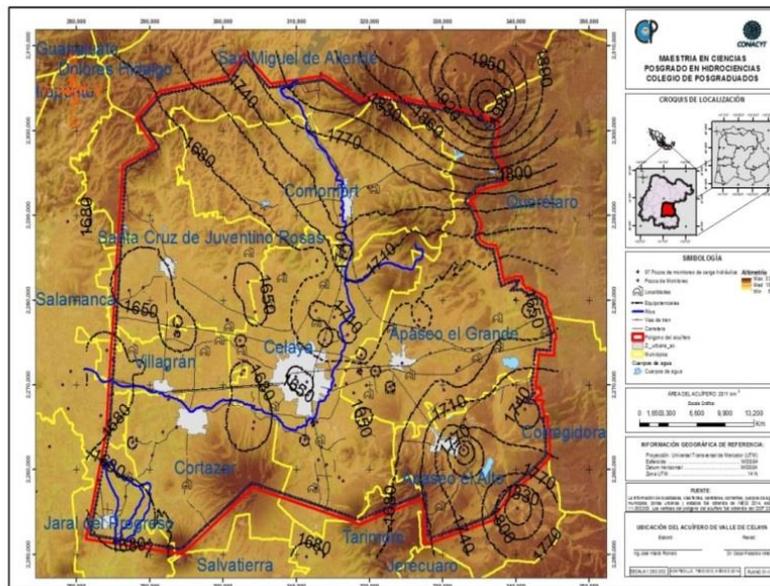


Figura V.1 Equipotenciales 2011

Salidas (S) de agua del acuífero

Como ya se mencionó en el capítulo 3.5.2, las salidas de agua del acuífero están constituidas por la suma de los volúmenes bombeados en todos los pozos existentes (Q_b) más la descarga natural comprometida (V_{DNC}), que corresponde a la suma de los volúmenes de agua concesionada de los manantiales y del caudal base de los ríos comprendidos en la

unidad hidrogeológica evaluada que están comprometidos como agua superficial para diversos usos más las descargas subterráneas que se deben conservar para no afectar a las unidades hidrogeológicas (flujo horizontal que sirven de recarga para acuíferos aguas abajo o destinados para sostener el gasto ecológico) y más las salidas horizontales de agua por flujo subterráneo (S_h):

Suma de los volúmenes bombeados en todos los pozos existentes (Q_b)

La Tabla 5.2 muestra el volumen extraído de los aprovechamientos de agua subterránea, clasificándolo de acuerdo a su uso; donde el municipio de Celaya presenta mayores extracciones de agua, de igual manera es el municipio más poblado donde vive la mitad de los habitantes del acuífero (Capítulo 3.2). Las extracciones de los aprovechamientos de agua subterránea dentro del acuífero asciende a **939.26 Mm³**.

Tabla V.2 Extracciones de Agua Subterránea

MUNICIPIO	EXTRACCIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA POR TIPO DE USO Y MUNICIPIO (Mm ³)			
	AGRÍCOLA	INDUSTRIAL	PÚBLICO-URBANO	TOTAL GENERAL
CELAYA	249.27	7.58	41.26	298.12
APASEO EL GRANDE	154.45	1.86	8.32	164.63
VILLAGRÁN	115.31	3.77	4.78	123.86
CORTAZAR	92.41	1.55	5.03	98.98
JUVENTINO ROSAS	78.66	0.64	14.9	94.2
COMONFORT	52.47	0	9.7	62.17
APASEO EL ALTO	42.33	0.16	6.49	48.97
JARAL DEL PROGRESO	39.67	0	2.73	42.4
SALAMANCA	2.16	0	0.32	2.48
VALLE DE SANTIAGO	0.96	0	0	0.96
SALAMANCA	2.16	0	0.32	2.48
Total general	829.86	15.56	93.84	939.26

La descarga natural comprometida (V_{DNC}), resultó ser de **1.75 Mm³/año** y es el volumen de agua extraído de los 54 manantiales ubicados dentro del acuífero de acuerdo a (Ingeniería Geológica Computarizada & CEAS de Guanajuato, 1999).

Con base en lo anterior, a continuación se presenta un resumen final (Tabla 5.3) del balance de aguas subterráneas, en cual se determinó el minado o sobreexplotación del acuífero Valle de Celaya, Guanajuato, mediante el método del balance hidrológico:

Tabla V.3 Balance de Agua subterránea en el Acuífero Valle de Celaya en el 2013

Componentes	Magnitud (Mm ³)	Simbología
<i>ENTRADAS DE AGUA</i>		
I _e	5.81	I _e =Volumen infiltrado
R _{ia_g}	265.25	R _{ia_g} = Pérdidas por infiltración por el uso del agua superficial y subterránea en la agricultura
R _{ip}	37.4	R _{ip} =Pérdidas por fugas en las redes en el uso público urbano
R _{rio}	1.37	R _{rio} = Infiltración por ríos
E _v	309.83	E _v = I _e + R _{ia_g} + R _{ipu} + R _{rio} =Entradas verticales
E _h	317.15	Entradas horizontales por el flujo subterráneo
E	626.98	E= E _v + E _h = Entradas al acuífero
<i>SALIDAS DEL ACUÍFERO</i>		
Q _b	939.26	Q _b = Volumen de extracción de agua subterránea por aprovechamientos
V _{DNC}	1.75	V _{DNC} = Volumen de descarga natural comprometida
S _h	131.04	S _h = Salidas horizontales por flujo subterráneo
S	1,072.02	S= Salidas del Acuífero
MINADO O SOBREPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO (AV) = E-S = -445.07 Mm³		

5.2 Método de evolución de niveles de agua

De acuerdo con la ecuación 3.10, para obtener la *evolución media del nivel estático o variación de la carga hidráulica (h_i)*, se monitorearon 76 pozos. El abatimiento medio de los niveles estáticos es de **1.77 m/año**. Esto indica, sin lugar a dudas, que al acuífero se le extrae más agua que su recarga. Incluso se tuvieron 15 pozos con abatimientos mayores de 2 m/año. En el capítulo 4.5 se muestra a detalle el análisis de niveles estáticos para el acuífero Valle de Celaya.

Coficiente de almacenamiento. En el acuífero Valle de Celaya se han realizados varias pruebas de bombeo (ver Tabla 4.12), donde se propone un coeficiente de almacenamiento “regional” del **0.076**.

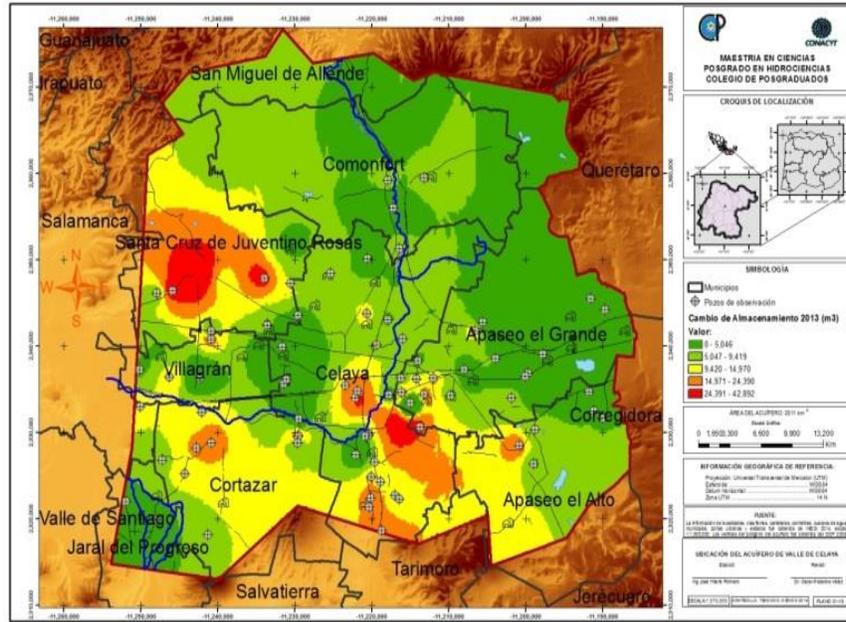


Figura V.2 Cambio de Almacenamiento 2013

La suma o integración del producto del abatimiento por el coeficiente de almacenamiento y por el área de la parte del acuífero proporciona el volumen de la sobreexplotación, también denominado “minado” del acuífero; que para este caso fue de **-386.58 Mm³/año**. Se produjeron siete conos de abatimiento encontrando los principales en Celaya y límites de Apaseo el Grande y el Alto. Como se muestra en la Figura 5.2, los municipios que presentan mayor cambio de almacenamiento (ΔA) son Celaya y Juventino Rosas (Tabla 5.4).

Tabla V.4 Cambio de Almacenamiento por municipios

<i>Municipio</i>	<i>Cambio Almacenamiento (ΔA) (Mm³)</i>
Celaya	-89.43
Juventino Rosas	-85.93
Cortázar	-52.32
Comonfort	-47.15
Apaseo el Alto	-39.05
Apaseo el Grande	-29.07
San Miguel Allende	-21.87
Villagrán	-13.10
Jaral del Progreso	-5.18
Valle de Santiago	-3.48
Total	-386.58

Este procedimiento es más confiable que el método del balance de las entradas (recarga) menos las salidas (extracciones), debido a que depende de menos parámetros, además de que tales parámetros son menos difíciles de determinar. Por supuesto, cuando se siguen ambos enfoques y se obtienen resultados similares se puede asumir que la sobreexplotación queda mejor definida.

5.3 Modelo Matemático en Modflow del Acuífero

5.3.1 Construcción del Modelo

Diseño de Malla

Se dividió la zona de estudio en un cuadrícula de 50 columnas por 50 renglones con un tamaño de celda de 1566 m x 1152 m y dos capas. La capa uno como el acuífero y la segunda como zona impermeable, la interpolación de las capas fue tomada a base de los registros geológicos de 48 pozos en lo que era el acuífero Valle de Celaya (1999) y 15 prospecciones geofísicas en el acuífero de Apaseo (1995); de acuerdo al anexo 8.11 se puede ver la información geológica de la zona. Se inactivaron las celdas que formaban el sistema montañoso de la región siendo un total de 810 celdas inactivas. En la figura 5.3 se puede observar la discretización de la malla donde las celdas de color verde fueron las inactivas.

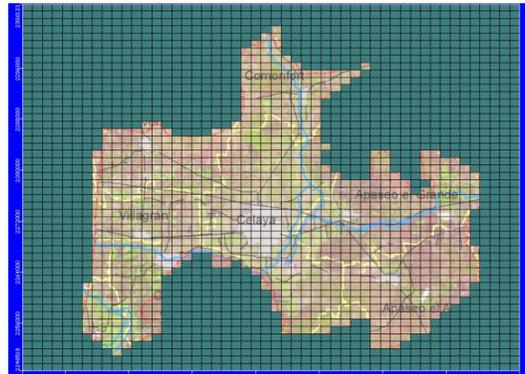


Figura V.3 Diseño de Malla

Características Geo hidrológicas.

Por medio de 34 pruebas de bombeo que se realizaron entre 1994 y 1999 en el acuífero Valle de Celaya (como se describe en el capítulo 4.6) se interpoló la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento por medio del método de vecino natural (Modulo de MODFLOW) a todas las celdas del modelo y clasificando en 5 zonas como muestra la tabla 5.5

Tabla V.5 Características Geo hidráulicas

Zona	Conductividad hidráulica (m/d)			Coeficiente de Almacenamiento	
	K_x	k_y	k_z	S_s	S_y
1	0.27	0.27	0.027	.0219	0.2
2	1	1	0.10	.0421	0.2
3	3.7	3.7	0.37	.0809	0.2
4	13.7	13.7	0.13	.1556	0.2
5	50.68	50.68	5.68	.299	0.2

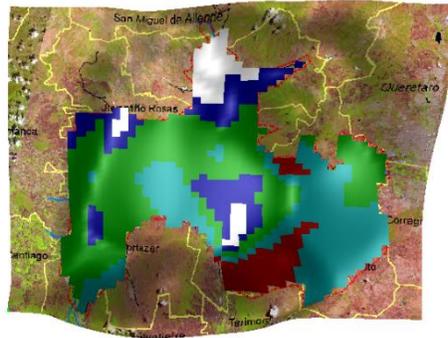


Figura 5.4 Distribución de la conductividad hidráulica en el modelo

Calibración

Se recurrió al uso de pozos de observación para calibrar la evolución de nivel estático, con base en estos pozos de observación se estimó el error entre los niveles estáticos observados y los calculados. El tratamiento de ese error se analiza en una sección más adelante. Un listado de los pozos de observación se incluye en el Anexo 8.12, la gráfica de la distribución de los pozos se observa en la figura 5.5 y en la tabla 5.7 se muestran los nuevos valores de la conductividad hidráulica.

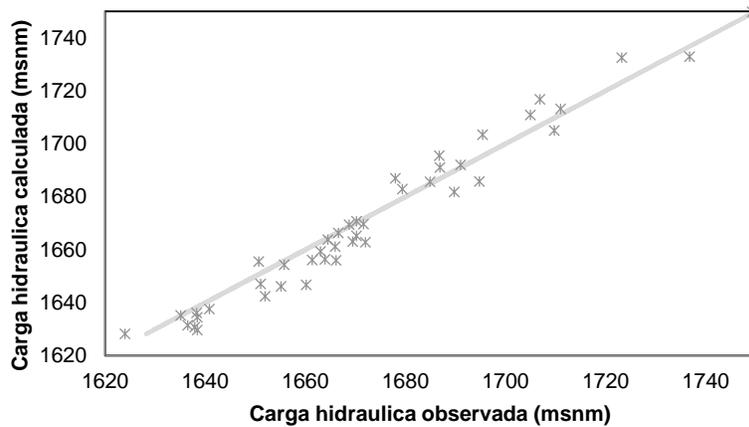


Figura V.5 Calibración de Carga Hidráulica 2013 Calculado vs Observado

Tabla V.6 Resultados de Calibración en la conductividad hidráulica

Zona	Conductividad (m/s)		
	k_x	K_y	K_z
1	3.8×10^{-7}	3.8×10^{-7}	3.8×10^{-8}
2	1.37×10^{-7}	1.37×10^{-7}	1.37×10^{-8}
3	4.85×10^{-5}	4.85×10^{-5}	4.85×10^{-6}
4	1.37×10^{-5}	1.37×10^{-5}	1.37×10^{-6}
5	6.52×10^{-4}	6.52×10^{-4}	8.52×10^{-5}

Análisis de Resultados

La tabla 5.7 muestra resultados de los estadísticos ya antes mencionados en capítulo 3.7 y junto con la tabla 5.8 que da referencia del rango de los parámetros para establecer si la calibración está dentro de los parámetros permisibles; a parte, cada modelador fija su nivel de error. En el acuífero de Valle de Celaya se fijó un error de 10% por la incertidumbre en el censo de pozos (Extracciones de agua) y en el coeficiente de almacenamiento por la falta de pruebas de bombeo en el Valle de los Apaseos. Se llega a la conclusión que el modelo se encuentra aceptable para reproducir los fenómenos hidrológicos subterráneos que suceden dentro del acuífero Valle de Celaya.

Tabla V.7 Análisis de Calibración

<i>Estadístico</i>	<i>Valor</i>
Coefficiente de determinación (R^2)	0.9318
Índice de Acuerdo (Willmott)	0.9798
Coefficiente de Eficiencia Nash (NSE)	0.9269
Error media al cuadrado (RMS)	10.80 m.
Observaciones estándar derivadas del radio (RSR),	0.2704
Porcentaje Parcial (PBIAS)	6.97

Tabla V.8 Estadísticos recomendables para Calibración

Table 4. General performance ratings for recommended statistics for a monthly time step.

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS (%)		
			Streamflow	Sediment	N, P
Very good	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	PBIAS $< \pm 10$	PBIAS $< \pm 15$	PBIAS $< \pm 25$
Good	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 30$	$\pm 25 \leq PBIAS < \pm 40$
Satisfactory	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$\pm 30 \leq PBIAS < \pm 55$	$\pm 40 \leq PBIAS < \pm 70$
Unsatisfactory	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$PBIAS \geq \pm 55$	$PBIAS \geq \pm 70$

Fuente: (Moriassi, 2007)

Una vez calibrado el modelo con los datos históricos de 1983 a 2013 se pronosticaron las cargas hidráulicas hasta el año 2030, bajo tres diferentes escenarios:

1. Base.- se mantienen las mismas condiciones de recarga y extracción
2. Pesimista.- Aumento de la extracción en un 20%, dejando la misma recarga
3. Optimista.- Se extraen únicamente los volúmenes concesionados

A continuación se detalla los resultados de cada escenario.

5.3.2 Escenario base

La simulación se organizó de los años 2013 al 2030, ingresando los datos al modelo con la información anual obtenida de los balances hidrológicos de aguas subterráneas donde las extracciones de pozos agrícolas se mantenían constantes, solo variaba el uso público urbano de acuerdo al incremento poblacional, la recarga se mantenía constante. La Figura 5.6 muestra las equipotenciales en el año 2030, donde la parte central del acuífero (aproximadamente 35 celdas) muestra escasez de agua y varios conos de abatimiento a lo largo del acuífero, resultado que demuestra necesidad de políticas y medidas importantes para asegurar que el recurso hídrico mantenga el crecimiento poblacional, económico y preservación del ecosistema.

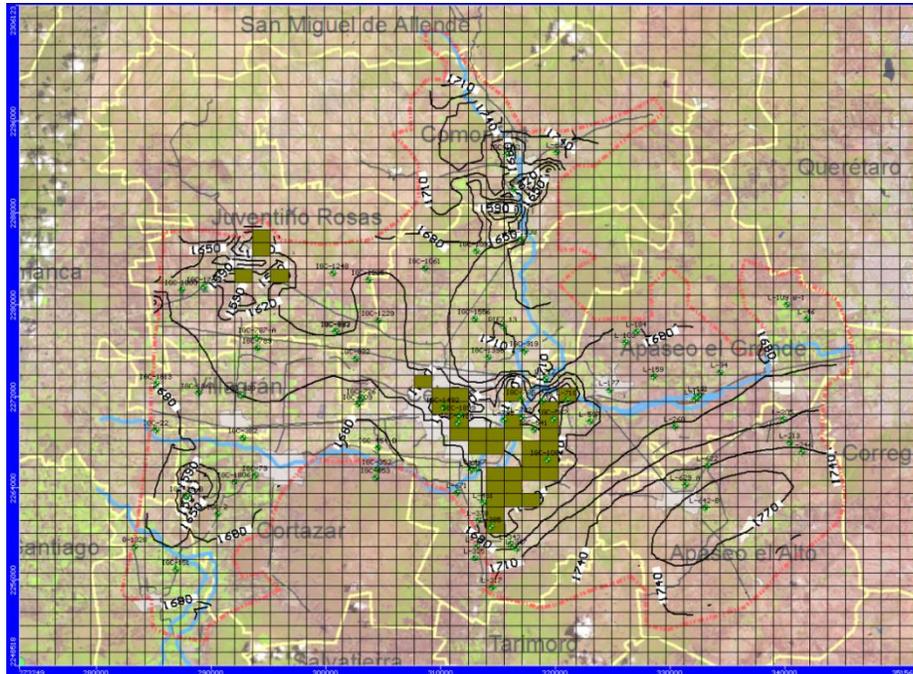


Figura V.6 Equipotenciales en el 2030

Si se continúa extrayendo la misma cantidad de agua hasta el 2030 y esperando las mismas condiciones climáticas que se han registrado en los últimos 20 años, se sobreexplotara el acuífero 7,955.93 millones de metros cúbicos (Tabla 5.9) y los niveles de agua van a descender hasta los 115 metros (Figura 5.7). Lo que implica un aumento en la energía eléctrica y reubicación de pozos.

Tabla V.9 Escenario Base Balance Hidrológico Acumulado de 2013 a 2030

Entradas (Mm ³)		Salidas (Mm ³)	
Recarga	5,249.45	Bombeo	15,256.37
Infiltración de Ríos	17.61	Salidas Horizontales	1,579.83
Entradas Horizontales	3,613.21		
Total	8,880.27	Total	16,836.20
Cambio de Almacenamiento			-7,955.93 Mm ³

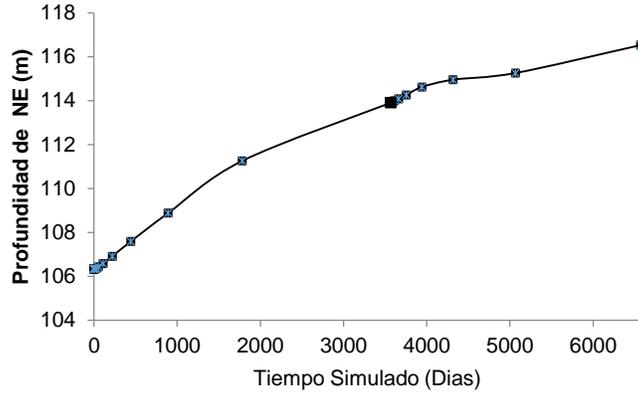


Figura V.7 Profundidad de Nivel Estático Escenario Base

5.3.3 Escenario Pesimista

En el segundo escenario se busca simular lo que pasaría en el 2030 si no realizamos ninguna acción u obra de conservación en los recursos hídricos manteniendo la recarga constante, pero con un incremento en las extracciones del 20%; debido a que el valor actual del agua no incentiva su ahorro y el incremento poblacional requiere más recursos hídricos. La figura 5.8 muestra las equipotenciales simuladas para este escenario, a comparación del escenario base donde se empieza a presentar escasez de agua en la zona sur-oeste e intensificando la escasez en la parte central; en el área norte se incrementan conos de abatimientos. La figura 5.9 muestra las equipotenciales en el año 2030 donde se pronostica que la profundidad del nivel estático en promedio se ubicara a 140 metros, y se habrá generado un minado del acuífero de 10,788.13 Mm³ (Tabla 5.11), valor que pone en alerta toda política de gestión hídrica por que no se sabría con certeza ¿Cuánta cantidad de agua dispone el acuífero y por cuánto tiempo?

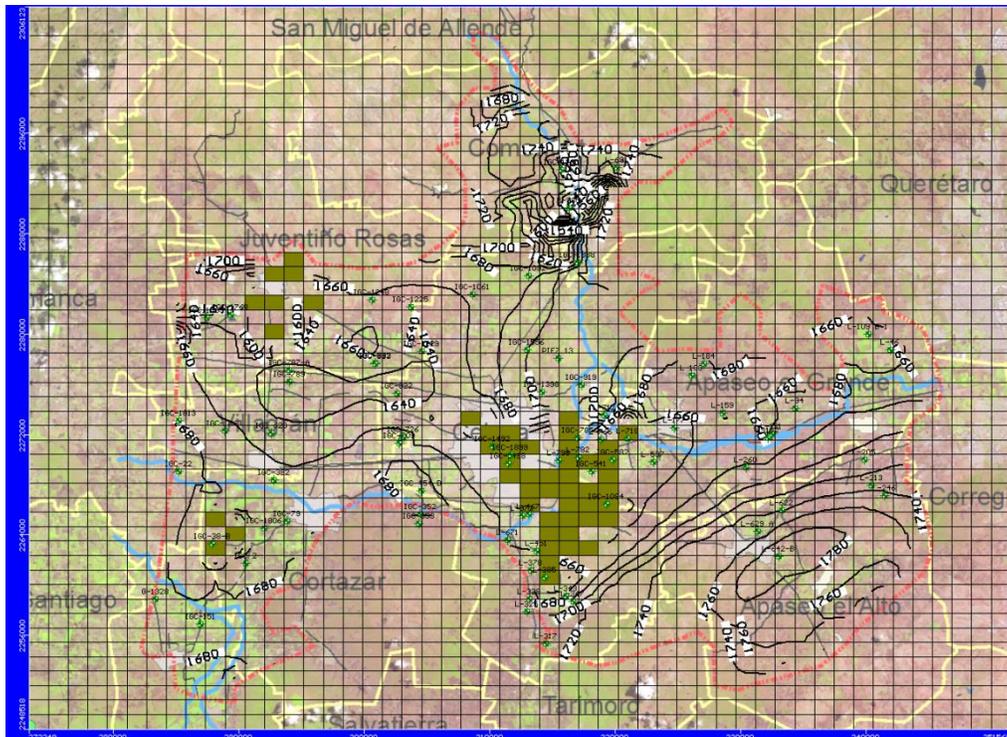


Figura V.8 Escenario Pesimista Equipotenciales 2030

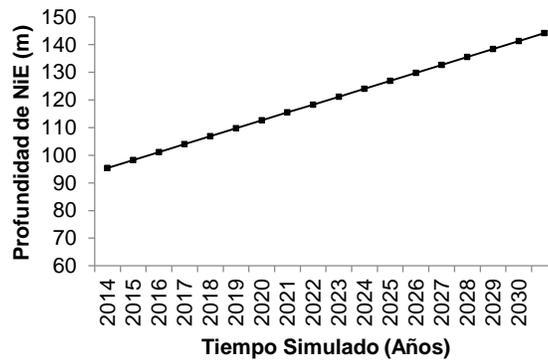


Figura V.9 Escenario Pesimista Profundidad de niveles estáticos

Tabla V.10 Escenario Pesimista Balance Hidrológico Acumulado de 2013 a 2030

Entradas (Mm ³)		Salidas (Mm ³)	
Recarga	5,249.45	Bombeo	18,088.57
Infiltración de Ríos	17.61	Salidas Horizontales	1,579.83
Entradas Horizontales	3,613.21		
Total	8,880.27	Total	19,668.40
Cambio de Almacenamiento		-10,788.13 Mm ³	

5.3.4 Escenario Optimista

En este escenario se mantienen las condiciones climáticas registradas en los últimos 20 años con una recarga constante hasta el 2030 y se realizan varios programas y acciones (mejora de la eficiencia en el manejo de agua de riego, mejora en la eficiencia de redes de distribución de agua potable, cambio a cultivos de menor consumo de agua, disminución de pozos clandestinos, establecimiento de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico y agricultura de traspatio, reutilización de aguas negras, etc.). Además se ajustan las extracciones acorde con los títulos de concesión de agua del Registro Público de Derechos de Agua (CONAGUA, 2013) de 382.52 Mm³ (CONAGUA, 2013). El acuífero empieza a equilibrarse hasta llegar a un estado de disponibilidad de agua, como se ve en el balance acumulado (Tabla 5.12) y los niveles estáticos se pronostican para el 2030 en 105 metros; 10 metros menos en comparación con el escenario base (Figura 5.11).

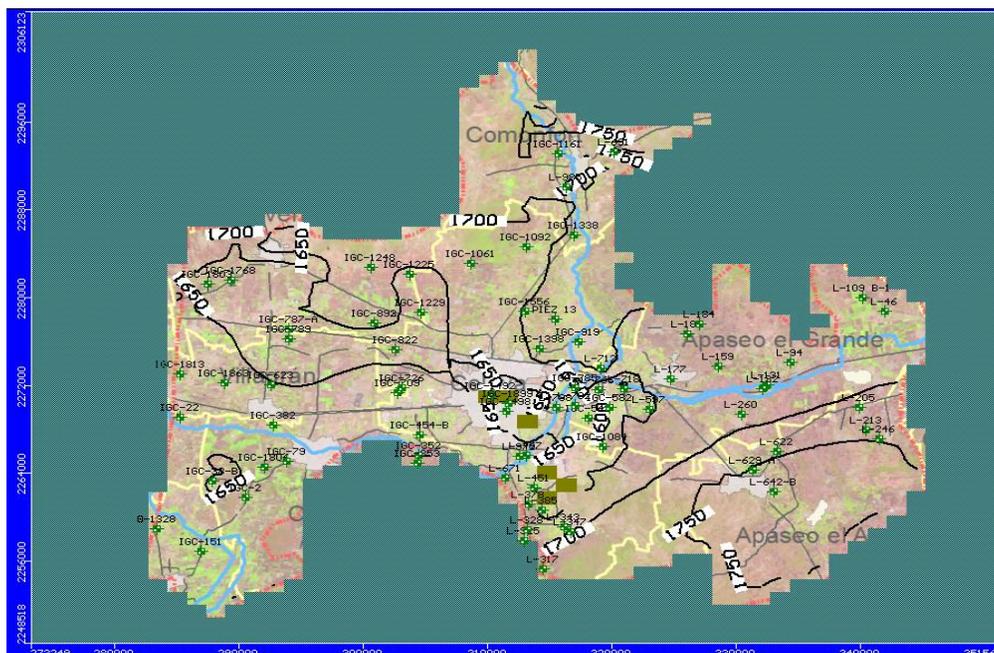


Figura 5.10 Equipotenciales escenario Optimista

Tabla V.11 Escenario Optimista, Balance hidrológico acumulado 2013 a 2030

Entradas (Mm ³)		Salidas (Mm ³)	
Recarga	5,249.45	Bombeo	6,845.91
Infiltración de Ríos	17.61	Salidas Horizontales	1,579.83
Entradas Horizontales	3,613.21		
Total	8,880.27	Total	8,425.74
Cambio de Almacenamiento		454.54 Mm ³	

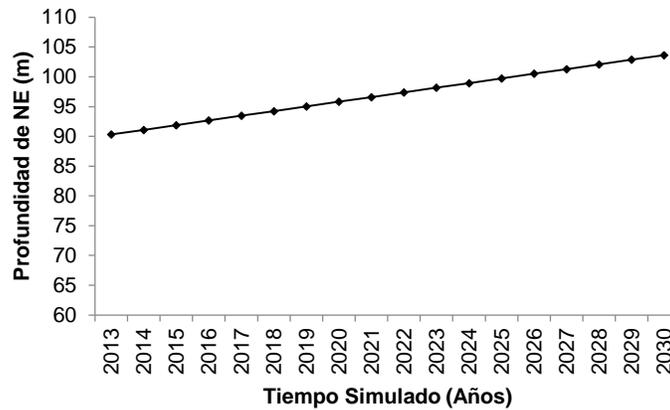


Figura V.11 Escenario Optimista, niveles estáticos

5.4 Costos unitarios de extracción de agua subterránea

Solo se analizó la variable costo de operación (energía eléctrica) ya que no se cuentan con los datos suficientes (profundidad de pozo y capacidad del equipo de bombeo) para analizar los costos de mantenimiento e inversión de cada pozo. De acuerdo a la NOM-006-ENR-95 la empresa GONDWANA EXPLORACIONES S.C en el 2003 monitoreó 150 pozos llegando a la conclusión que la eficiencia electromecánica de los pozos del acuífero Valle de Celaya es de 65.63%. La figura 5.12 muestra la comparación de costo de energía de bombeo a través de los tres diferentes escenarios simulados anteriormente en MODFLOW. El precio base inicial de energía fue de 0.60 centavos (CFE, 2015) y se incremento de acuerdo a la tasa de interés de 3% del banco de México (BANXICO, 2016).

Como el costo de energía está en función de la profundidad del nivel dinámico de extracción, a mayor profundidad se incrementa el costo (Figura 5.13). El costo unitario para extraer un metro cúbico por segundo a un metro de profundidad es de 15 pesos m.n. Si comparamos el costo acumulado de los años 2013 a 2030 del escenario base vs escenario optimista hay una diferencia de 4,085 millones de pesos, dinero que podría ser destinado para diversos programas de mejora social e hídrica, además de que sería un ahorro directo para el gobierno por que subsidia el costo de energía eléctrica para los productores agrícolas (tarifa 9N) siendo alrededor de un 80% de la extracción de aguas subterráneas dentro del acuífero Valle de Celaya.

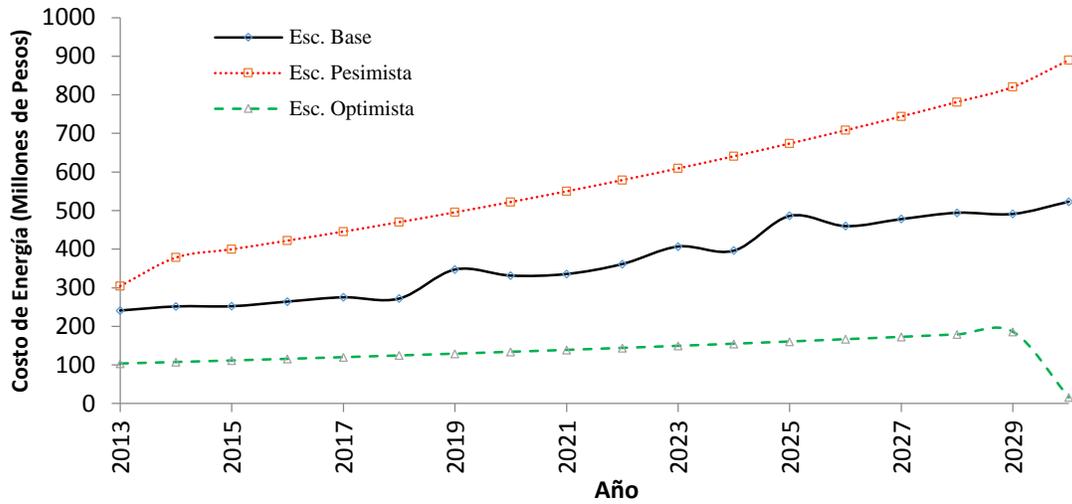


Figura V.12 Costo energético de extracción de agua subterránea

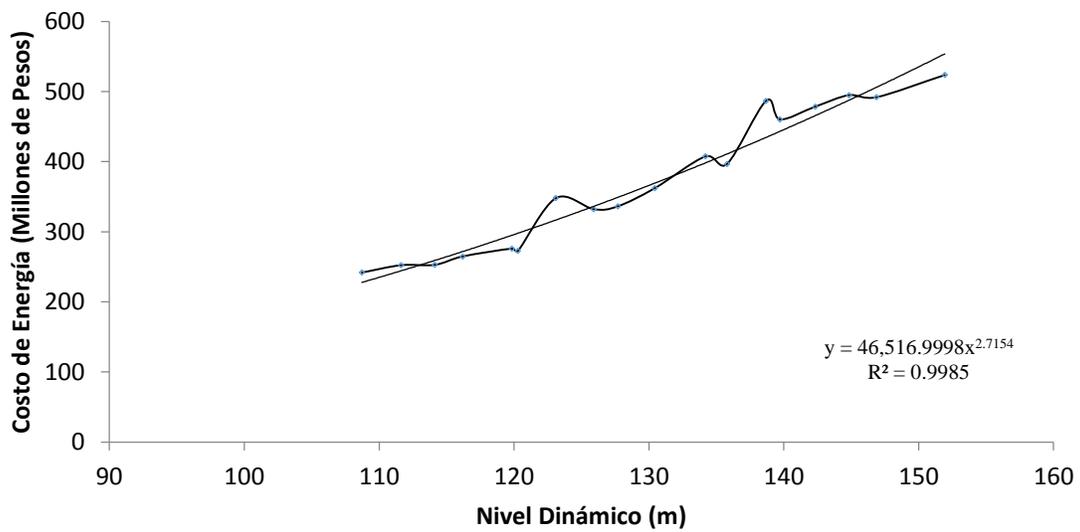


Figura 5.13 Relación de Costo de energía VS Profundidad de Nivel Dinámico

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La evaluación de la sobreexplotación del acuífero Valle de Celaya por el método de balance hidrológico resultó de -445.07 Mm^3 y por el método de evolución de niveles de agua resultó 386.58 Mm^3 . Se puede decir que en general el acuífero tiene un minado del orden de 400 Mm^3 , dada la incertidumbre de la información disponible.
- El abatimiento medio registrado del nivel estático en 76 pozos de observación CEAG para el periodo 2005 a 2013 resultó de 1.77 m/año , el cual confirma el proceso de sobreexplotación del acuífero.
- Para obtener información más confiable, indispensable para elaborar un plan realista de manejo sustentable del acuífero, es necesario que se realicen más y mejores estudios de monitoreo de niveles freáticos, así como de determinación de las características geo hidrológicas como la transmisividad y coeficiente de almacenamiento y sus variaciones en el acuífero.
- Tan importante como la información geo hidrológica es la actualización periódica del censo de aprovechamientos de aguas subterráneas, indispensable para conocer los volúmenes verdaderos de extracción de agua. También es importante valorar y eventualmente combatir la extracción clandestina de agua.
- Con la información disponible es posible, sin embargo, señalar algunos cambios que pueden ayudar a reducir la sobre-explotación, como el cambio de cultivos de alto consumo de agua, como la alfalfa, por otros con menores requerimientos hídricos.
- De la simulación con el software MODFLOW se calculó un abatimiento medio del nivel estático del acuífero de 2.42 m/año para el escenario base; de 2.87 m/año para el escenario pesimista y de 0.78 m/año para el escenario optimista.
- Dadas las mayores profundidades y volúmenes de agua en el escenario base con relación al escenario optimista, se podría obtener un ahorro en los costos de energía del orden de 4,085 millones de pesos para el periodo simulado.

Recomendaciones

1. Actualizar el censo de aprovechamientos subterráneos con la información más completa y real posible (Propietario, Título, Coordenadas, Volumen, Altura de brocal, etc.)
2. Crear una batería de pozos de observación en la periferia del acuífero para determinar gradientes del flujo subterráneo.
3. Crear un sistema Pokayoque “a prueba de errores” para las cuadrillas que verifican el nivel estático en los pozos que designan las “autoridades”, para evitar errores de medición ya sea por factores humanos, materiales y/o técnicos (Torres J., 2011)
4. Crear obras de captación de agua de lluvia para abastecer al menos parte de la demanda doméstica y para agricultura de traspatio en zonas rurales.
5. En el acuífero Valle de Celaya el principal cultivo es la alfalfa con un consumo hídrico de 550 Mm^3 por lo que se recomienda hacer campañas para cambiar este cultivo por otros con menor requerimiento hídrico.
6. Cambiar los títulos de concesión de agua subterránea de volúmenes fijos a porcentajes de recarga del periodo anterior. Por ejemplo la recarga vertical dentro del acuífero de Valle de Celaya es de 317.15 Mm^3 y por derechos de título de concesión de agua se extraen 382 Mm^3 lo que implica que se sobre explota el acuífero de una forma legal.
7. Aumentar la capacidad de tratamiento de aguas negras y dar estímulos para utilizar esta agua para el campo y la industria.
8. Fortalecimiento de los Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) del acuífero para la supervisión y cumplimiento de las leyes de aguas nacionales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Diario Oficial de La Federación. (2014). *Ley de Aguas Nacionales*. México.
- Legates, D., & Gregory, J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic. *JOURNAL WATER RESOURCES RESEARCH*, 35(1), 231-241.
- American Society of Civil Engineers. (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. New York.
- Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (1992). *Applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport*. New York: Academic Press.
- BANXICO. (2016). *taza de interes*. Obtenido de <http://www.banxico.org.mx/dyn/portal-mercado-valores/index.html>
- Bardsley, W., & Purdie, J. (2007). An invalidation test for predictive models. *Journal of Hydrology*, 338.
- Bear, J. (1979). *Hydraulics of Groundwater*. New York: McGraw-Hill.
- Bear, J. (1994). *Modeling Groundwater Flow and Pollution*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- Bowen, R. (1986). *Groundwater*. Springer Science & Business Media.
- Candela, L. (1991). *Sobre explotación de acuíferos*. Isla Canarias: Asociación Internacional de Hidrólogos.
- CEASG. (1999). *Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato 2000-2025*. Guanajuato.
- CFE. (2015). *Conoce tu tarifa*. Obtenido de http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HSL&Anio=2016&mes=3
- Chavez Morales, J. (2013). *Apuntes de Hidrología Superficial*. Texcoco: COLPOS.
- CLICOM. (2013). *Base de datos climatológica nacional (SISTEMA CLICOM)*. Obtenido de <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Comisión Estatal del Estado de Guanajuato. (2011). *Situación Hidrológica Fortalezas y retos*. Guanajuato.
- Comisión Nacional de Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcatarrillado y Saneamiento "Pruebas de Bombeo"*. México DF.
- Comisión Nacional de Agua. (2008). *Actualización de la disponibilidad media actual de agua subterránea del acuífero (1115) Valle de Celaya, estado de Guanajuato*. Mexico: Diario Oficial de la Federación.
- CONABIO. (1998). *Climas clasificación Köppen, modificado por García*. México, DF.

- CONAGUA. (1994). *Manual para Evaluar Recursos Hidraulicos Subterráneos*. México: Hidrolegro SC.
- CONAGUA. (2008). *Estadísticas del Agua en México*. Mexico, DF.
- CONAGUA. (2009). DCLXXI No 20. *Diario Oficial de la Federación*.
- CONAGUA. (2012). *Atlas de Agua*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/atlas/>
- CONAGUA. (31 de enero de 2013). Acuerdo por lo que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos. *Diario Oficial de la Federación*, 86.
- CONAGUA. (2013). *Consulta a la base de datos del REPGA*. Recuperado el 15 de 01 de 2015, de <http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>
- CONAGUA. (2013). *Estadísticas del Agua* . México.
- CONAGUA. (2013). *Información climática acuífero de Valle de Celaya*. CELAYA.
- CONAGUA. (2014). *Estadísticas de distritos de riego*. Recuperado el 2014, de <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaHidrometrica/fuente.php>
- CONAPO. (2014). *PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN 2010-2050*. Recuperado el 12 de 2014, de <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>
- Crespo Pichardo, G. (2005). *Software PALMER 3.0.0.1*. Texcoco: COLPOS.
- Custodio, E., & Llamas, R. (2001). Hidrología subterránea. Barcelona: Omega.
- Diario Oficial de la Federación. (2003). *ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados*. México.
- Diario Oficial de la Federación. (2015). NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de aguas nacionales. *Diario Oficial de la Federación*.
- Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1990). *PHYSICAL AND CHEMICAL HIDROLOGY*. New York.
- Drever, J. (1997). *The Geochemistry of Natural Waters Surface and Groundwater Environments*. New York: Pearson Education.
- Escobar Villagran, B. (2010). TESIS. *Análisis de la sobreexplotación del acuífero de Texcoco*. Texcoco: COLPOS.
- Escobar, B. S., & Palacios, L. O. (2012). Análisis de la sobreexplotación del Acuífero de Texcoco, México. *Tecnología y Ciencias de Agua*, 67-84.
- Escolero, O. (1993). *Manejo óptimo de acuíferos tesis de maestría* . México DF: UNAM.
- Falkenmark, M., & Molden, D. (2008). *Wake Up to Realities of River Basin Closure*. International Journal of Water Resources Development.
- FAO. (2008). *Portal de Suelos de FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/clasificacion-de-suelos/es/>

- FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua "Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria"*. ROMA.
- Fitts, C. R. (2002). *Groundwater Science*. San Diego: Academic Press.
- Fletcher G Driscoll. (1987). *Groundwater and Wells*. Minnesota: Johnson Division.
- Garduño-Monroy, V., & Arreygue-Rocha, E. (2001). Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos.
- GEOPE SA DE CV. (1980). *Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos del Valle de Celaya*.
- Gondwana Exploraciones S. C. (2003). *Cuatificación de la Extracción del Agua Subterránea en el Valle de Celaya; Gto.*
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Otuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- GYIMSA SA de CV. (1997). *Estudio de Simulación Hidrodinámica y Diseño Óptimo de la Red de Observación del Acuífero de Celaya*.
- Hantush. (1964). *Hdraulics of wells. Advances in hydroscience*. USA: Academic Press.
- Harbaugh, A. (2006). *Visual MODFLOW User's Manual*. Ontario: USGS.
- Hill, M. C., & Tiedeman, C. R. (2007). *Effective Groundwater Model Calibration*. New York: WILEY- INTERSCIENCE A JHHN WILEY AND SONS.
- IMTA. (2009). *Software Eric III 2.0*. Cuernavaca.
- INEGI. (1995). *Carta Hidrogeológica de Aguas Superficiales 1:250 000 Querrétaro F14-10*. México.
- INEGI. (2012). *INEGI. Aspectos generales del territorio mexicano. Recursos Naturales. Edafología*. Obtenido de <http://mapserver.inegi.org.mx>.
- INEGI. (2014). *CENSOS Y CONTEOS DE POBLACIÓN Y VIVIENDA*. Recuperado el DIC de 2014, de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/>
- Ingeniería Geológica Computarizada, S. A., & CEAS de Guanajuato. (Octubre de 1999). *Estudio Hidrogeológico y Modelo Matemático del Acuífero del Valle de Celaya*.
- Johson, B. (08 de Octubre de 2014). Groundwather recharge on farmland. *revista*. Davis, California, USA: UC DAVIS.
- JUAMAPA. (2009). *Resultados Acciones PATME 2006-2009*. Celaya.
- LESSER Y ASOCIADOS SA DE CV. (1995). *Estudio Hidrogeologico y Modelo Matematicos Acuíferos los Apaseos*. Querretaro: CEAG.
- Lovato Sánchez, R. (2009). *Climatología Basica*. IMTA.
- Manuel Martínez M, M. (2014). *Introducción a la Modelación Matemática del Flujo Subterráneo*. Cuernavaca: IMTA.

- Montgomery, C. (2006). *Environmental Geology*. NY: McGraw-Hill.
- Moriasi, V. L. (2007). Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agriculture and Biological Engineer*, 16.
- Ortiz Solorio, C. A. (1987). *Elementos de Agrometeorología Cuantitativa*. Chapingo: UACH.
- Otálvaro, M. V. (1999). *Hidráulica en Aguas Subterráneas*. Medellín: Universidad Autónoma de Colombia.
- Palacios Vélez, O. L. (2014). Apuntes de curso Flujo en Medios Porozos. *HID-623*. Texcoco, Edo de México.
- Peña, S. (2014). *Introducción a la Hidrología Subterránea*. México: SPD.
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2010). *Manejo integrado de agua*. Obtenido de <http://www.pnuma.org/agua-miaac/SUBREGIONAL%20MESO/MATERIAL%20ADICIONAL/PRESENTACIONES/PONENTES/Tema%202%20-%20Herramientas%20para%20MIAAC/Balance%20Hidrico%20y%20Caudal%20Ecologico%20-%20M%20Hernandez/Balance%20Hidrico.pdf>
- Rafael Huizar-Álvarez, L. M.-S.-C.-C.-R. (2011). Subsidence in Celaya, Guanajuato, Central Mexico: implications for groundwater extraction and the neotectonic regime. *Geofísica internacional*.
- Röhrich, T. (2008). *Aquifers Test v.4.2 Users' Manual*. Wartelo: Schumberger Water Services.
- Sanchez San Roman, J. (2014). *Ley de Darcy*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Sánchez, S. (2006). *Departamento Geología Universidad de Salamanca*. Obtenido de web.usal.es
- Sandoval Solis, S. (2008). *Spatial Analysis of Fiel Application Efficiency in Irrigation for the State of California*. Davis.
- SARH. (1980). *SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA DEL VALLE DE CELAYA, EN EL ESTADO DE GUANAJUATO*. Realizado por la empresa GEOPE S. A. Para la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas de la Secretaría de Agric.
- SCHAWARTZ, F. W., & ZHANG, H. (2003). *FUNDAMENTALS OF GROUNDWATER*. New York: JHON WILEY AND SONS, INC.
- Secretaría de Energía. (2015). NOM-006-ENER-2015, Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo. *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1973). *Características de los Distritos de Riego* (3ra ed., Vol. Tomo II). DF.

- Secretaria Desarrollo Agrolimentario y Rural. (octubre de 2013). *Secretaria Desarrollo Agrolimentario y Rural*. Obtenido de <http://sda.guanajuato.gob.mx/agricultura.html>
- SEMANART. (2001). *Ordenamiento Ecológico del Estado de Durango*.
- SERVICIOS INGENIERIA E INVESTIGACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE SA DE CV. (2000). *Actualización de aprovechamientos en el acuífero de los Apaseos; Gto.*
- Sokolov , & Chapman. (1981). *Métodos para el Cálculo de Balance Hidráulicos*. Cd de México: UNESCO.
- Torres J., V. J. (2011). Sistema Poka - Yoke. *Programación Matemática y Software*, 12.
- Trujillo-Candelaria, J. A. (1991). Fallamiento de terrenos por efecto de la sobreexplotación de acuíferos en Celaya, Guanajuato, México. In XXIII Congress of the Association of International Hydrologists, Sobreexplotación de acuíferos. España.
- Unitecnia, S.A. de C.V, & CNA. (1997). Estudio para la actualización de las mediciones piezométricas del acuífero del Valle de Celaya, que se encuentra en el Estado de Guanajuato.
- Warren, V. J., & Gary, L. L. (2003). *INTRODUCTION TO HIDROLOGY*. NY USA: Pearson Education INC.

VIII. ANEXOS

8.1 Pruebas de bombeo

En el presente anexo se explican los principales métodos de pruebas de bombeo de acuerdo a la tabla 3.7

Método de recuperación de Theis

Para estudiar la curva de recuperación registrada al final de la etapa de bombeo, se puede considerar que el bombeo se mantiene teóricamente constante a un gasto +Q, pero que interviene un segundo gasto -Q que elimina al primero. En estas condiciones, si t es el tiempo contado a partir del inicio del bombeo, y t' es el tiempo contado a partir de que se suspendió el mismo, el abatimiento residual de la curva de recuperación es la diferencia entre el abatimiento s1 debido al bombeo +Q y el abatimiento s2 debido al bombeo -Q.

$$s_1 = (0.183 Q/T) \log (2.25 Tt/x^2s)$$

$$s_2 = (0.183(-Q)/T) \log (2.25 Tt'/x^2s)$$

Por lo que

$$s_1 - s_2 = s' = (0.183 Q/T) \log (2.25 Tt/x^2s) - (0.183 (-Q)/T) \log (2.25 Tt^2/x^2s)$$

$$s' = (0.183 Q/T) \log (2.25 Tt/x^2s) (x^2s/2.25 Tt)$$

$$s' = (0.183 Q/T) \log (t/t')$$

Al graficar s' y t/t' en papel semilogarítmico (t/t' en la escala logarítmica) da como resultado una línea recta. La pendiente de la línea es:

$$As' = (2.3 Q/4 \pi T)$$

Donde As' es la diferencia del abatimiento residual por ciclo logarítmico de t/t' .

El método de recuperación de Theis es aplicable si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) aparente extensión superficial infinita del acuífero.
- b) en el área influida por la prueba, el acuífero es homogéneo, isótropo y de espesor uniforme.
- c) el bombeo es a caudal constante.
- d) el pozo de bombeo penetra totalmente en el acuífero recibiendo agua de todo el espesor, siendo el flujo horizontal.
- e) el acuífero es confinado. El flujo de agua hacia el pozo es en régimen variable, no siendo despreciable el abatimiento con el tiempo, ni el gradiente hidráulico constante.
- g) la extracción del agua almacenada produce inmediato descenso en la carga hidráulica
- h) el diámetro del pozo de bombeo es muy pequeño, es decir, se puede despreciar el almacenamiento en el pozo.

Se observa que el método fue propuesto para acuíferos confinados y con pozo de observación, sin embargo, existen modificaciones al método para condiciones diferentes, tal como presentan Kruseman y De Rider en "Analysis and Evaluation of Pumping Test Data" 1990, y que se enuncia a continuación.

Método de Jacob

El Método de Jacob (Cooper Jacob, 1946), está basado en la ecuación de Theis de la ecuación

$$s = \frac{Q}{4\pi KD} W(u) = \frac{Q}{4\pi KD} \left(-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots \right)$$

Dónde:

S = abatimiento del pozo (Nivel dinámico – nivel estático)

Q= caudal del pozo

K= conductividad hidráulica

D= espesor del acuífero

De $u=r^2S/4KDt$, se puede ver que u decrece conforme el tiempo de bombeo se incrementa y la distancia r desde que el pozo decrece. De acuerdo a esto, para observaciones hechas cerca de la vecindad del pozo después de un tiempo suficientemente largo de bombeo, los términos más allá de $un u$ en la serie se vuelven tan pequeños, que pueden ser despreciados. De modo que para valores de u ($u<0.01$) se puede aproximar por medio de:

$$s = \frac{Q}{4\pi KD} \left(-0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4KDt} \right) \dots\dots\dots 2$$

Después de reescribir y cambiar a logaritmos decimales esta ecuación se reduce a

$$s = \frac{2.30Q}{4\pi KD} \log \frac{2.25KDt}{r^2 S}$$

Debido a que Q, KD y S son constantes, si utilizamos observaciones de abatimiento a corta distancia r del pozo, una gráfica de abatimiento s contra el logaritmo de t donde

s=0 y t=t₀ sustituyendo estos valores en la ecuación (2) tenemos

$$0 = \frac{2.30Q}{4\pi KD} \log \frac{2.25KDt_0}{r^2 S}$$

De aquí se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$S = 2.25KD(t / r^2)_0 \dots\dots\dots 3$$

$$KD = \frac{2.30Q}{4\pi \Delta s} \dots\dots\dots 4$$

El método de la línea recta de Jacob, puede ser aplicado si se satisfacen los siguientes supuestos, además de los ya citados en el método de Theis:

- El flujo hacia el pozo está en estado no establecido
- Los valores de u son pequeños ($u < 0.01$), r es pequeño y t es lo suficientemente largo.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo gráfico del uso de este método

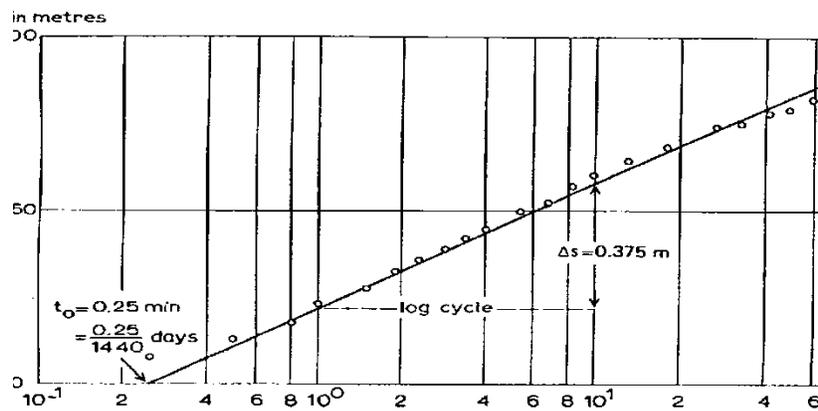


Figura 8.1 Método de Jacob

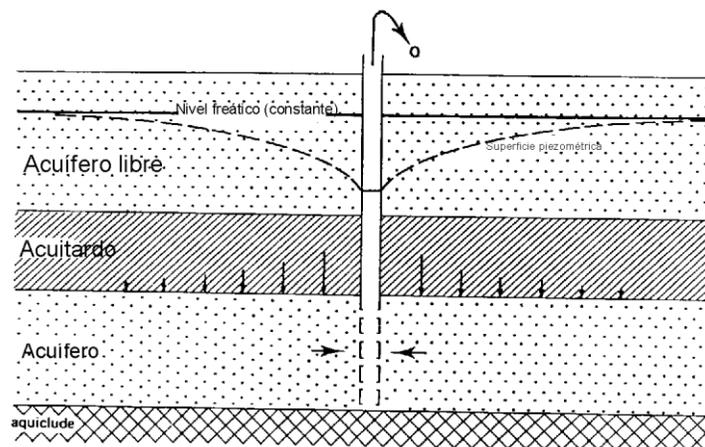


Figura 8.2 Sección de un acuífero semiconfinado con bombeo

Método de Neuman

Neuman (1972) desarrolló una teoría de respuesta retardada del nivel freático que está basada en los parámetros físicos bien definidos del acuífero libre. Neuman trata al acuífero como un sistema compresible y el nivel freático como un límite de material en movimiento.

En la siguiente figura se presenta el modelo conceptual en el cual está basado este método

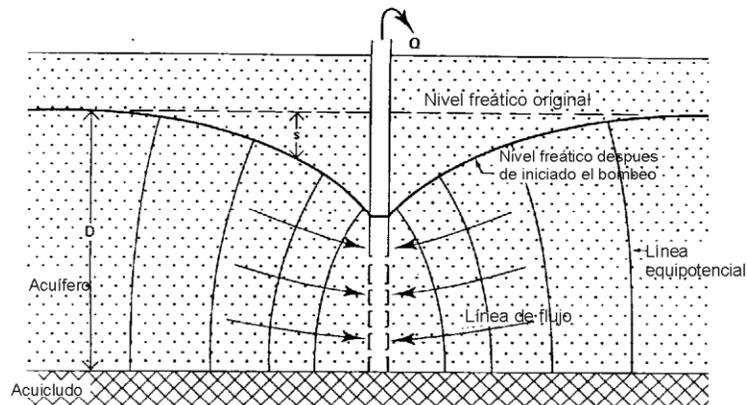


Figura 8.3 Sección de un acuífero libre bombeado

Él reconoce la existencia de componentes de flujo vertical y su solución general del abatimiento es una función tanto de la distancia del pozo r y la elevación de la carga hidráulica. Cuando se considera un abatimiento promedio, él tiene la capacidad de reducir su solución general a una que es función sólo de r . Matemáticamente, Neuman simuló la respuesta diferida del nivel freático, tratando el almacenamiento elástico S_A y el rendimiento específico S_y como constantes.

Corrección de Theis-Jacob

Cuando el nivel estático de un acuífero semiconfinado o confinado es iguala al nivel piezométrico, la Transmisividad no es constante, aumentando o disminuyendo los abatimientos esto significando que hay una componente vertical y horizontal en el flujo de agua.

Jacob realizó una corrección a su fórmula para acuíferos libres vista anteriormente, para poder determinar las características hidráulicas de un acuífero semiconfinado o confinado, la corrección se describe como:

$$s_{cor} = s - \left(\frac{S^2}{2D}\right)$$

Dónde:

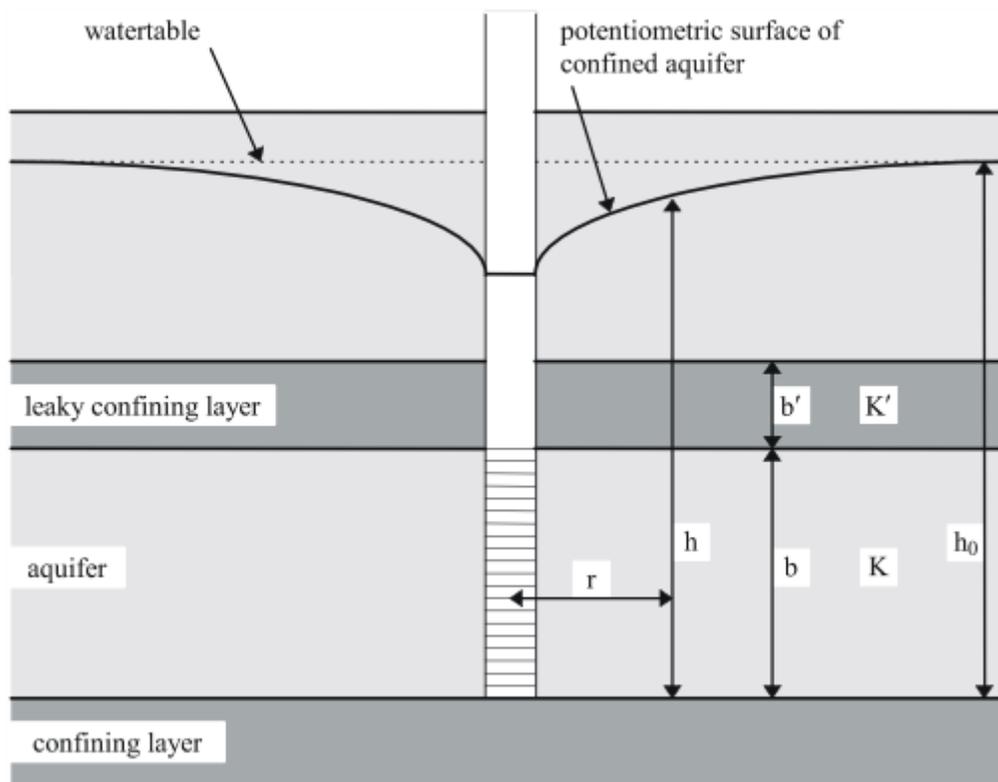
S_{cor} = corrección de abatimiento

S = abatimiento

D = espesor original de zona saturada

Hantush- Jacob (Walton)

Los acuíferos confinados y semiconfinados en las fronteras no son totalmente permeables, reciben una carga de recarga. Walton desarrollo una solución a este problema



En el caso de recarga de acuíferos confinados o semiconfinados, la función de bombeo $W(u)$ se puede sustituir por Walton $W(u, r/L)$ o Hantush $W(u, B)$ la solución es la siguiente:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W\left(u, \frac{r}{L}\right)$$
$$L = \sqrt{Tc}$$

Dónde:

L= factor de recarga (el factor de recarga es el término de β del método de Hantush)

T= Transmisividad del acuífero

C= resistencia hidráulica (tiempo)

8.2 Localización del acuífero Valle de Celaya de acuerdo al Diario Oficial de la Federación en el 2008

VERTICES	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	30	27.3	20	25	42.0	
2	100	32	18.5	20	24	28.4	
3	100	33	50.9	20	22	36.8	
4	100	39	5.3	20	21	1.0	
5	100	39	19.7	20	23	59.3	
6	100	44	13.4	20	22	17.5	
7	100	52	38.3	20	24	31.9	
8	100	58	8.0	20	20	13.8	
9	101	5	42.7	20	21	7.5	
10	101	4	13.8	20	27	54.3	
11	101	3	9.0	20	45	1.9	
12	101	0	40.0	20	46	15.8	
13	101	2	9.4	20	48	1.3	
14	101	0	18.1	20	49	49.3	
15	100	54	55.2	20	50	47.9	
16	100	53	40.6	20	52	21.3	
17	100	51	33.4	20	50	24.4	
18	100	47	19.0	20	50	57.5	
19	100	44	29.8	20	49	23.4	
20	100	43	9.2	20	49	52.4	
21	100	34	36.2	20	48	35.6	DEL 21 AL 22 POR EL LIMITE ESTATAL
22	100	34	23.6	20	43	51.2	DEL 22 AL 23 POR EL LIMITE ESTATAL
23	100	30	23.0	20	31	52.4	DEL 23 AL 24 POR EL LIMITE ESTATAL
24	100	29	21.1	20	26	40.0	
1	100	30	27.3	20	25	42.0	

8.3 Datos Climáticos

Precipitación en el Acuífero de Valle de Celaya														
Clave	Nombre	Promedios mensuales Históricos												Anual promedio
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<u>11005</u>	Apaseo el Grande	12.17	11.20	5.98	7.68	31.38	109.76	164.49	122.10	113.03	37.43	14.00	5.19	634.41
<u>11006</u>	Apaseo el Alto	13.86	15.06	3.85	10.99	27.12	126.24	159.49	126.08	108.53	49.67	12.88	4.07	657.85
<u>11009</u>	Celaya	12.86	11.22	5.79	9.63	26.27	95.85	150.45	137.91	106.73	32.68	13.32	4.75	607.47
<u>11011</u>	Cinco Señores	13.70	12.90	5.07	13.90	38.94	117.01	149.56	106.88	117.07	34.49	13.02	5.71	628.26
<u>11012</u>	Coroneo	12.77	11.95	9.13	13.58	39.18	103.11	144.01	117.87	102.66	36.63	13.30	5.95	610.14
<u>11013</u>	Cortázar	12.99	10.88	5.73	7.08	35.44	110.56	155.13	122.53	118.55	32.99	10.37	4.63	626.88
<u>11022</u>	Terrero	10.68	11.76	6.48	13.08	28.55	130.19	165.04	129.79	112.41	42.62	14.43	6.09	671.12
<u>11033</u>	Begoña	13.38	12.92	5.87	12.15	38.08	99.87	145.78	97.10	106.37	40.52	11.84	5.80	589.68
<u>11041</u>	Los Razos	12.15	8.90	4.50	15.03	25.44	111.56	150.00	107.38	100.14	30.86	7.02	3.75	576.71
<u>11048</u>	Neutla	11.14	11.47	3.56	7.39	29.26	107.03	137.08	105.43	105.85	38.61	9.86	4.70	571.39
<u>11052</u>	Pericos	11.79	11.06	4.94	6.27	25.65	103.21	150.54	130.83	107.90	34.68	11.43	4.94	603.24
<u>11072</u>	Santa Rita	13.20	11.43	5.93	7.51	28.37	105.94	184.38	149.68	129.37	34.53	9.18	4.24	683.75
<u>11075</u>	Soledad Nueva	15.75	15.94	5.80	10.92	31.54	65.17	109.95	94.90	83.06	25.34	7.12	3.40	468.89

<u>11100</u>	Roque	10.37	8.82	4.73	7.24	28.02	83.05	123.61	105.90	99.78	32.85	11.05	4.59	520.00
<u>11105</u>	El Ameche	11.22	11.31	4.00	12.02	28.41	112.23	145.60	115.27	95.86	35.74	10.43	4.37	586.46
<u>11122</u>	Presa Jalpa	16.10	12.29	5.65	11.54	34.34	106.57	152.66	111.18	102.79	42.25	14.80	6.47	616.63
<u>11145</u>	La Gavia	10.58	7.85	4.49	3.79	20.92	111.49	165.41	145.32	102.98	31.55	8.35	5.29	618.02
<u>11150</u>	San José el Alto	13.27	10.13	3.40	4.14	26.59	96.26	158.88	137.11	101.40	26.51	8.75	3.76	590.20
<u>22004</u>	El Batan	19.50	22.36	26.22	24.64	49.57	50.86	70.97	55.27	41.55	34.81	24.65	20.00	440.40
<u>11136</u>	La Joyita	17.61	11.22	8.36	11	22.64	111.8	160.3	149.19	101.91	43.53	7.08	6.98	653.62
<u>11007</u>	Calderones	16.70	7.40	7.50	12.00	38.20	120.30	157.90	144.90	123.50	45.60	13.20	9.30	696.50
<u>11066</u>	San José Iturbide	13.30	6.20	7.80	22.40	45.40	94.20	109.90	89.30	76.40	39.00	10.20	5.00	519.10
<u>11085</u>	Los Arroyos, SMA	16.70	8.30	6.20	11.90	29.40	106.20	183.90	150.10	100.00	45.20	11.00	7.80	676.70

Temperatura en el Acuífero de Valle de Celaya														
Clave	Nombre	Promedios mensuales Históricos												Anual promedio
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
11012	Coroneo	13.58	14.44	16.17	18.21	19.20	19.06	17.88	17.84	17.56	16.80	15.72	14.45	16.74
11005	Apaseo el Grande	15.02	16.51	18.56	21.14	22.80	22.24	21.09	20.88	20.41	19.05	17.35	15.79	19.24
11006	Apaseo el Alto	15.68	17.16	19.16	21.46	22.91	22.43	20.99	21.10	20.52	19.34	17.85	16.25	19.57
11009	Celaya	16.03	17.41	19.32	21.60	22.97	22.60	21.14	21.14	20.92	19.86	18.41	16.88	19.86
11011	Cinco Señores	13.32	14.82	17.40	20.08	21.85	21.20	19.92	19.55	19.21	17.41	15.29	13.42	17.79
11013	Cortázar	15.64	16.89	19.07	21.55	23.02	22.75	21.23	21.27	20.62	19.49	17.99	16.33	19.65
11022	Terrero	14.18	15.61	17.84	20.11	21.30	20.29	18.85	18.78	18.43	17.26	15.59	14.42	17.72
11033	Begoña	13.53	15.41	17.73	20.35	21.69	21.06	19.84	19.79	19.11	17.52	15.82	14.10	18.00
11041	Los Razos	15.85	18.05	20.71	22.71	23.96	23.11	21.66	21.41	20.69	19.60	17.58	16.01	20.11
11048	Neutla	13.96	15.54	17.80	20.36	22.21	21.86	20.61	20.38	19.87	18.37	16.33	14.51	18.48
11052	Pericos	14.34	15.42	16.98	19.58	21.89	22.18	20.87	20.56	20.09	18.45	16.46	14.88	18.47
11072	Santa Rita	14.88	16.10	17.77	20.41	22.34	21.98	20.76	20.67	20.18	18.73	16.93	15.40	18.84
11075	Soledad Nueva	13.49	14.69	16.79	18.99	19.68	20.17	19.44	19.35	18.48	18.00	16.02	15.23	17.53
11100	Roque	13.93	15.06	17.22	19.71	21.52	21.18	19.96	19.53	19.10	17.64	15.96	14.53	18.52
11105	El Ameche	13.97	15.30	17.33	19.93	21.72	21.46	20.15	20.04	19.49	18.04	16.16	14.52	18.18
11122	Presa Jalpa	13.53	14.99	17.25	19.63	20.90	20.24	19.13	18.96	18.35	17.02	15.43	13.94	17.45
11145	La Gavia	13.82	15.52	17.56	19.82	21.07	20.55	18.94	18.85	18.52	17.39	15.95	14.48	17.70
11150	San José el Alto	13.43	14.49	16.67	19.18	20.93	20.56	19.38	19.19	18.45	16.86	15.39	13.58	17.34
22004	El Batan	13.74	14.93	16.88	19.52	20.89	20.40	19.32	19.38	18.85	17.43	15.55	14.22	17.59

11136	La Joyita	9.60	10.40	12.40	15.70	18.10	18.70	17.40	17.20	16.60	15.20	13.00	10.20	14.54
11007	Calderones	10.60	11.20	12.70	13.80	15.00	15.00	14.40	14.30	14.00	13.10	12.00	11.20	13.11
11066	San José Iturbide	6.30	7.40	10.00	12.60	14.20	14.60	13.70	13.60	12.90	10.80	8.60	7.00	10.98
11078	Tarimoro	8.70	9.80	11.80	14.90	17.00	17.40	16.70	16.30	16.10	14.10	11.10	9.30	13.60
11085	Los Arroyos, SMA	7.60	8.60	11.10	14.10	15.50	15.40	14.60	14.50	14.10	12.30	9.80	8.00	12.13

8.4 Prueba de Calidad de Datos.

PRUEBAS PARA VERIFICAR LA CALIDAD DE LOS DATOS

1. Calidad de los Datos

Pruebas de Asimetría y Homogeneidad

Cuando existe *asimetría*, los valores de la mediana (Me) y la media aritmética (\bar{x}) difieren y esta se evalúa mediante el índice de Asimetría (I.A.).

$$I.A. = \left(\frac{Me - \bar{x}}{\bar{x}} \right) 100 \quad \text{Siendo cero cuando la distribución es simétrica, positivo cuando existe asimetría a la derecha y negativo cuando existe asimetría a la izquierda}$$

Homogeneidad (metodo de Sved Eisenhart). Se usan los datos en orden cronológico (Columna E), se cuenta el número de veces en que la serie cambia de Me y viceversa (los datos ordenados cronológicamente). El número total de cambios S se aumenta en una unidad y se compara con los límites de la distribución

$1+1.1 (n/2)$ límite superior

$-1+0.9 (n/2)$ límite inferior

n es el número de años

Cuando S está entre los límites se considera que la muestra es homogénea, con lo cual se puede hacer un análisis de probabilidad normal.

N (número de orden)	Año	Precipitación Anual (mm)	Precipitación Anual (mm) de < a >	Precipitación Anual (mm) cronológicamente	Distribución Acumulativa ¹ $F = N/(n+1) = P(x \geq x_0)$	Distribución Normal o Gauss Laplace ² $P(z \geq z_0)$	Distribución Galton o Log-Normal ³ $P(z \geq z_0)$	Distribución Gamma-Incompleta ⁴ $P(x > x_0)$
1	1983	744.9	397.819375	744.9	0.03	0.0355	0.0187	0.0277
2	1984	603.225	422.4125	603.225	0.06	0.0549	0.0375	0.0301
3	1985	666.009	428.0535	666.009	0.09	0.0603	0.0433	0.0469
4	1986	718.617	446.204	718.617	0.13	0.0808	0.0662	0.0890
5	1987	484.491	476.261	484.491	0.16	0.1254	0.1196	0.0898
6	1988	534.8355	484.491	534.8355	0.19	0.1402	0.1377	0.1572
7	1989	446.204	513.1045	446.204	0.22	0.2004	0.2112	0.2079
8	1990	674.6715	518.744	674.6715	0.25	0.2139	0.2275	0.2204
9	1991	710.5375	534.8355	710.5375	0.28	0.2552	0.2764	0.2400
10	1992	716.0315	543.53807	716.0315	0.31	0.2791	0.3042	0.2468
11	1993	548.453	548.453	548.453	0.34	0.2931	0.3202	0.3534
12	1994	518.744	556.8435	518.744	0.38	0.3177	0.3480	0.3559
13	1995	563.0195	563.0195	563.0195	0.41	0.3363	0.3687	0.3660
14	1996	556.8435	596.05221	556.8435	0.44	0.4419	0.4807	0.4740
15	1997	513.1045	603.225	513.1045	0.47	0.4657	0.5047	0.5211
16	1998	646.0425	639.9045	646.0425	0.50	0.5874	0.6212	0.5618

17	1999	428.0535	646.0425	428.0535	0.53	0.6073	0.6393	0.6576
18	2000	476.261	657.7965	476.261	0.56	0.6445	0.6727	0.6799
19	2001	657.7965	666.009	657.7965	0.59	0.6698	0.6949	0.6962
20	2002	688.9385	674.6715	688.9385	0.63	0.6956	0.7173	0.6993
21	2003	855.893	675.141	855.893	0.66	0.6970	0.7184	0.7294
22	2004	809.544	683.665	809.544	0.69	0.7214	0.7393	0.7653
23	2005	422.4125	688.9385	422.4125	0.72	0.7360	0.7517	0.7743
24	2006	675.141	710.5375	675.141	0.75	0.7916	0.7982	0.7774
25	2007	683.665	716.0315	683.665	0.78	0.8045	0.8089	0.7901
26	2008	639.9045	718.617	639.9045	0.81	0.8105	0.8138	0.8022
27	2009	543.5380702	738.974375	543.5380702	0.84	0.8531	0.8491	0.8550
28	2010	759.0425	744.9	759.0425	0.88	0.8642	0.8583	0.8674
29	2011	397.819375	759.0425	397.819375	0.91	0.8884	0.8785	0.8998
30	2012	596.0522102	809.544	596.0522102	0.94	0.9495	0.9321	0.9061
31	2013	738.974375	855.893	738.974375	0.97	0.9787	0.9617	0.9718
$\mu = \bar{x} =$		613.51		0.00	0.0000			
Me =		639.90		0.00				
I.A =		4.30						
El valor del I.A. es positivo por lo que existe una ligera asimetría a la derecha								
<p style="text-align: center;">n= 31 lim Sup = 18.05 lim Inf = 12.95 S = 15</p> <p>Homogeneidad El valor de S es 15 y cae entre los límites por lo tanto la muestra se considera homogénea.</p>								
Desviación Estándar (σ) =		119.50						
$s = \sqrt{s^2}$								
<p>1. F es la Distribución Acumulativa y es la probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia mayor o igual a un valor establecido, es decir, $F = P(x \geq x_0)$ para los datos de precipitación ordenados de mayor a menor; en caso contrario de menor a mayor $F = P(x \leq x_0)$.</p>								

8.5 Prueba de bondad de ajuste de la Precipitación

PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Pruebas para elegir a la distribución de mejor ajuste:

1. PRUEBA DE KOLMOGOROV - SMIRNOV

Se basa en la fórmula:

$$D = \text{máxima} | F_0(x) - S_N(x) |$$

donde:

$F_0(x)$ es la probabilidad de la distribución que se desea probar su ajuste (Normal, Galton, Gamma - Incompleta)

$S_N(x) = k/N$, k es el número de orden y N el número total de observaciones

D es la máxima diferencia o desviación entre $F_0(x)$ y $S_N(x)$

El valor obtenido de D se compara con un valor de D de tabulado, que se escoge en función de un nivel de probabilidad y el número total de observaciones N (Tabla de la página 176 de el libro Agrometeorología Cuantitativa). Si $|D_{\text{máx}}| < |D_{\text{tablas}}|$ entonces existe buen ajuste,

N (número de orden) =k	Precipitación Anual (mm) de > a < ($x_i = p_i$)	SN (x) = k/N	PROBABILIDADES $F_0(x)$				Prueba de Kolmogorov-Smirnov [$F_0(x) - S_N(x)$]			Prueba de Smirnov [$F(x) - ((2i-1)/2n)^2$]			
			Distribución Acumulativa $P(x \geq x_0)$	Distribución Normal o Gauss Laplace $P(x \geq x_0)$	Distribución Galton o Log- Normal $P(x \geq x_0)$	Distribución Gamma- Incompleta $P(x \geq x_0)$	Distribución Normal o Gauss Laplace	Distribución Galton o Log- Normal	Distribución Gamma- Incompleta	(2i-1)/2n	Distribución Normal o Gauss Laplace	Distribución Galton o Log-Normal	Distribución Gamma- Incompleta
1	397.82	0.0323	0.03	0.0355	0.0187	0.0277	0.0033	0.0136	0.0045	0.0161	0.00038	0.00001	0.00013
2	422.41	0.0645	0.06	0.0549	0.0375	0.0301	0.0096	0.0270	0.0344	0.0484	0.00004	0.00012	0.00034
3	428.05	0.0968	0.09	0.0603	0.0433	0.0469	0.0364	0.0535	0.0498	0.0806	0.00041	0.00139	0.00114
4	446.20	0.1290	0.13	0.0808	0.0662	0.0890	0.0483	0.0628	0.0401	0.1129	0.00103	0.00218	0.00057
5	476.26	0.1613	0.16	0.1254	0.1196	0.0898	0.0359	0.0417	0.0715	0.1452	0.00039	0.00065	0.00306
6	484.49	0.1935	0.19	0.1402	0.1377	0.1572	0.0534	0.0558	0.0364	0.1774	0.00139	0.00158	0.00041
7	513.10	0.2258	0.22	0.2004	0.2112	0.2079	0.0254	0.0146	0.0179	0.2097	0.00009	0.00000	0.00000
8	518.74	0.2581	0.25	0.2139	0.2275	0.2204	0.0442	0.0306	0.0376	0.2419	0.00079	0.00021	0.00046
9	534.84	0.2903	0.28	0.2552	0.2764	0.2400	0.0352	0.0139	0.0503	0.2742	0.00036	0.00001	0.00117
10	543.54	0.3226	0.31	0.2791	0.3042	0.2468	0.0435	0.0184	0.0758	0.3065	0.00075	0.00000	0.00356
11	548.45	0.3548	0.34	0.2931	0.3202	0.3534	0.0618	0.0346	0.0014	0.3387	0.00208	0.00034	0.00022
12	556.84	0.3871	0.38	0.3177	0.3480	0.3559	0.0694	0.0391	0.0312	0.3710	0.00284	0.00053	0.00023
13	563.02	0.4194	0.41	0.3363	0.3687	0.3660	0.0830	0.0506	0.0534	0.4032	0.00447	0.00119	0.00139
14	596.05	0.4516	0.44	0.4419	0.4807	0.4740	0.0097	0.0291	0.0224	0.4355	0.00004	0.00204	0.00148

15	603.23	0.4839	0.47	0.4657	0.5047	0.5211	0.0182	0.0208	0.0373	0.4677	0.00000	0.00136	0.00285
16	639.90	0.5161	0.50	0.5874	0.6212	0.5618	0.0713	0.1051	0.0456	0.5000	0.00764	0.01469	0.00381
17	646.04	0.5484	0.53	0.6073	0.6393	0.6576	0.0589	0.0909	0.1092	0.5323	0.00563	0.01146	0.01571
18	657.80	0.5806	0.56	0.6445	0.6727	0.6799	0.0639	0.0920	0.0993	0.5645	0.00640	0.01170	0.01332
19	666.01	0.6129	0.59	0.6698	0.6949	0.6962	0.0569	0.0820	0.0833	0.5968	0.00533	0.00962	0.00988
20	674.67	0.6452	0.63	0.6956	0.7173	0.6993	0.0504	0.0721	0.0541	0.6290	0.00443	0.00778	0.00493
21	675.14	0.6774	0.66	0.6970	0.7184	0.7294	0.0196	0.0410	0.0520	0.6613	0.00127	0.00327	0.00464
22	683.67	0.7097	0.69	0.7214	0.7393	0.7653	0.0117	0.0297	0.0557	0.6935	0.00078	0.00210	0.00515
23	688.94	0.7419	0.72	0.7360	0.7517	0.7743	0.0059	0.0098	0.0324	0.7258	0.00010	0.00067	0.00236
24	710.54	0.7742	0.75	0.7916	0.7982	0.7774	0.0174	0.0240	0.0032	0.7581	0.00112	0.00161	0.00038
25	716.03	0.8065	0.78	0.8045	0.8089	0.7901	0.0019	0.0025	0.0164	0.7903	0.00020	0.00035	0.00000
26	718.62	0.8387	0.81	0.8105	0.8138	0.8022	0.0283	0.0249	0.0365	0.8226	0.00015	0.00008	0.00041
27	738.97	0.8710	0.84	0.8531	0.8491	0.8550	0.0178	0.0219	0.0159	0.8548	0.00000	0.00003	0.00000
28	744.90	0.9032	0.88	0.8642	0.8583	0.8674	0.0390	0.0449	0.0359	0.8871	0.00052	0.00083	0.00039
29	759.04	0.9355	0.91	0.8884	0.8785	0.8998	0.0471	0.0570	0.0357	0.9194	0.00096	0.00167	0.00038
30	809.54	0.9677	0.94	0.9495	0.9321	0.9061	0.0182	0.0357	0.0617	0.9516	0.00000	0.00038	0.00207
31	855.89	1.0000	0.97	0.9787	0.9617	0.9718	0.0213	0.0383	0.0282	0.9839	0.00003	0.00049	0.00015
D = Máx F₀(x) - S_n(x) 							0.0830	0.1051	0.1092	suma	0.04965	0.07834	0.08059
D de tablas, α =5% y N =31							0.2480			1/12n	0.00269	0.00269	0.00269
Si DMáx < Dtablas existe un buen ajuste							De acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se concluye que todas las distribuciones se ajustan bien.			nW²	0.05234	0.08103	0.08327
En resumen, las distribuciones de mejor ajuste de acuerdo a ambas pruebas y particularmente la prueba de Smirnov (ya que es la más potente) son la distribución <i>Normal</i> y la distribución <i>Galton o Log-Normal</i>							Si $nW^2 \geq (1/6=0.166)$ se rechaza la hipótesis. Por lo tanto de acuerdo con la prueba de Smirnov, se concluye que todas las probabilidades se ajusta a la precipitación						

2. PRUEBA DE SMIRNOV

Se calcula el estadístico no - paramétrico siguiente:

$$W^2 = \frac{1}{12n^2} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[F(x_i) - \frac{2i-1}{2n} \right]^2$$

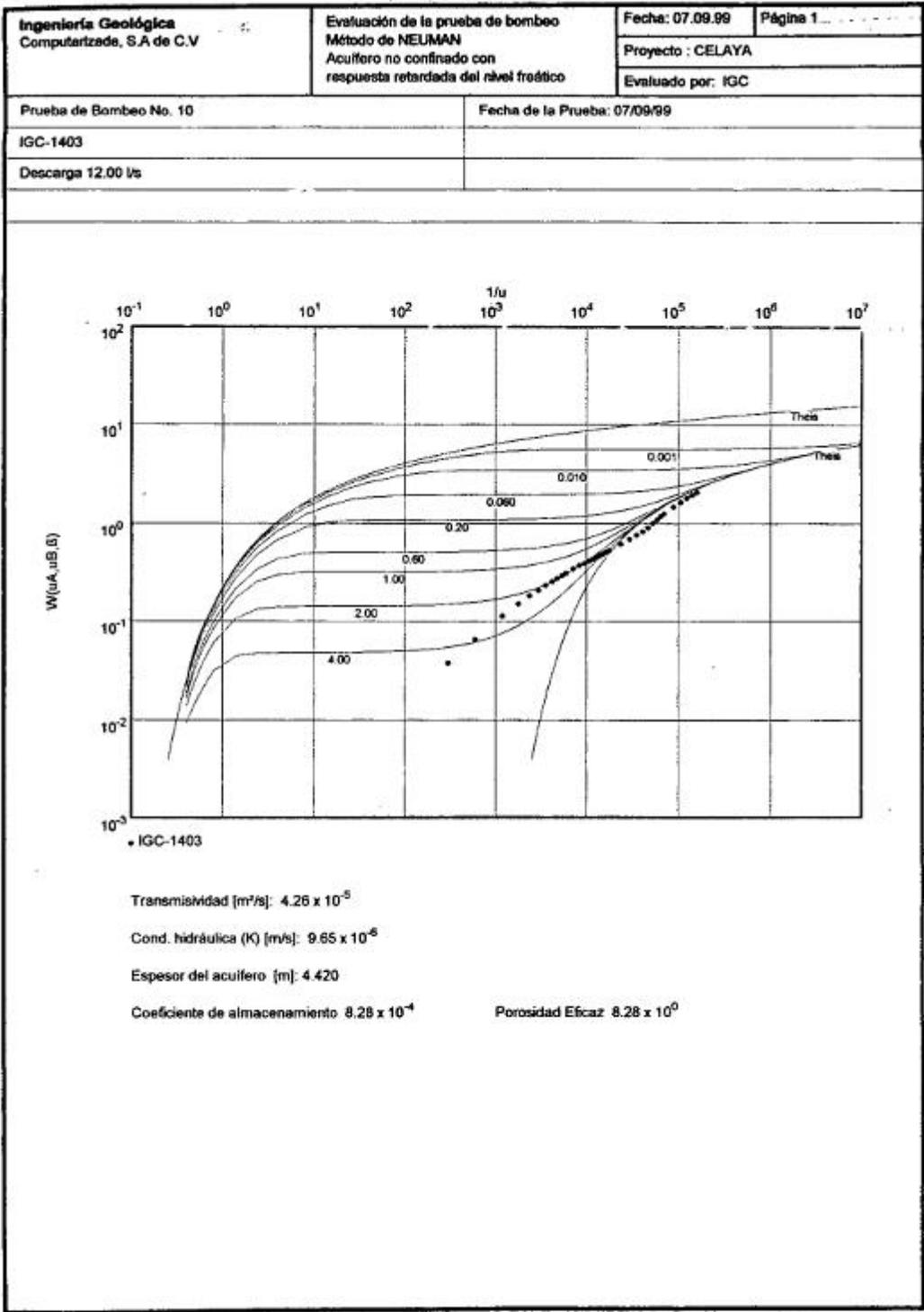
o bien

$$nW^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left[F(x_i) - \frac{2i-1}{2n} \right]^2$$

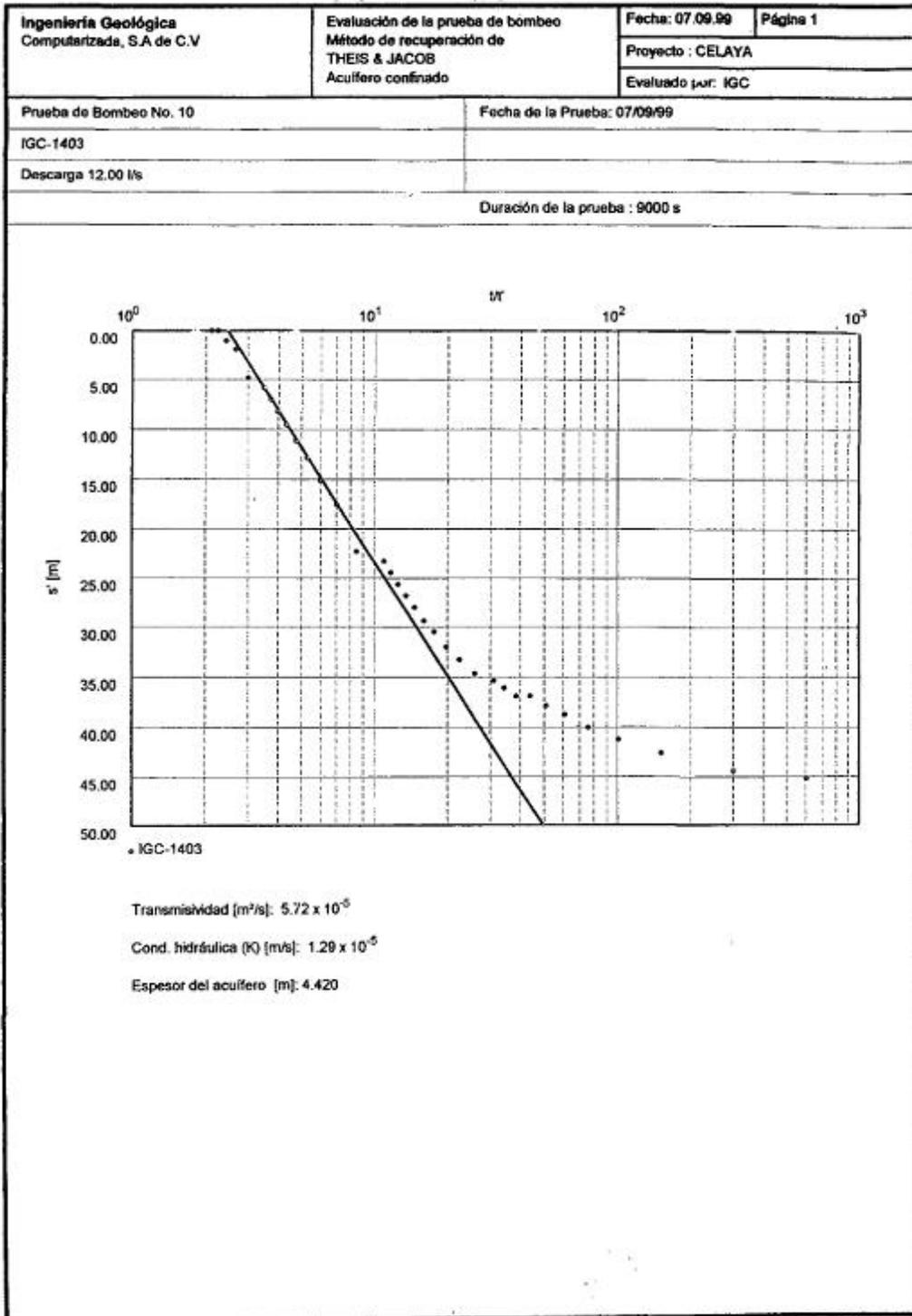
8.6 Pruebas de Bombeo Realizadas en el Valle de Celaya 1999

Ingeniería Geológica Computarizada, S.A de C.V		Evaluación de la prueba de bombeo Método de recuperación de THEIS & JACOB Acuífero confinado		Fecha: 07.09.99	Página 2
Prueba de Bombeo No. 9			Fecha de la Prueba: 07/09/99		
IGC-1219			IGC-1219		
Descarga 7.00 l/s			Distancia del pozo de bombeo 0.178 m		
Nivel estático 23.090 m Abajo del Datum			Duración de la prueba : 9000 s		
	Tiempo desde fin del bombeo [s]	Nivel freático [m]	Descenso Residual [m]		
1	15	30.200	7.110		
2	30	29.640	6.550		
3	60	28.480	5.390		
4	90	27.630	4.540		
5	120	26.900	3.810		
6	150	26.340	3.250		
7	180	25.880	2.790		
8	210	25.460	2.370		
9	240	25.140	2.050		
10	270	24.880	1.790		
11	300	24.680	1.570		
12	360	24.340	1.250		
13	420	24.130	1.040		
14	480	24.000	0.910		
15	540	23.880	0.790		
16	600	23.800	0.710		
17	660	23.730	0.640		
18	720	23.680	0.590		
19	780	23.640	0.550		
20	840	23.600	0.510		
21	900	23.560	0.470		
22	1200	23.430	0.340		
23	1500	23.340	0.250		
24	1800	23.280	0.190		
25	2100	23.240	0.150		
26	2400	23.200	0.110		
27	2700	23.170	0.080		
28	3000	23.150	0.060		
29	3300	23.130	0.040		
30	3600	23.110	0.020		
31	4500	23.090	0.000		
32	5400	23.090	0.000		
33	6300	23.090	0.000		
34	7200	23.090	0.000		
35	8100	23.090	0.000		

0266 .6 260

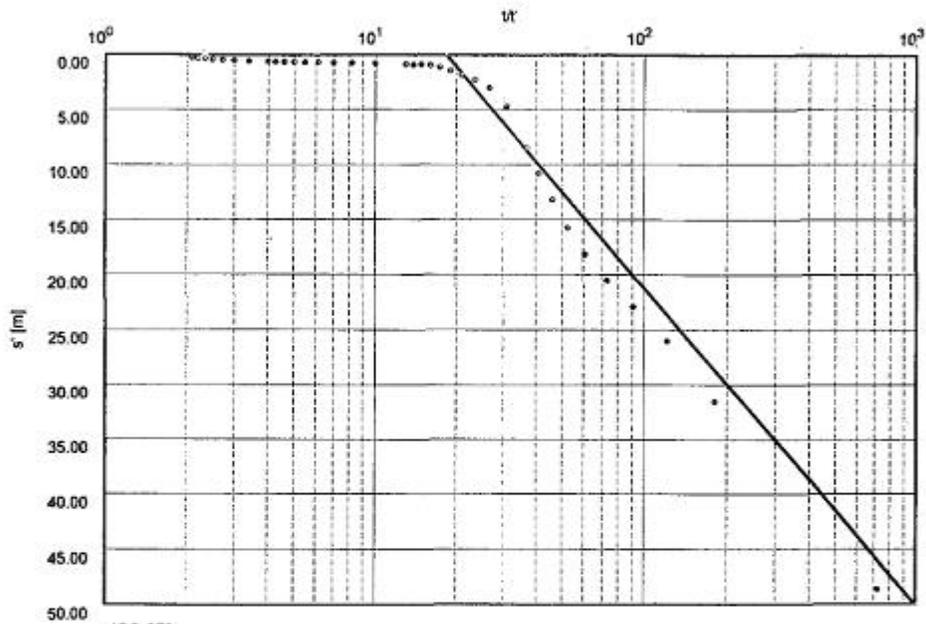


261
0267



262
11269

Ingeniería Geológica Computarizada, S.A de C.V	Evaluación de la prueba de bombeo Método de recuperación de THEIS & JACOB Acuífero confinado	Fecha: 17.09.1999	Página 1
		Proyecto : CELAYA	
		Evaluado por: I.G.C.	
Prueba de Bombeo No. 11		Fecha de la Prueba:	
IGC-373			
Descarga 15.00 l/s			
Duración de la prueba : 10800 s			



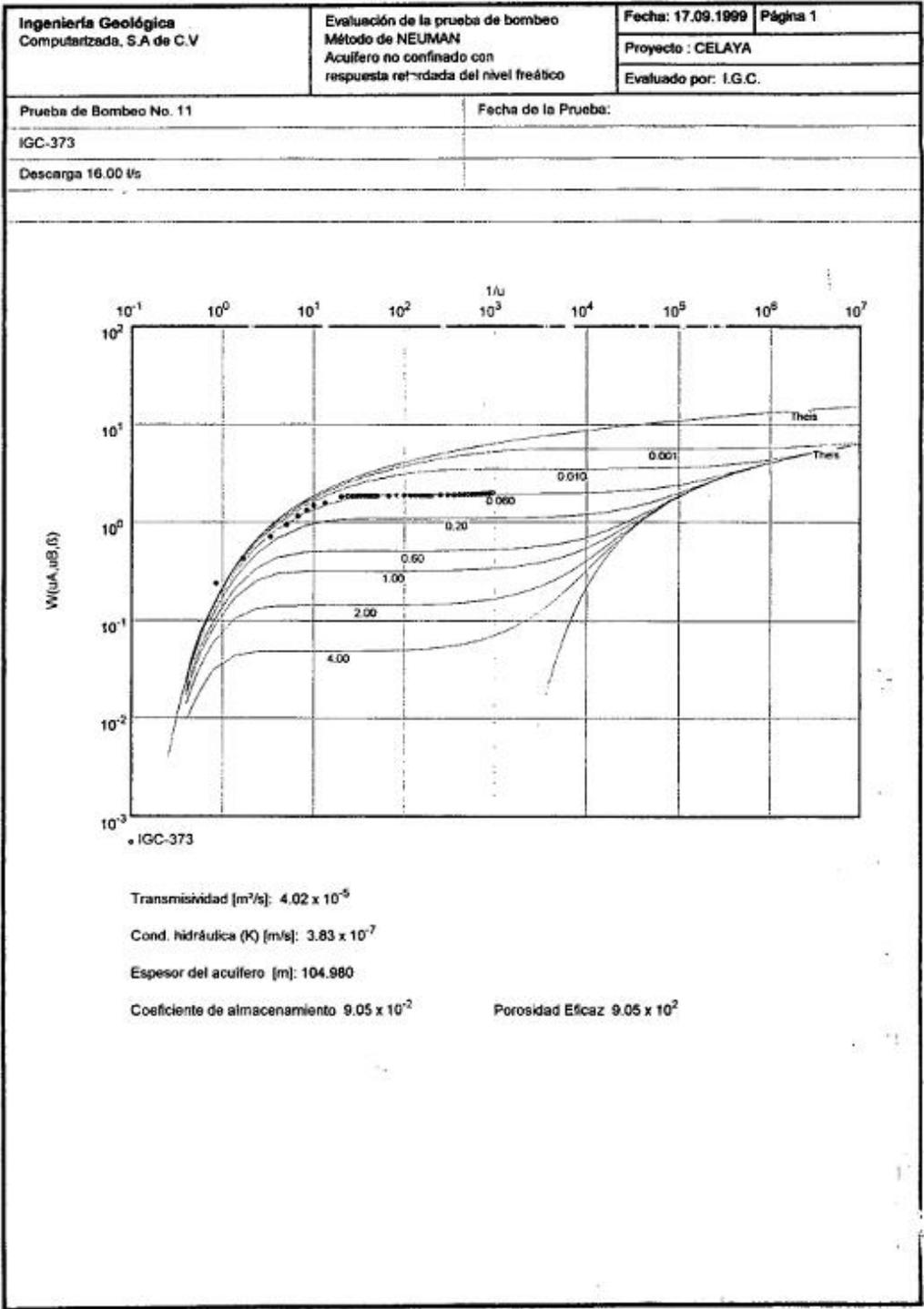
IGC-373

Transmisividad [m²/s]: 9.51×10^{-5}

Cond. hidráulica (K) [m/s]: 9.05×10^{-7}

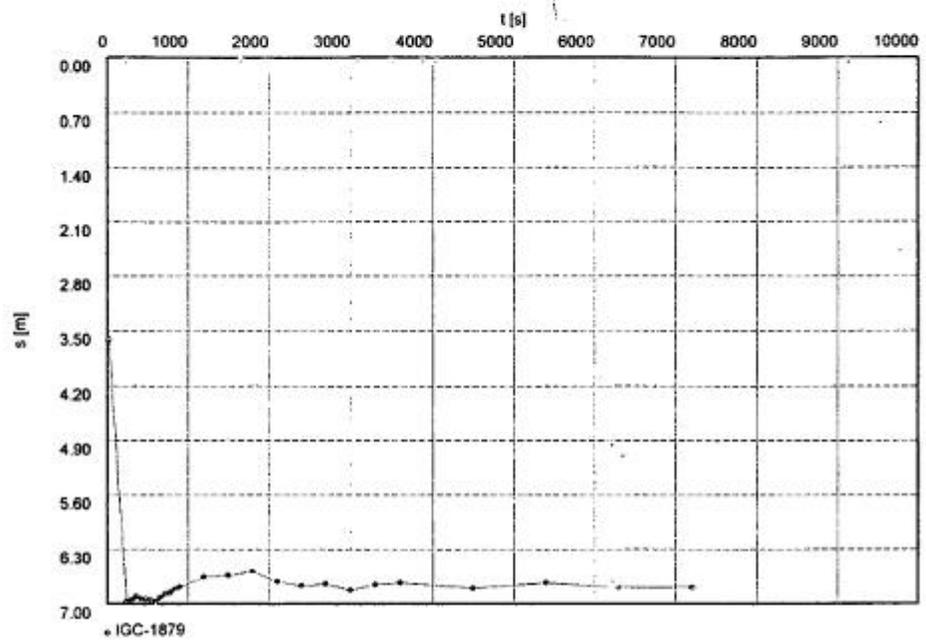
Espesor del acuífero [m]: 104.980

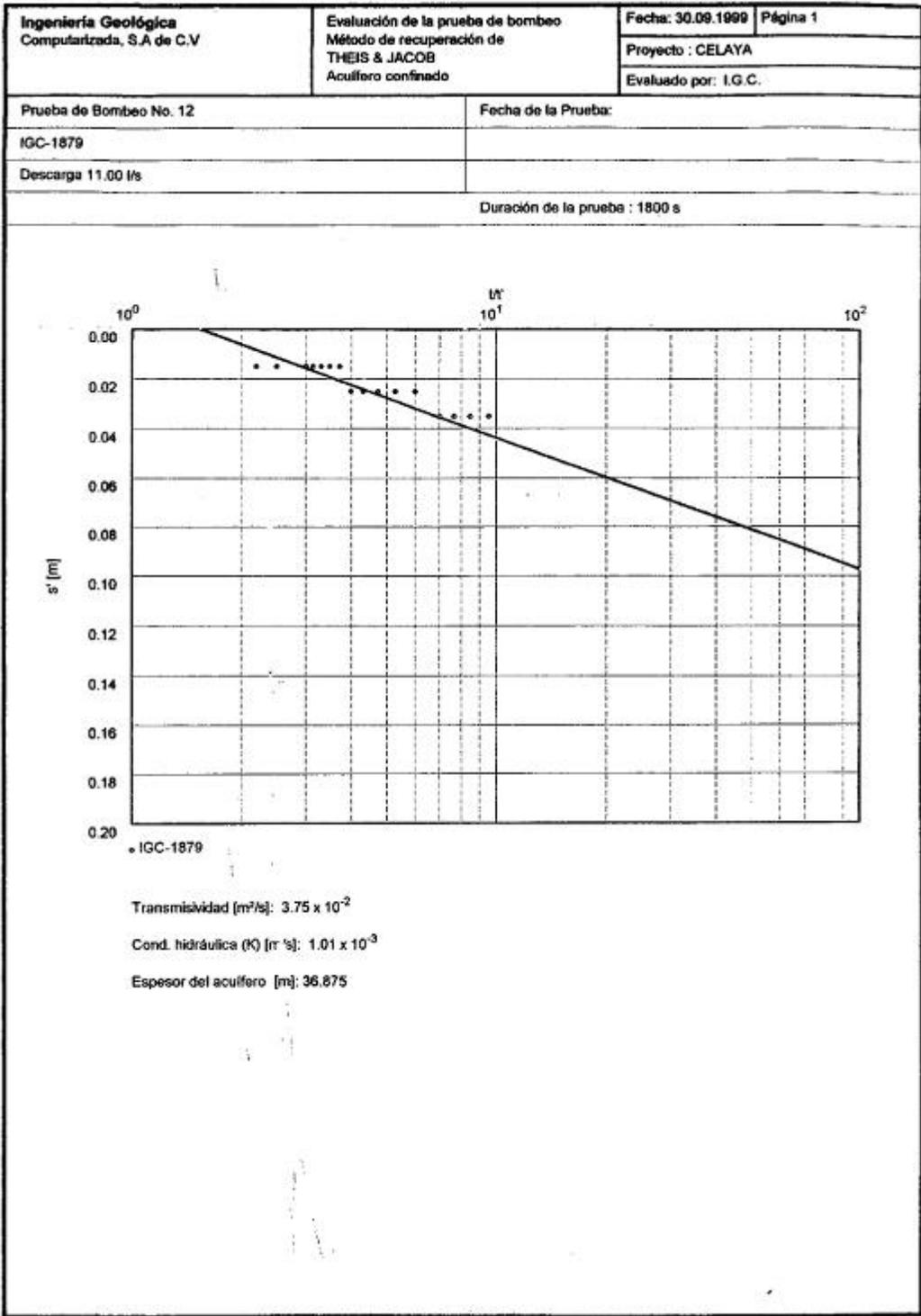
11270 265

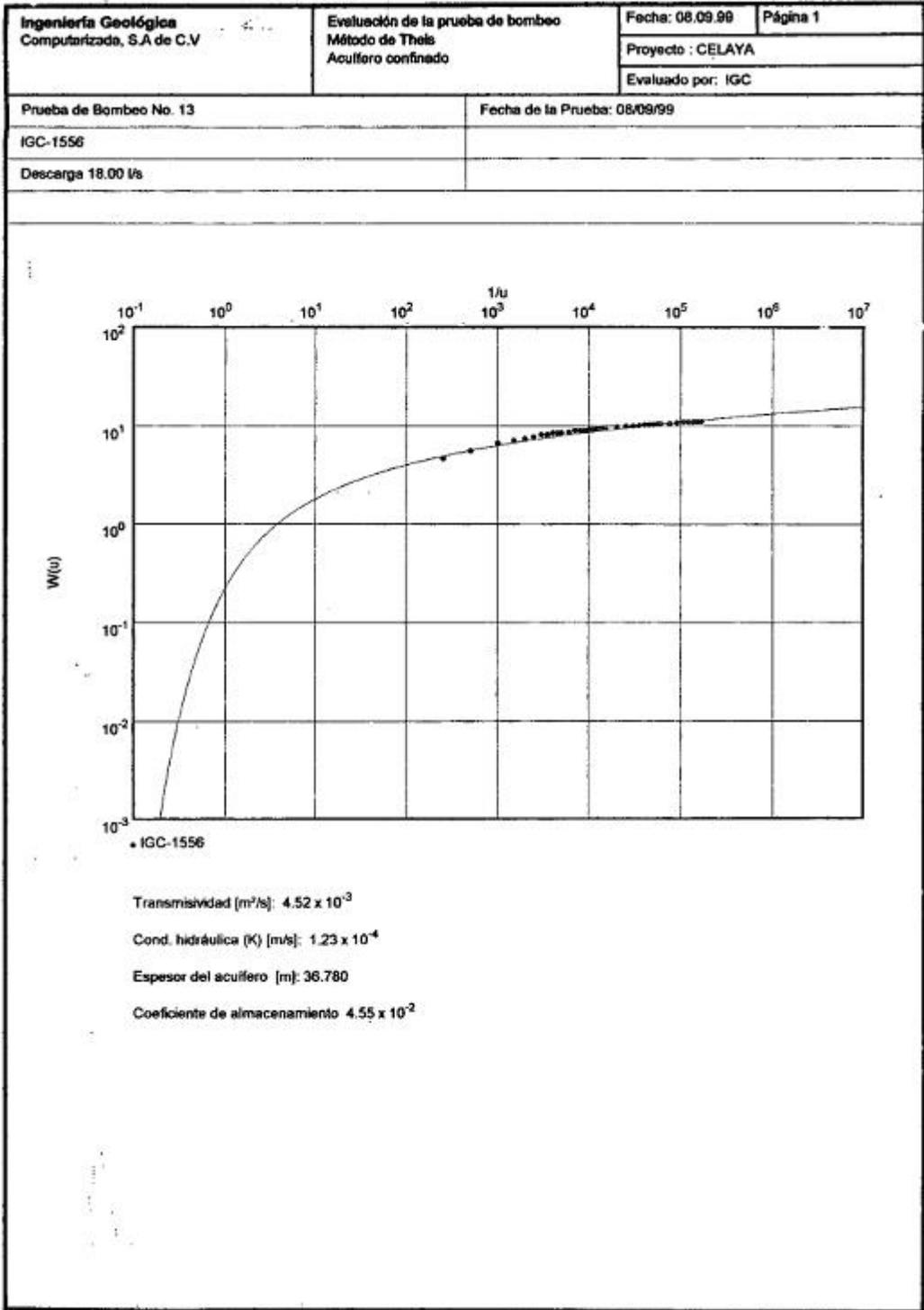


I.G.C. 266

Prueba de Bombeo No. 12	Fecha de la Prueba:
IGC-1879	
Descarga 11.00 l/s	



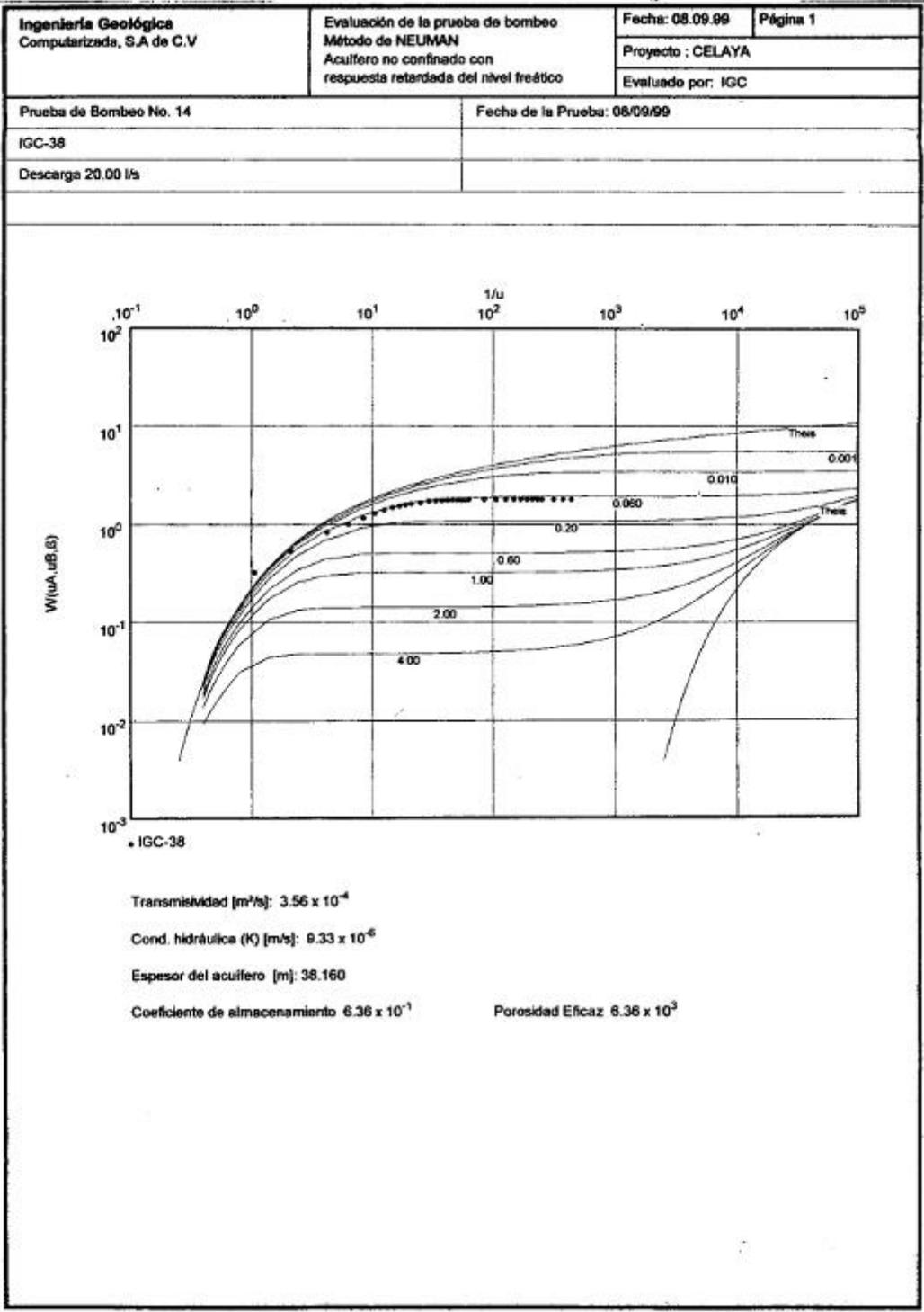




273. 0279

Ingeniería Geológica Computarizada, S.A de C.V	Evaluación de la prueba de bombeo Método de recuperación de THEIS & JACOB Acuífero confinado	Fecha: 08/09/99	Página 1
		Proyecto : CELAYA	
		Evaluado por:	
Prueba de Bombeo No. 13		Fecha de la Prueba: 08/09/99	
IGC-1556			
Descarga 18.00 l/s			
Duración de la prueba : 10800 s			
<p>• IGC-1556</p> <p>Transmisividad [m²/s]: 5.35×10^{-3}</p> <p>Cond. hidráulica (K) [m/s]: 1.45×10^{-4}</p> <p>Espesor del acuífero [m]: 36.780</p>			

+C 274 1280



277 11283

8.7 Calculo de Requerimientos Agrícolas

CULTIVO		FRIJOL					ESTACION					NEUTLA, COMONFORT			
FECHA DE SIEMBRA		5 MESES					LATITUD					20° 26'			
CICLO		5 MESES					KG					0.85			
	D	TI	PI		(TI+17.8) /	fi	Ki	Kc	Et	Etc	FP	Fe	RR	MENSUA	
	(adm)	(° C)	(adm)	TI+17.8	21.8	(cm)	(adm)	(adm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	CM	
Enero	1	13.71	7.740	31.509	1.445	11.107	0.6666	1.518	11.319	13.198	1.50	1.452	11.746	27.165	
Febrero	1	15.96	7.250	33.764	1.549	11.229	0.7365	0.851	7.269	6.499	0.00	0.000	6.499	19.655	
Marzo	1	15.97	6.410	33.767	1.549	13.027	0.7369	0.612	5.675	6.650	0.00	0.000	6.650	15.641	
Abril	0	20.30	6.520	36.100	1.748	0.000	0.5718	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	
Mayo	0	22.16	6.150	39.977	1.834	0.000	0.9303	0.000	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000	0.000	
Junio	0	21.65	6.000	39.450	1.810	0.000	0.9139	0.000	0.000	0.000	9.05	0.000	0.000	0.000	
Julio	0	20.31	6.250	36.106	1.748	0.000	0.672	0.000	0.000	0.000	20.70	0.000	0.000	0.000	
Agosto	0	19.96	6.960	37.763	1.733	0.000	0.662	0.000	0.000	0.000	7.60	0.000	0.000	0.000	
Septiembre	0	19.63	6.300	37.433	1.717	0.000	0.6511	0.000	0.000	0.000	16.70	0.000	0.000	0.000	
Octubre	0	19.16	6.180	36.961	1.695	0.000	0.6364	0.000	0.000	0.000	4.70	0.000	0.000	0.000	
Noviembre	1	16.16	7.500	33.963	1.559	11.616	0.7436	0.646	5.694	6.639	3.20	1.694	4.745	10.974	
Diciembre	1	14.13	7.660	31.929	1.465	11.219	0.6796	1.450	11.056	12.891	2.80	2.395	10.536	24.367	
						F=	58.478	ET=	41.232					98.801	

Fe
1.166

EM/PI	1.53+0.83*(Et/Ept)	Cpl
7.546	7.793	0.968
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
1.779	3.007	0.592
3.812	4.694	0.612

Láminas de riego
98.801

CULTIVO		FRIJOL					ESTACION					PERICOS, SALAMANCA			
FECHA DE SIEMBRA		5 MESES					LATITUD					20° 26'			
CICLO		5 MESES					KG					0.85			
	D	TI	PI		(TI+17.8) /	fi	Ki	Kc	Et	Etc	FP	Fe	RR	MENSUA	
	(adm)	(° C)	(adm)	TI+17.8	21.8	(cm)	(adm)	(adm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	CM	
Enero	1	15.36	7.740	33.162	1.521	11.774	0.716	1.516	12.633	15.205	1.35	1.362	13.643	32.014	
Febrero	1	16.89	7.250	34.692	1.591	11.537	0.766	0.661	7.793	9.221	0.00	0.000	9.221	21.325	
Marzo	1	16.64	6.410	34.636	1.569	13.363	0.764	0.612	6.246	7.403	0.05	0.059	7.343	16.962	
Abril	0	21.03	6.520	36.625	1.761	0.000	0.694	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	
Mayo	0	22.35	6.150	40.146	1.842	0.000	0.936	0.000	0.000	0.000	1.53	0.000	0.000	0.000	
Junio	0	22.43	6.000	40.225	1.845	0.000	0.936	0.000	0.000	0.000	9.44	0.000	0.000	0.000	
Julio	0	20.71	6.250	36.509	1.766	0.000	0.665	0.000	0.000	0.000	21.09	0.000	0.000	0.000	
Agosto	0	20.02	6.960	37.624	1.735	0.000	0.663	0.000	0.000	0.000	15.82	0.000	0.000	0.000	
Septiembre	0	20.26	6.300	36.063	1.747	0.000	0.671	0.000	0.000	0.000	20.99	0.000	0.000	0.000	
Octubre	0	19.23	6.180	37.033	1.699	0.000	0.639	0.000	0.000	0.000	2.64	0.000	0.000	0.000	
Noviembre	1	17.53	7.500	35.333	1.621	12.286	0.796	0.646	6.255	7.410	3.51	2.079	5.332	12.331	
Diciembre	1	15.25	7.660	33.050	1.516	11.613	0.715	1.450	12.032	14.256	3.26	2.630	11.626	26.686	
						F=	60.673	ET=	45.151					109.536	

Fe
1.185

Et/PI	1.53+0.83*(Et/Ept)	Cpl
9.506	9.420	1.009
0.000	1.530	0.000
124.959	105.246	1.167
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
1.762	3.009	0.592
3.666	4.575	0.602

Láminas de riego
109.536

CULTIVO		FRIJOL					ESTACION					Cortazar			
FECHA DE SIEMBRA							LATITUD					20° 26'			

CICLO	5 MESES					KG					0.85			RR MENSUA L	Fe	
	D	TI	PI	TI+17.8	(TI+17.8) / 21.8	fi	Kf	Kc	Et	Etc	Ff	Fe	RR			CMI
Enero	1	16.48	7.740	34.275	1.572	12.169	0.753	1.516	13.904	16.058	1.07	1.129	14.929	34.526	1.155	
Febrero	1	16.64	7.250	36.442	1.672	12.119	0.820	0.851	8.757	10.114	0.00	0.000	10.114	23.390		
Marzo	1	16.15	6.410	35.930	1.649	13.669	0.805	0.612	6.631	7.890	0.04	0.048	7.842	16.136		
Abril	0	22.97	6.520	40.766	1.870	0.000	0.955	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000		
Mayo	0	23.66	9.150	41.661	1.911	0.000	0.963	0.000	0.000	0.000	2.51	0.000	0.000	0.000		
Junio	0	23.44	9.000	41.241	1.892	0.000	0.970	0.000	0.000	0.000	6.70	0.000	0.000	0.000		
Julio	0	21.79	9.250	39.590	1.816	0.000	0.916	0.000	0.000	0.000	26.22	0.000	0.000	0.000		
Agosto	0	21.27	8.960	39.074	1.792	0.000	0.902	0.000	0.000	0.000	11.19	0.000	0.000	0.000		
Septiembre	0	20.92	6.300	36.716	1.776	0.000	0.891	0.000	0.000	0.000	16.36	0.000	0.000	0.000		
Octubre	0	20.46	6.180	36.275	1.756	0.000	0.877	0.000	0.000	0.000	1.05	0.000	0.000	0.000		
Noviembre	1	17.78	7.590	35.575	1.632	12.370	0.793	0.648	6.356	7.343	1.20	1.073	8.270	14.501		
Diciembre	1	16.40	7.660	34.203	1.569	12.016	0.750	1.450	13.076	15.103	2.76	2.394	12.709	29.393		
					F=	62.545			ET=	48.929				51.864	119.946	

Eti/PI	1.53+0.83*(Cpi
	Eti/Epl)		
12.995	12.316		1.055
0.000	1.530		0.000
170.766	143.262		1.192
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
5.296	5.927		0.694
4.736	5.463		0.667

Láminas de riego
119.946

CULTIVO	FRUJOL					ESTACIÓN					GRANDE			MENSUA	Fe		
	FECHA DE SIEMBRA	D	TI	PI	TI+17.8	(TI+17.8) / 21.8	fi	Kf	Kc	Et	Etc	Ff	Fe			RR	CMI
Enero	1	16.79	7.740	34.590	1.567	12.201	0.763	1.516	14.215	16.944	0.70	0.773	16.171	37.399	1.192		
Febrero	1	19.45	7.250	37.246	1.709	12.367	0.845	0.851	9.224	10.995	0.00	0.000	10.995	25.427			
Marzo	1	16.80	6.410	36.598	1.679	14.119	0.825	0.612	7.129	6.496	0.00	0.000	6.496	19.652			
Abril	0	22.52	6.520	40.316	1.849	0.000	0.941	0.000	0.000	0.000	0.17	0.000	0.000	0.000			
Mayo	0	23.62	9.150	41.421	1.900	0.000	0.975	0.000	0.000	0.000	7.76	0.000	0.000	0.000			
Junio	0	23.97	9.000	41.766	1.916	0.000	0.966	0.000	0.000	0.000	3.16	0.000	0.000	0.000			
Julio	0	22.09	9.250	39.868	1.830	0.000	0.928	0.000	0.000	0.000	26.67	0.000	0.000	0.000			
Agosto	0	22.13	8.960	39.929	1.832	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	11.65	0.000	0.000	0.000			
Septiembre	0	22.07	6.300	39.666	1.829	0.000	0.927	0.000	0.000	0.000	19.30	0.000	0.000	0.000			
Octubre	0	21.42	6.180	39.219	1.799	0.000	0.907	0.000	0.000	0.000	1.13	0.000	0.000	0.000			
Noviembre	1	20.59	7.590	36.391	1.761	13.349	0.851	0.648	7.620	9.083	0.93	0.915	8.166	16.890			
Diciembre	1	17.36	7.660	35.162	1.613	12.355	0.760	1.450	13.979	16.663	4.06	3.196	13.467	31.145			
					F=	64.491			ET=	52.166954				57.299	132.514		

Eti/PI	1.53+0.83*(Cpi
	Eti/Epl)		
20.307	16.365		1.105
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
0.000	1.530		0.000
8.193	6.330		0.964
3.426	4.374		0.763

Láminas de riego
132.514

CULTIVO	FRUJOL	ESTACIÓN	Rogue
FECHA DE SIEMBRA		LATITUD	20° 26'
CICLO	5 MESES	KG	0.85

	D	Ti	PI			fi	Kt	Kc	EI	Etc	FF	Fe	RR	RR MENSUA L	Fe
	(adm)	(° C)	(adm)	TI+17.8	TI+17.8) / 21.	(cm)	(adm)	(adm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	CM	
Enero	1	15.74	7.740	33.541	1.539	11.909	0.730	1.510	13.193	15.059	0.90	1.039	14.820	34.274	1.202
Febrero	1	16.46	7.250	34.264	1.572	11.395	0.752	0.861	7.553	9.079	0.00	0.000	9.079	20.996	
Marzo	1	16.95	6.410	34.751	1.594	13.406	0.768	0.612	6.297	7.569	0.15	0.173	7.396	17.105	
Abril	0	21.30	6.520	39.100	1.794	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	
Mayo	0	23.02	9.150	40.816	1.872	0.000	0.956	0.000	0.000	0.000	1.05	0.000	0.000	0.000	
Junio	0	22.75	9.000	40.550	1.860	0.000	0.948	0.000	0.000	0.000	5.71	0.000	0.000	0.000	
Julio	0	21.03	9.250	38.832	1.781	0.000	0.895	0.000	0.000	0.000	14.25	0.000	0.000	0.000	
Agosto	0	20.90	8.960	38.703	1.775	0.000	0.891	0.000	0.000	0.000	8.23	0.000	0.000	0.000	
Septiembre	0	21.25	8.300	39.050	1.791	0.000	0.901	0.000	0.000	0.000	15.18	0.000	0.000	0.000	
Octubre	0	20.13	8.100	37.929	1.740	0.000	0.866	0.000	0.000	0.000	8.80	0.000	0.000	0.000	
Noviembre	1	17.86	7.500	35.655	1.836	12.397	0.796	0.648	6.392	7.683	2.09	1.571	6.112	14.136	
Diciembre	1	15.50	7.660	33.300	1.526	11.701	0.722	1.450	12.255	14.731	3.13	2.564	12.167	26.138	
						F=	60.808	ET=	45.690996			49.574	114.648		

	Et/PI	1.53+0.83*(Et/Epl)	Cpl
	13.463	12.704	1.000
	0.000	1.530	0.000
	41.981	36.375	1.154
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	3.056	4.066	0.752
	3.915	4.760	0.819

Láminas de riego
114.648

CULTIVO		FRUJOL				ESTACIÓN				PRESA JALPA, SAN MIGUEL					
FECHA DE SIEMBRA		5 MESES				LATITUD				20° 26'					
CICLO						KG				0.85					
	D	Ti	PI		(TI+17.8) / 21.8	fi	Kt	Kc	EI	Etc	FF	Fe	RR	RR MENSUA L	Fe
	(adm)	(° C)	(adm)	TI+17.8		(cm)	(adm)	(adm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	CM	
Enero	1	14.16	7.740	31.961	1.466	11.348	0.661	1.510	11.724	14.327	1.30	1.300	13.027	30.126	1.222
Febrero	1	15.79	7.250	33.585	1.541	11.169	0.731	0.861	7.195	8.793	0.00	0.000	8.793	20.334	
Marzo	1	16.32	6.410	34.122	1.565	13.164	0.748	0.612	6.025	7.363	0.00	0.000	7.363	17.028	
Abril	0	16.57	6.520	36.366	1.668	0.000	0.818	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	
Mayo	0	20.05	9.150	37.548	1.736	0.000	0.864	0.000	0.000	0.000	1.10	0.000	0.000	0.000	
Junio	0	18.96	9.000	36.760	1.686	0.000	0.830	0.000	0.000	0.000	7.30	0.000	0.000	0.000	
Julio	0	18.32	9.250	36.122	1.657	0.000	0.810	0.000	0.000	0.000	17.60	0.000	0.000	0.000	
Agosto	0	18.24	8.960	36.041	1.653	0.000	0.805	0.000	0.000	0.000	5.00	0.000	0.000	0.000	
Septiembre	0	18.20	8.300	36.000	1.651	0.000	0.806	0.000	0.000	0.000	11.70	0.000	0.000	0.000	
Octubre	0	17.10	8.100	34.896	1.601	0.000	0.772	0.000	0.000	0.000	5.30	0.000	0.000	0.000	
Noviembre	1	15.92	7.500	33.716	1.547	11.723	0.735	0.648	5.586	6.826	6.10	2.439	4.387	10.145	
Diciembre	1	13.46	7.660	31.283	1.435	10.992	0.660	1.450	10.512	12.845	5.22	3.283	9.562	22.113	
						F=	58.396	ET=	41.042412			43.131	99.747		

	Et/PI	1.53+0.83*(Et/Epl)	Cpl
	9.019	9.016	1.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.000	1.530	0.000
	0.916	2.290	0.400
	2.014	3.201	0.629

Láminas de riego
99.747

CULTIVO		FRUJOL					ESTACIÓN					LA GAVIA, CORTAZAR			RR MENSUA L CM
FECHA DE SIEMBRA		5 MESES					LATITUD					20° 26'			
CICLO							KG					0.85			
	D	TI	PI		(TI+17.8) /	fi	KI	Kc	Et	Etc	FF'	Fe	RR	Fc	
	(adim)	(° C)	(adim)	TI+17.8	21.8	(cm)	(adim)	(adim)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		CM
Enero	1	14.01	7.740	32.606	1.496	11.577	0.701	1.516	12.314	15.663	0.70	0.763	14.900	34.458	1.272
Febrero	1	17.46	7.250	35.255	1.617	11.725	0.763	0.651	8.090	10.291	0.00	0.000	10.291	23.799	
Marzo	1	17.35	6.410	35.154	1.613	13.562	0.760	0.612	6.474	8.235	0.00	0.000	8.235	19.046	
Abril	0	21.12	6.520	36.916	1.765	0.000	0.697	0.000	0.000	0.000	0.25	0.000	0.000	0.000	
Mayo	0	22.37	6.150	40.171	1.843	0.000	0.936	0.000	0.000	0.000	2.35	0.000	0.000	0.000	
Junio	0	22.13	6.000	39.925	1.831	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	6.31	0.000	0.000	0.000	
Julio	0	20.33	6.250	36.130	1.749	0.000	0.673	0.000	0.000	0.000	26.35	0.000	0.000	0.000	
Agosto	0	20.04	6.960	37.540	1.736	0.000	0.664	0.000	0.000	0.000	9.75	0.000	0.000	0.000	
Septiembre	0	20.15	6.300	37.950	1.741	0.000	0.667	0.000	0.000	0.000	3.10	0.000	0.000	0.000	
Octubre	0	19.27	6.160	37.074	1.701	0.000	0.640	0.000	0.000	0.000	1.45	0.000	0.000	0.000	
Noviembre	1	17.43	7.560	35.225	1.616	12.246	0.762	0.646	6.209	7.696	1.95	1.466	6.410	14.623	
Diciembre	1	16.24	7.660	33.041	1.516	11.610	0.714	1.450	12.024	15.295	3.10	2.532	12.763	29.517	
						F=	60.721		ET=	45.111			RR	92.599	121.644

Et/PI	1.53+0.83*(Et/Epl)	Cpl
17.591	10.131	1.091
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
3.164	4.173	0.763
3.679	4.749	0.617

Láminas de riego
121.644

CULTIVO		FRUJOL					ESTACIÓN					Apaseo el Alto			RR MENSUA L CM
FECHA DE SIEMBRA		5 MESES					LATITUD					20° 26'			
CICLO							KG					0.85			
	D	TI	PI		(TI+17.8) /	fi	KI	Kc	Et	Etc	FF'	Fe	RR	Fc	
	(adim)	(° C)	(adim)	TI+17.8	21.8	(cm)	(adim)	(adim)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		CM
Enero	1	16.37	7.740	34.171	1.567	12.132	0.749	1.516	13.503	16.605	0.00	0.000	16.605	35.401	1.203
Febrero	1	16.52	7.250	36.317	1.666	12.076	0.816	0.661	6.656	10.449	0.00	0.000	10.449	24.165	
Marzo	1	17.61	6.410	35.412	1.624	13.661	0.766	0.612	6.569	7.927	0.40	0.433	7.493	17.330	
Abril	0	21.95	6.520	39.750	1.823	0.000	0.923	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	
Mayo	0	22.61	6.150	40.606	1.863	0.000	0.950	0.000	0.000	0.000	3.50	0.000	0.000	0.000	
Junio	0	22.60	6.000	40.600	1.862	0.000	0.950	0.000	0.000	0.000	7.20	0.000	0.000	0.000	
Julio	0	21.05	6.250	36.546	1.762	0.000	0.695	0.000	0.000	0.000	22.60	0.000	0.000	0.000	
Agosto	0	21.16	6.960	36.961	1.767	0.000	0.699	0.000	0.000	0.000	9.65	0.000	0.000	0.000	
Septiembre	0	20.57	6.300	36.366	1.760	0.000	0.660	0.000	0.000	0.000	16.00	0.000	0.000	0.000	
Octubre	0	20.03	6.160	37.632	1.735	0.000	0.663	0.000	0.000	0.000	6.70	0.000	0.000	0.000	
Noviembre	1	17.62	7.560	35.616	1.634	12.364	0.794	0.646	6.375	7.670	0.50	0.526	7.143	16.520	
Diciembre	1	16.45	7.660	34.251	1.571	12.035	0.752	1.450	13.122	15.766	2.90	2.483	13.303	30.766	
						F=	62.290		ET=	48.575			RR	54.993	127.182

Et/PI	1.53+0.83*(Et/Epl)	Cpl
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
16.473	15.202	1.064
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
0.000	1.530	0.000
12.751	12.113	1.053
4.525	5.266	0.656

Láminas de riego
127.182

8.8 Red de pozos piloto

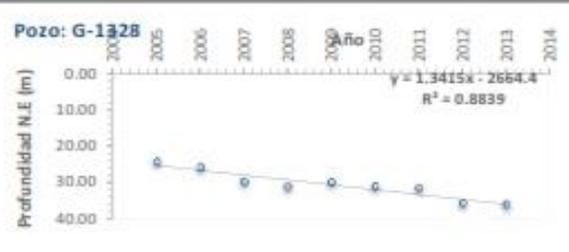
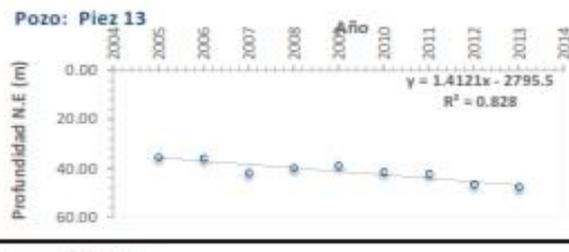
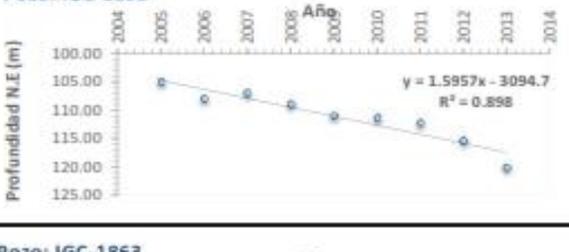
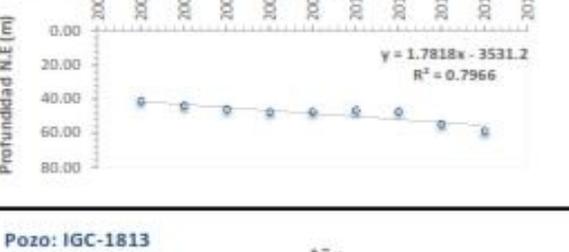
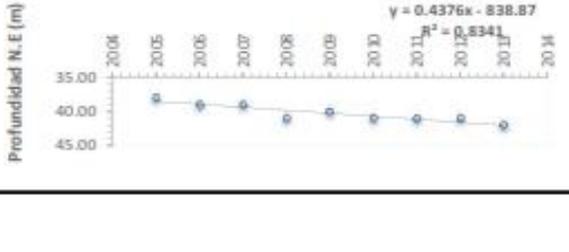
No Consecutivo	No ID CEAG	MUNICIPIO	Profundidad Nivel Estático								
			2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	IGC-2	CORTÁZAR	46.00	46.50	47.20	48.00	48.10	47.45	48.28	49.80	52.87
2	IGC-22	SALAMANCA	23.00	24.00	26.00	26.00	24.00	27.00	23.20	28.00	30.85
3	IGC-38-B	CORTÁZAR	35.00	36.00	35.00	36.55	37.00	37.00	38.63	39.00	41.22
4	L-46	APASEO EL GRANDE	137.00	140.00	142.00	146.00	144.00	149.32	154.47	154.17	155.58
5	IGC-79	CORTÁZAR	57.00	58.00	57.00	58.00	59.00	58.70	59.23	59.70	64.20
6	L-94	APASEO EL GRANDE	112.00	114.00	115.00	116.00	118.00	120.60	124.61	126.10	124.27
7	L-109 B-1	APASEO EL GRANDE	126.42	132.10	137.79	143.00	141.00	163.55	162.04	168.50	166.59
8	L-131	APASEO EL GRANDE	113.00	114.00	115.00	116.00	119.11	120.20	120.90	127.20	127.29
9	L-132	APASEO EL GRANDE	109.00	113.00	113.00	118.00	116.00	118.10	124.60	123.65	123.51
10	IGC-151	JARAL DEL PROGRESO	21.00	23.00	20.00	20.00	22.00	26.40	28.50	27.35	28.67
11	L-159	APASEO EL GRANDE	98.00	99.00	101.00	102.00	103.00	105.10	105.95	114.35	116.75
12	IGC-160	CORTÁZAR	14.00	13.00	13.00	8.00	6.00	7.05	8.50	8.15	10.25
13	L-177	APASEO EL GRANDE	110.00	110.00	111.00	111.00	112.00	113.73	113.49	113.75	114.74
14	L-183	APASEO EL GRANDE	114.00	115.00	117.00	120.00	119.00	121.35	122.50	128.70	133.25
15	L-184	APASEO EL GRANDE	138.00	140.00	142.00	143.00	143.00	144.50	145.20	150.15	148.67
16	L-205	APASEO EL GRANDE	91.00	92.00	93.00	94.00	92.00	94.30	95.57	99.90	101.57
17	L-213	APASEO EL ALTO	56.00	55.00	54.00	57.00	57.00	59.45	62.07	63.65	66.80
18	L-246	APASEO EL ALTO	87.00	88.00	88.00	90.00	89.00	90.15	92.10	96.70	98.87
19	L-260	APASEO EL GRANDE	91.73	91.00	93.00	96.00	97.00	97.85	100.37	96.35	98.68
20	L-317	CELAYA	103.00	105.00	106.00	105.00	107.00	106.50	107.08	111.60	115.42
21	L-325	CELAYA	117.00	119.00	121.00	119.00	121.00	121.40	126.33	126.00	128.87
22	L-328	CELAYA	100.00	103.00	101.00	100.00	101.00	101.50	102.53	105.85	109.96

23	L-343	CELAYA	114.00	115.00	117.00	118.00	117.00	119.00	120.85	125.10	127.68
24	L-347	CELAYA	120.00	120.00	124.00	124.00	125.00	128.50	127.96	134.85	136.75
25	IGC-352	CORTÁZAR	90.83	92.72	95.00	98.00	98.38	99.15	100.06	102.60	109.00
26	IGC-353	CORTÁZAR	112.00	114.75	116.00	119.00	101.20	119.45	119.45	121.15	121.42
27	L-378	CELAYA	93.00	96.00	97.00	95.00	96.00	96.55	99.32	101.25	104.74
28	IGC-382	CORTÁZAR	52.00	53.00	54.00	55.00	54.00	54.50	56.52	56.50	59.70
29	L-385	CELAYA	95.00	97.00	97.00	98.00	97.00	98.50	100.17	103.25	105.97
30	L-451	CELAYA	77.00	79.00	81.00	90.00	89.00	91.20	93.00	95.70	98.15
31	IGC-454-B	CELAYA	38.00	43.00	42.00	44.00	44.00	46.90	43.45	50.35	49.23
32	L-467	CELAYA	93.00	85.00	86.00	82.00	71.00	73.00	74.08	83.35	85.68
33	IGC-541	APASEO EL GRANDE	68.00	68.00	68.00	81.00	78.00	77.26	77.71	86.30	81.60
34	IGC-582	APASEO EL GRANDE	78.00	78.00	77.00	95.00	88.00	78.65	99.85	96.16	98.95
35	L-597	APASEO EL GRANDE	121.00	124.00	126.00	127.00	127.00	127.70	128.83	134.30	135.60
36	L-622	APASEO EL ALTO	78.00	81.00	85.00	86.00	87.00	90.15	97.53	99.85	102.15
37	IGC-623	VILLAGRÁN	74.00	71.00	62.00	63.00	64.00	66.00	66.33	77.75	74.80
38	L-629 A	APASEO EL ALTO	74.05	76.17	78.30	82.00	82.00	84.55	86.22	86.50	93.87
39	L-642-B	APASEO EL ALTO	83.00	84.00	84.00	84.00	84.42	84.30	85.15	85.70	87.25
40	L-671	CELAYA	70.00	71.00	72.00	72.00	72.00	72.45	73.07	73.51	73.94
41	L-691	COMONFORT	50.00	52.00	51.00	52.00	52.00	52.00	52.88	54.65	57.30
42	IGC-709	VILLAGRÁN	51.00	57.00	56.00	56.00	57.00	55.60	56.30	58.75	59.62
43	L-712	APASEO EL GRANDE	25.00	27.00	28.00	28.00	29.00	28.85	30.14	30.86	31.58
44	L-718	APASEO EL GRANDE	116.00	109.00	120.00	120.00	122.00	124.30	124.97	131.10	134.87
45	IGC-726	CELAYA	58.00	58.00	58.00	58.42	58.67	58.92	59.08	59.10	60.23
46	L-766	APASEO EL GRANDE	77.00	77.00	80.00	80.00	108.00	120.65	117.06	125.75	127.56
47	L-782	APASEO EL GRANDE	58.00	90.00	90.00	93.00	106.00	108.65	109.03	115.85	121.15
48	IGC-785	APASEO EL GRANDE	74.00	76.00	78.00	79.00	79.00	78.40	79.10	80.50	81.06

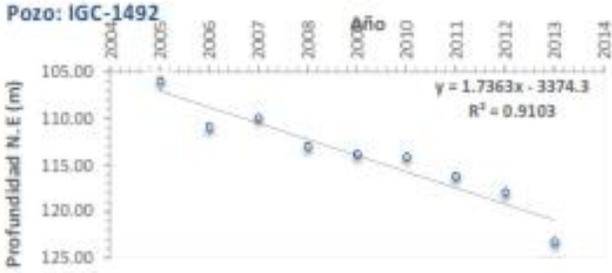
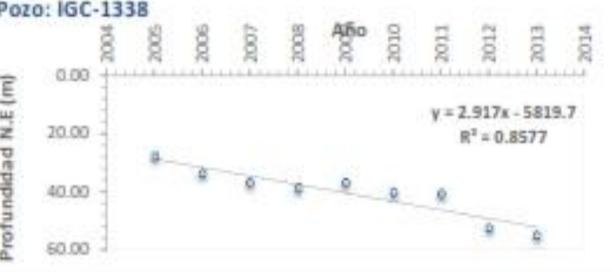
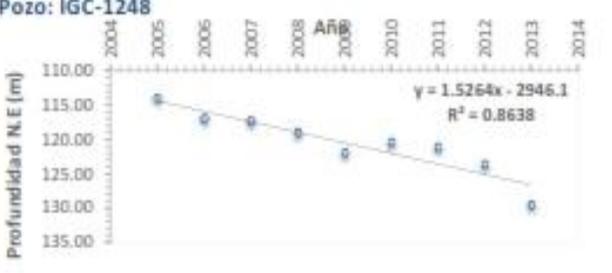
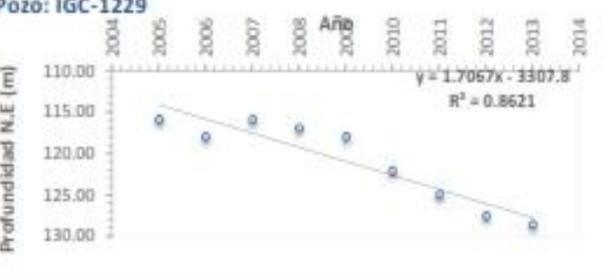
49	IGC-787-A	VILLAGRÁN	83.69	84.25	84.81	86.00	84.00	87.65	87.14	87.65	87.82
50	IGC-789	VILLAGRÁN	76.00	77.00	78.00	80.00	105.75	116.17	126.59	145.00	147.85
51	L-798	CELAYA	86.00	85.00	87.00	84.00	88.00	88.25	89.03	93.85	94.35
52	IGC-822	CELAYA	92.00	109.00	103.00	105.00	104.00	102.80	103.34	117.15	112.42
53	IGC-892	SANTA CRUZ DE JUVENTINO ROSAS	39.70	40.20	40.37	40.40	40.80	41.35	41.29	41.20	41.96
54	IGC-893	SANTA CRUZ DE JUVENTINO ROSAS	90.00	91.00	104.00	108.00	107.00	108.90	109.75	116.35	117.85
55	IGC-919	CELAYA	33.00	38.00	34.00	34.00	31.00	31.30	34.80	46.35	48.60
56	L-972	CELAYA	100.00	105.00	107.00	106.00	105.00	107.70	107.43	111.75	111.38
57	L-985	COMONFORT	14.00	15.00	15.00	14.00	16.00	16.90	15.00	17.90	16.20
58	IGC-1061	CELAYA	108.00	113.00	114.00	115.00	113.00	117.30	119.88	121.00	123.42
59	IGC-1084	CELAYA	115.00	98.00	120.00	120.00	119.00	124.20	126.38	131.30	133.18
60	IGC-1092	CELAYA	105.00	116.00	116.00	118.00	119.00	120.95	121.34	122.40	123.02
61	IGC-1161	COMONFORT	39.00	40.00	41.00	41.00	42.00	41.60	44.47	44.60	47.35
62	IGC-1225	SANTA CRUZ DE JUVENTINO ROSAS	114.00	121.00	120.00	130.00	129.00	137.05	141.69	148.05	151.04
63	IGC-1229	SANTA CRUZ DE JUVENTINO ROSAS	116.00	118.00	116.00	117.00	118.00	122.15	125.04	127.55	128.63
64	IGC-1248	SANTA CRUZ DE JUVENTINO ROSAS	114.00	117.00	117.37	119.00	122.00	120.50	121.22	123.70	129.57
65	IGC-1338	COMONFORT	28.00	34.00	37.00	39.00	37.00	40.45	41.02	52.75	55.32
66	IGC-1398	CELAYA	43.00	35.00	36.00	35.00	33.00	38.00	39.30	41.75	43.73
67	IGC-1492	CELAYA	106.00	111.00	110.00	113.00	113.93	114.20	116.29	118.00	123.35
68	IGC-1498	CELAYA	101.29	106.00	103.00	107.00	108.64	109.55	110.63	113.30	119.02
69	IGC-1556	CELAYA	39.00	39.00	40.00	39.00	40.00	40.45	43.65	48.30	52.76
70	IGC-1768	SANTA CRUZ DE JUVENTINO ROSAS	87.00	89.00	90.00	5.00	101.00	102.30	103.45	105.00	107.23
71	IGC-1803	SANTA CRUZ DE JUVENTINO ROSAS	92.06	93.00	96.00	96.00	96.00	96.85	101.47	101.50	101.87
72	IGC-1806	CORTÁZAR	51.00	51.00	52.00	54.00	53.00	53.15	54.39	55.00	59.20
73	IGC-1813	VILLAGRÁN	38.00	39.00	39.00	41.00	40.00	41.00	41.05	41.00	42.04
74	IGC-1863	VILLAGRÁN	41.28	44.00	46.00	48.00	48.00	47.10	47.53	55.00	59.22

75	IGC-1899	CELAYA	105.00	108.00	107.00	109.00	111.06	111.40	112.23	115.40	120.17
76	Piez 13	CELAYA	35.66	36.00	42.00	40.00	39.00	41.80	42.55	46.75	48.05
77	G-1328	JARAL DEL PROGRESO	24.31	25.93	29.91	31.28	30.05	31.14	31.68	35.80	36.18

Gráficas individuales de los pozos de observación del nivel estático.

No. Consecutivo	Clave del Pozo	Año	N.E. (m)	GRÁFICAS
1	G-1328	2005	24.31	Pozo: G-1328 
		2006	25.93	
		2007	29.91	
		2008	31.28	
		2009	30.05	
		2010	31.14	
		2011	31.66	
		2012	35.60	
		2013	36.18	
2	Piez 13	2005	35.66	Pozo: Piez 13 
		2006	36.00	
		2007	42.00	
		2008	40.00	
		2009	39.00	
		2010	41.80	
		2011	42.55	
		2012	46.75	
		2013	46.05	
3	IGC-1899	2005	105.00	Pozo: IGC-1899 
		2006	105.00	
		2007	107.00	
		2008	109.00	
		2009	111.0613	
		2010	111.40	
		2011	112.23	
		2012	115.40	
		2013	120.17	
4	IGC-1863	2005	41.28	Pozo: IGC-1863 
		2006	44.00	
		2007	46.00	
		2008	46.00	
		2009	46.00	
		2010	47.10	
		2011	47.53	
		2012	55.00	
		2013	59.22	
5	IGC-1813	2005	36.00	Pozo: IGC-1813 
		2006	39.00	
		2007	39.00	
		2008	41.00	
		2009	40.00	
		2010	41.00	
		2011	41.05	
		2012	41.00	
		2013	42.04	

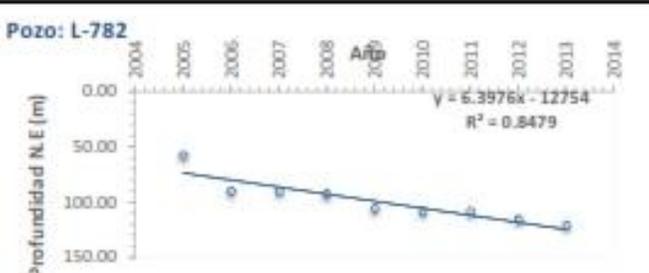
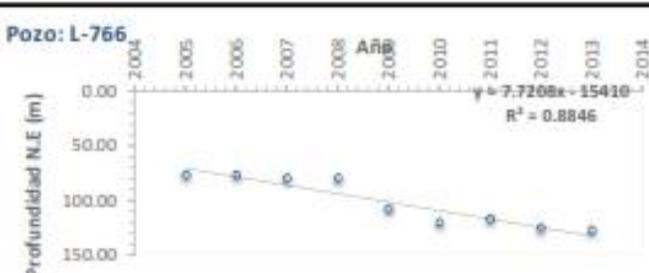
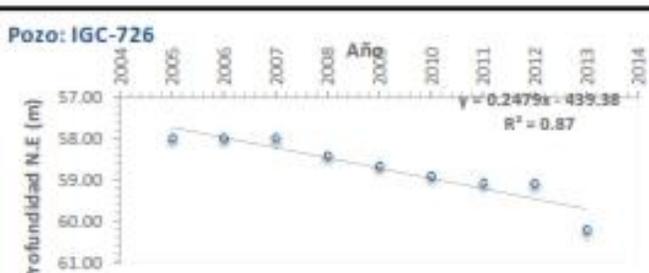
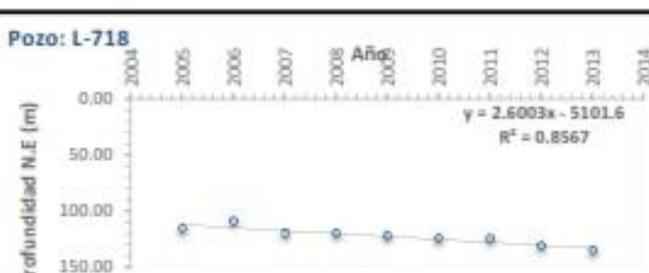
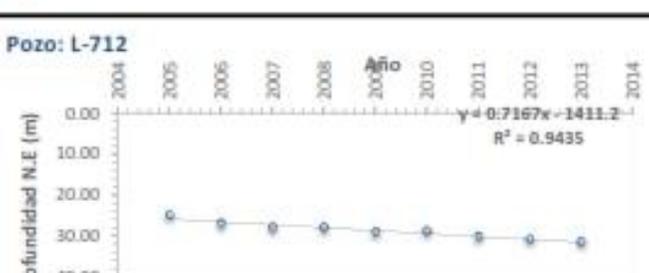
6	IGC-1806	2005	51.00	Pozo: IGC-1806 Profundidad N.E. (m) Año $y = 0.8122x - 1578$ $R^2 = 0.7801$
		2006	51.00	
		2007	52.00	
		2008	54.00	
		2009	53.00	
		2010	53.15	
		2011	54.39	
		2012	55.00	
		2013	59.20	
7	IGC-1803	2005	92.06	Pozo: IGC-1803 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.2755x - 2465.3$ $R^2 = 0.912$
		2006	93.00	
		2007	96.00	
		2008	96.00	
		2009	96.00	
		2010	96.85	
		2011	101.47	
		2012	101.50	
		2013	101.67	
8	IGC-1768	2005	87.00	Pozo: IGC-1768 Profundidad N.E. (m) Año $y = 2.7853x - 5488.4$ $R^2 = 0.9266$
		2006	89.00	
		2007	90.00	
		2008	91.00	
		2009	101.00	
		2010	102.30	
		2011	103.45	
		2012	105.00	
		2013	107.23	
9	IGC-1556	2005	39.00	Pozo: IGC-1556 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.5282x - 3027.6$ $R^2 = 0.7235$
		2006	39.00	
		2007	40.00	
		2008	39.00	
		2009	40.00	
		2010	40.45	
		2011	43.65	
		2012	46.30	
		2013	52.76	
10	IGC-1498	2005	101.29	Pozo: IGC-1498 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.844x - 3595.9$ $R^2 = 0.8881$
		2006	106.00	
		2007	103.00	
		2008	107.00	
		2009	108.64	
		2010	109.55	
		2011	110.63	
		2012	113.30	
		2013	119.02	

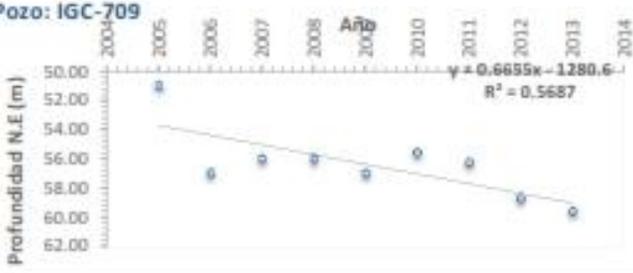
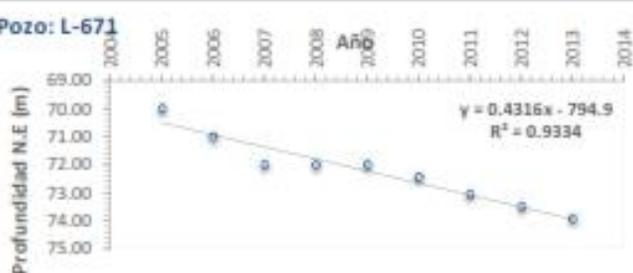
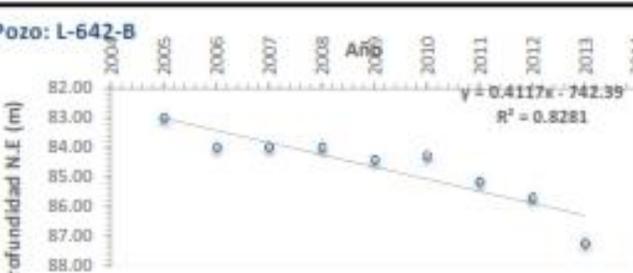
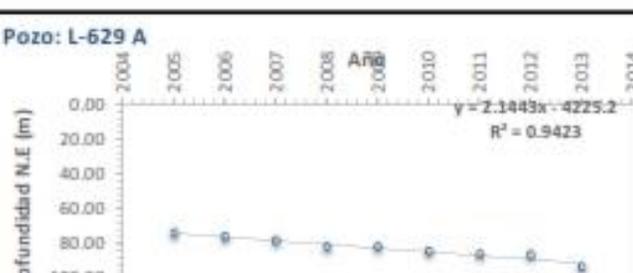
11	IGC-1492	2005	106.00	Pozo: IGC-1492 
		2006	111.00	
		2007	110.00	
		2008	113.00	
		2009	113.93	
		2010	114.20	
		2011	116.29	
		2012	118.00	
		2013	123.35	
12	IGC-1398	2005	43.00	Pozo: IGC-1398 
		2006	35.00	
		2007	36.00	
		2008	35.00	
		2009	33.00	
		2010	38.00	
		2011	39.30	
		2012	41.75	
		2013	43.73	
13	IGC-1338	2005	26.00	Pozo: IGC-1338 
		2006	34.00	
		2007	37.00	
		2008	39.00	
		2009	37.00	
		2010	40.45	
		2011	41.02	
		2012	52.75	
		2013	55.32	
14	IGC-1248	2005	114.00	Pozo: IGC-1248 
		2006	117.00	
		2007	117.37	
		2008	119.00	
		2009	122.00	
		2010	120.50	
		2011	121.22	
		2012	123.70	
		2013	129.57	
15	IGC-1229	2005	116.00	Pozo: IGC-1229 
		2006	118.00	
		2007	116.00	
		2008	117.00	
		2009	118.00	
		2010	122.15	
		2011	125.04	
		2012	127.55	
		2013	128.63	

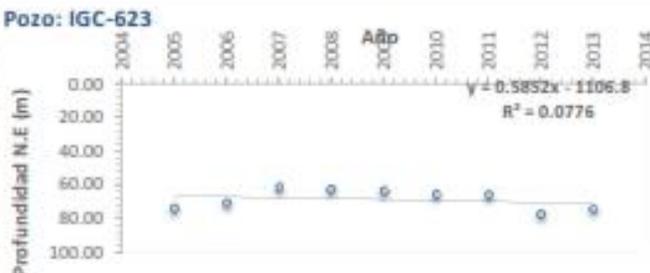
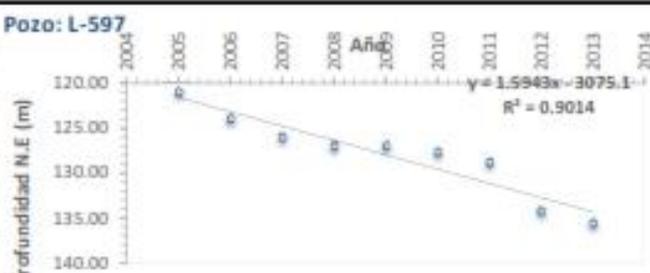
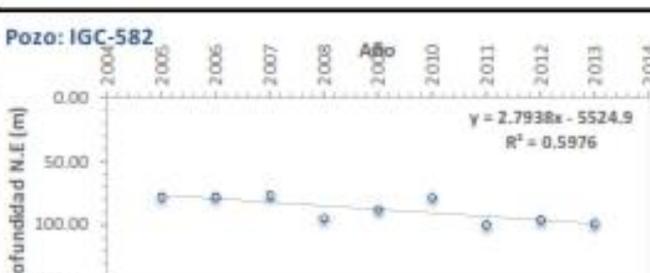
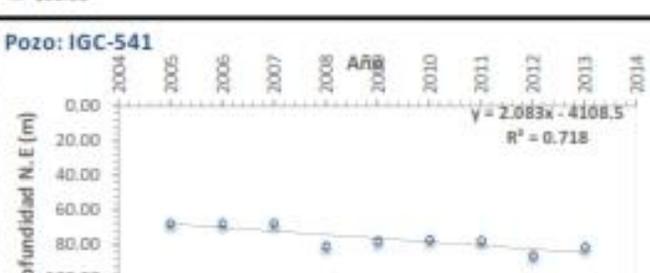
16	IGC-1225	2005	114.00	Pozo: IGC-1225 Profundidad N.E. (m) $y = 4.6623x - 9234$ $R^2 = 0.9734$
		2006	121.00	
		2007	120.00	
		2008	130.00	
		2009	128.00	
		2010	137.05	
		2011	141.69	
		2012	148.05	
2013	151.04			
17	IGC-1161	2005	39.00	Pozo: IGC-1161 Profundidad N.E. (m) $y = 0.9123x - 1790.5$ $R^2 = 0.8977$
		2006	40.00	
		2007	41.00	
		2008	41.00	
		2009	42.00	
		2010	41.60	
		2011	44.47	
		2012	44.60	
2013	47.35			
18	IGC-1092	2005	105.00	Pozo: IGC-1092 Profundidad N.E. (m) $y = 1.7485x - 3394.8$ $R^2 = 0.7567$
		2006	116.00	
		2007	116.00	
		2008	118.00	
		2009	119.00	
		2010	120.95	
		2011	121.34	
		2012	122.40	
2013	123.02			
19	IGC-1084	2005	115.00	Pozo: IGC-1084 Profundidad N.E. (m) $y = 3.1597x - 6227$ $R^2 = 0.6931$
		2006	95.00	
		2007	120.00	
		2008	120.00	
		2009	119.00	
		2010	124.20	
		2011	126.38	
		2012	131.30	
2013	133.18			
20	IGC-1061	2005	108.00	Pozo: IGC-1061 Profundidad N.E. (m) $y = 1.6623x - 3223.6$ $R^2 = 0.9023$
		2006	113.00	
		2007	114.00	
		2008	115.00	
		2009	113.00	
		2010	117.30	
		2011	119.68	
		2012	121.00	
2013	123.42			

21	L-985	2005	14.00	Pozo: L-985 Profundidad N.E. (m) Año $y = 0.34x - 667.5$ $R^2 = 0.5069$
		2006	15.00	
		2007	15.00	
		2008	14.00	
		2009	16.00	
		2010	16.90	
		2011	15.00	
		2012	17.90	
		2013	16.20	
22	L-972	2005	100.00	Pozo: L-972 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.1388x - 2181.1$ $R^2 = 0.7775$
		2006	105.00	
		2007	107.00	
		2008	106.00	
		2009	105.00	
		2010	107.70	
		2011	107.43	
		2012	111.75	
		2013	111.38	
23	IGC-919	2005	33.00	Pozo: IGC-919 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.4392x - 2854.5$ $R^2 = 0.3767$
		2006	38.00	
		2007	34.00	
		2008	34.00	
		2009	31.00	
		2010	31.30	
		2011	34.80	
		2012	46.35	
		2013	46.60	
24	IGC-893	2005	90.00	Pozo: IGC-893 Profundidad N.E. (m) Año $y = 3.3308x - 6585.8$ $R^2 = 0.876$
		2006	91.00	
		2007	104.00	
		2008	106.00	
		2009	107.00	
		2010	106.90	
		2011	109.75	
		2012	116.35	
		2013	117.55	
25	IGC-892	2005	39.70	Pozo: IGC-892 Profundidad N.E. (m) Año $y = 0.2473x - 456.06$ $R^2 = 0.9251$
		2006	40.20	
		2007	40.37	
		2008	40.40	
		2009	40.80	
		2010	41.35	
		2011	41.29	
		2012	41.20	
		2013	41.90	

26	IGC-822	2005	92.00	Pozo: IGC-822 Profundidad N.E. (m) vs Año $y = 1.7434x - 3397.1$ $R^2 = 0.4574$
		2006	109.00	
		2007	103.00	
		2008	105.00	
		2009	104.00	
		2010	102.80	
		2011	103.34	
		2012	117.15	
		2013	112.42	
		27	L-798	
2006	85.00			
2007	87.00			
2008	84.00			
2009	88.00			
2010	88.25			
2011	89.03			
2012	93.85			
2013	94.35			
28	IGC-789			2005
		2006	77.00	
		2007	78.00	
		2008	80.00	
		2009	105.75	
		2010	116.17	
		2011	126.59	
		2012	145.00	
		2013	147.85	
		29	IGC-787-A	2005
2006	84.25			
2007	84.81			
2008	86.00			
2009	84.00			
2010	87.65			
2011	87.14			
2012	87.65			
2013	87.82			
30	IGC-785			2005
		2006	76.00	
		2007	78.00	
		2008	79.00	
		2009	79.00	
		2010	78.40	
		2011	79.10	
		2012	80.50	
		2013	81.06	

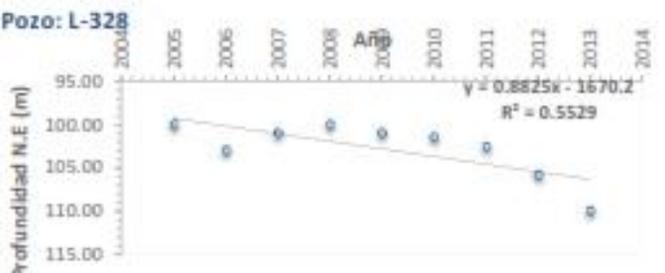
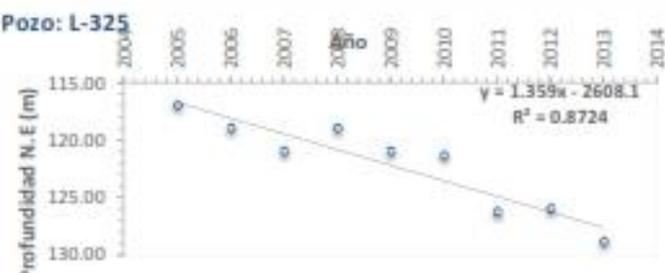
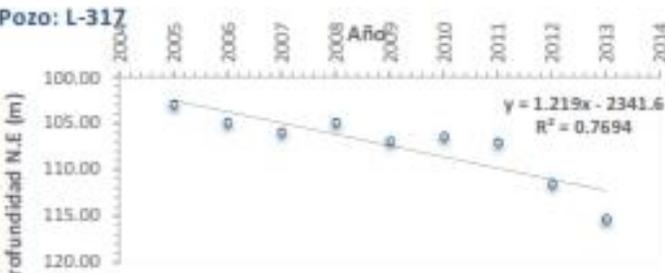
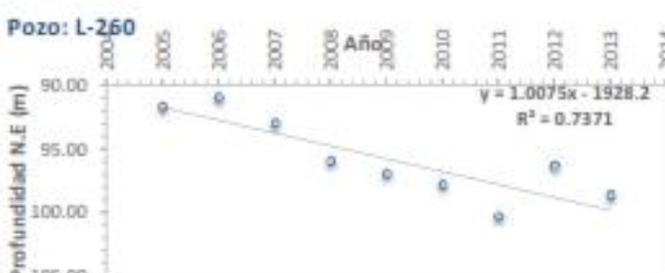
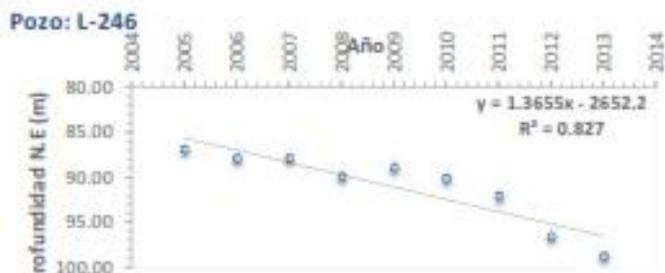
31	L-782	2005	58.00	Pozo: L-782 
		2006	90.00	
		2007	90.00	
		2008	93.00	
		2009	106.00	
		2010	106.65	
		2011	109.03	
		2012	115.65	
		2013	121.15	
32	L-766	2005	77.00	Pozo: L-766 
		2006	77.00	
		2007	80.00	
		2008	80.00	
		2009	108.00	
		2010	120.65	
		2011	117.06	
		2012	125.75	
		2013	127.56	
33	IGC-726	2005	58.00	Pozo: IGC-726 
		2006	58.00	
		2007	58.00	
		2008	58.42	
		2009	58.67	
		2010	58.92	
		2011	59.08	
		2012	59.10	
		2013	60.23	
34	L-718	2005	116.00	Pozo: L-718 
		2006	109.00	
		2007	120.00	
		2008	120.00	
		2009	122.00	
		2010	124.30	
		2011	124.97	
		2012	131.10	
		2013	134.67	
35	L-712	2005	25.00	Pozo: L-712 
		2006	27.00	
		2007	28.00	
		2008	28.00	
		2009	29.00	
		2010	28.85	
		2011	30.14	
		2012	30.86	
		2013	31.58	

36	IGC-709	2005	51.00	Pozo: IGC-709 
		2006	57.00	
		2007	56.00	
		2008	56.00	
		2009	57.00	
		2010	55.60	
		2011	56.30	
		2012	58.75	
		2013	59.62	
37	L-691	2005	50.00	Pozo: L-691 
		2006	52.00	
		2007	51.00	
		2008	52.00	
		2009	52.00	
		2010	52.00	
		2011	52.88	
		2012	54.65	
		2013	57.30	
38	L-671	2005	70.00	Pozo: L-671 
		2006	71.00	
		2007	72.00	
		2008	72.00	
		2009	72.00	
		2010	72.45	
		2011	73.07	
		2012	73.51	
		2013	73.94	
39	L-642-B	2005	83.00	Pozo: L-642-B 
		2006	84.00	
		2007	84.00	
		2008	84.00	
		2009	84.42	
		2010	84.30	
		2011	85.15	
		2012	85.70	
		2013	87.25	
40	L-629 A	2005	74.05	Pozo: L-629 A 
		2006	76.17	
		2007	76.30	
		2008	82.00	
		2009	82.00	
		2010	84.55	
		2011	86.22	
		2012	86.50	
		2013	93.67	

41	IGC-623	2005	74.00	Pozo: IGC-623 
		2006	71.00	
		2007	62.00	
		2008	63.00	
		2009	64.00	
		2010	66.00	
		2011	66.33	
		2012	77.75	
		2013	74.60	
42	L-622	2005	78.00	Pozo: L-622 
		2006	61.00	
		2007	65.00	
		2008	66.00	
		2009	67.00	
		2010	80.15	
		2011	87.53	
		2012	89.65	
		2013	102.15	
43	L-597	2005	121.00	Pozo: L-597 
		2006	124.00	
		2007	126.00	
		2008	127.00	
		2009	127.00	
		2010	127.70	
		2011	128.83	
		2012	134.30	
		2013	135.60	
44	IGC-582	2005	75.00	Pozo: IGC-582 
		2006	75.00	
		2007	77.00	
		2008	95.00	
		2009	68.00	
		2010	78.65	
		2011	89.65	
		2012	86.16	
		2013	96.95	
45	IGC-541	2005	65.00	Pozo: IGC-541 
		2006	65.00	
		2007	65.00	
		2008	61.00	
		2009	78.00	
		2010	77.26	
		2011	77.71	
		2012	66.30	
		2013	61.60	

46	L-467	2005	83.00	Pozo: L-467 Profundidad N.E. (m) vs Año $y = -1.1178x + 2327.2$ $R^2 = 0.1771$
		2006	85.00	
		2007	86.00	
		2008	82.00	
		2009	71.00	
		2010	73.00	
		2011	74.08	
		2012	83.35	
		2013	85.68	
47	IGC-454-B	2005	38.00	Pozo: IGC-454-B Profundidad N.E. (m) vs Año $y = 1.2128x - 2392$ $R^2 = 0.7696$
		2006	43.00	
		2007	42.00	
		2008	44.00	
		2009	44.00	
		2010	46.90	
		2011	43.45	
		2012	50.35	
		2013	49.23	
48	L-451	2005	77.00	Pozo: L-451 Profundidad N.E. (m) vs Año $y = 2.665x - 5265.8$ $R^2 = 0.9405$
		2006	79.00	
		2007	81.00	
		2008	90.00	
		2009	89.00	
		2010	91.20	
		2011	93.00	
		2012	95.70	
		2013	98.15	
49	L-385	2005	95.00	Pozo: L-385 Profundidad N.E. (m) vs Año $y = 1.1578x - 2227$ $R^2 = 0.8277$
		2006	97.00	
		2007	97.00	
		2008	98.00	
		2009	97.00	
		2010	98.50	
		2011	100.17	
		2012	103.25	
		2013	105.97	
50	IGC-382	2005	52.00	Pozo: IGC-382 Profundidad N.E. (m) vs Año $y = 0.7639x - 1479.7$ $R^2 = 0.8359$
		2006	53.00	
		2007	54.00	
		2008	55.00	
		2009	54.00	
		2010	54.50	
		2011	56.52	
		2012	56.50	
		2013	59.70	

51	L-378	2005	93.00	Pozo: L-378 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.1483x - 2209.4$ $R^2 = 0.7777$
		2006	96.00	
		2007	97.00	
		2008	95.00	
		2009	96.00	
		2010	96.55	
		2011	99.32	
		2012	101.25	
		2013	104.74	
52	IGC-353	2005	112.00	Pozo: IGC-353 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.0706x - 2033$ $R^2 = 0.8894$
		2006	114.75	
		2007	116.00	
		2008	119.00	
		2009	117.97	
		2010	119.45	
		2011	119.45	
		2012	121.15	
		2013	121.42	
53	IGC-352	2005	90.63	Pozo: IGC-352 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.893x - 3704.6$ $R^2 = 0.9166$
		2006	92.7196	
		2007	95.00	
		2008	96.00	
		2009	98.38	
		2010	99.15	
		2011	100.06	
		2012	102.60	
		2013	109.00	
54	L-347	2005	120.00	Pozo: L-347 Profundidad N.E. (m) Año $y = 2.0662x - 4024.1$ $R^2 = 0.9166$
		2006	120.00	
		2007	124.00	
		2008	124.00	
		2009	125.00	
		2010	128.50	
		2011	127.96	
		2012	134.65	
		2013	136.75	
55	L-343	2005	114.00	Pozo: L-343 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.562x - 3018.8$ $R^2 = 0.8861$
		2006	115.00	
		2007	117.00	
		2008	116.00	
		2009	117.00	
		2010	119.00	
		2011	120.65	
		2012	125.10	
		2013	127.65	

56	L-328	2005	100.00	Pozo: L-328 
		2006	103.00	
		2007	101.00	
		2008	100.00	
		2009	101.00	
		2010	101.50	
		2011	102.53	
		2012	105.65	
		2013	109.96	
57	L-325	2005	117.00	Pozo: L-325 
		2006	119.00	
		2007	121.00	
		2008	119.00	
		2009	121.00	
		2010	121.40	
		2011	126.33	
		2012	126.00	
		2013	126.67	
58	L-317	2005	103.00	Pozo: L-317 
		2006	105.00	
		2007	106.00	
		2008	105.00	
		2009	107.00	
		2010	106.50	
		2011	107.08	
		2012	111.60	
		2013	115.42	
59	L-260	2005	91.73	Pozo: L-260 
		2006	91.00	
		2007	93.00	
		2008	96.00	
		2009	97.00	
		2010	97.65	
		2011	100.37	
		2012	96.35	
		2013	96.68	
60	L-246	2005	87.00	Pozo: L-246 
		2006	88.00	
		2007	88.00	
		2008	90.00	
		2009	89.00	
		2010	90.15	
		2011	92.10	
		2012	96.70	
		2013	98.87	

61	L-213	2005	56.00	Pozo: L-213 Profundidad N.E. (m)
		2006	55.00	
		2007	54.00	
		2008	57.00	
		2009	57.00	
		2010	59.45	
		2011	62.07	
		2012	63.65	
		2013	66.00	
62	L-205	2005	91.00	Pozo: L-205 Profundidad N.E. (m)
		2006	92.00	
		2007	93.00	
		2008	94.00	
		2009	92.00	
		2010	94.30	
		2011	95.57	
		2012	99.90	
		2013	101.57	
63	L-184	2005	138.00	Pozo: L-184 Profundidad N.E. (m)
		2006	140.00	
		2007	142.00	
		2008	143.00	
		2009	143.00	
		2010	144.50	
		2011	145.20	
		2012	150.15	
		2013	148.67	
64	L-183	2005	114.00	Pozo: L-183 Profundidad N.E. (m)
		2006	115.00	
		2007	117.00	
		2008	120.00	
		2009	119.00	
		2010	121.35	
		2011	122.50	
		2012	128.70	
		2013	133.25	
65	L-177	2005	110.00	Pozo: L-177 Profundidad N.E. (m)
		2006	110.00	
		2007	111.00	
		2008	111.00	
		2009	112.00	
		2010	113.73	
		2011	113.49	
		2012	113.75	
		2013	114.74	

66	L-159	2005	96.00	Pozo: L-159 Profundidad N.E. (m) $y = 2.2342x - 4383.4$ $R^2 = 0.8798$
		2006	99.00	
		2007	101.00	
		2008	102.00	
		2009	103.00	
		2010	105.10	
		2011	105.95	
		2012	114.35	
		2013	116.75	
67	IGC-151	2005	21.00	Pozo: IGC-151 Profundidad N.E. (m) $y = 1.1188x - 2223.6$ $R^2 = 0.7157$
		2006	23.00	
		2007	20.00	
		2008	20.00	
		2009	22.00	
		2010	26.40	
		2011	26.50	
		2012	27.35	
		2013	28.67	
68	L-132	2005	109.00	Pozo: L-132 Profundidad N.E. (m) $y = 1.8882x - 3675.7$ $R^2 = 0.8922$
		2006	113.00	
		2007	113.00	
		2008	116.00	
		2009	116.00	
		2010	116.10	
		2011	124.60	
		2012	123.65	
		2013	123.51	
69	L-131	2005	113.00	Pozo: L-131 Profundidad N.E. (m) $y = 1.8793x - 3656.4$ $R^2 = 0.9348$
		2006	114.00	
		2007	115.00	
		2008	116.00	
		2009	119.11	
		2010	120.20	
		2011	120.90	
		2012	127.20	
		2013	127.29	
70	L-109 B-1	2005	126.42	Pozo: L-109 B-1 Profundidad N.E. (m) $y = 5.6487x - 11199$ $R^2 = 0.9149$
		2006	132.10	
		2007	137.79	
		2008	143.00	
		2009	141.00	
		2010	163.55	
		2011	162.04	
		2012	166.50	
		2013	166.59	

71	L-94	2005	112.00	Pozo: L-94 Profundidad N.E. (m) Año $y = 1.82x - 3537.4$ $R^2 = 0.9366$
		2006	114.00	
		2007	115.00	
		2008	116.00	
		2009	118.00	
		2010	120.60	
		2011	124.61	
		2012	126.10	
		2013	124.27	
72	IGC-79	2005	57.00	Pozo: IGC-79 Profundidad N.E. (m) Año $y = 0.651x - 1248.9$ $R^2 = 0.675$
		2006	58.00	
		2007	57.00	
		2008	58.00	
		2009	59.00	
		2010	58.70	
		2011	59.23	
		2012	59.70	
		2013	64.20	
73	L-46	2005	137.00	Pozo: L-46 Profundidad N.E. (m) Año $y = 2.418x - 4710.9$ $R^2 = 0.9478$
		2006	140.00	
		2007	142.00	
		2008	146.00	
		2009	144.00	
		2010	149.32	
		2011	154.47	
		2012	154.17	
		2013	155.56	
74	IGC-38-B	2005	35.00	Pozo: IGC-38-B Profundidad N.E. (m) Año $y = 0.6932x - 1355.4$ $R^2 = 0.8729$
		2006	36.00	
		2007	35.00	
		2008	36.55	
		2009	37.00	
		2010	37.00	
		2011	38.63	
		2012	39.00	
		2013	41.22	
75	IGC-22	2005	23.00	Pozo: IGC-22 Profundidad N.E. (m) Año $y = 0.6467x - 1273.4$ $R^2 = 0.4739$
		2006	24.00	
		2007	26.00	
		2008	26.00	
		2009	24.00	
		2010	27.00	
		2011	23.20	
		2012	28.00	
		2013	30.85	

8.9 Entradas y Salidas

No. Pozo	Clasificación	h1	h2	Transmisividad (m ² /s)	Gradiente Hidráulico dh/l (m)	Vol. (m ³ /s)	Vol. (m ³ /año)
1	Salida	1703.89	1706.15	1.13E-02	-4.52E-03	-7.65E-03	-241,116.87
2	Salida	1703.28	1706.51	1.12E-02	-6.46E-03	-1.09E-02	-342,651.73
3	Salida	1703.91	1707.33	1.13E-02	-6.84E-03	-1.16E-02	-365,153.67
4	Salida	1704.60	1708.22	1.14E-02	-7.24E-03	-1.24E-02	-389,965.55
5	Salida	1704.93	1709.18	1.15E-02	-8.50E-03	-1.47E-02	-462,117.16
6	Salida	1705.73	1710.23	1.16E-02	-9.00E-03	-1.57E-02	-493,878.58
7	Salida	1706.60	1710.41	1.17E-02	-7.62E-03	-1.34E-02	-422,817.14
8	Salida	1707.55	1711.58	1.19E-02	-8.05E-03	-1.43E-02	-451,981.59
9	Salida	1708.40	1711.04	1.18E-02	-5.28E-03	-9.35E-03	-294,939.90
10	Salida	1707.72	1712.17	1.19E-02	-8.90E-03	-1.59E-02	-502,760.99
11	Salida	1709.32	1713.44	1.21E-02	-8.24E-03	-1.50E-02	-472,093.11
12	Salida	1707.48	1712.08	1.19E-02	-9.20E-03	-1.64E-02	-516,602.30
13	Salida	1703.49	1707.64	1.13E-02	-8.29E-03	-1.41E-02	-443,855.80
14	Salida	1699.85	1704.32	1.09E-02	-8.95E-03	-1.46E-02	-459,651.41
15	Salida	1696.77	1700.49	1.02E-02	-7.44E-03	-1.14E-02	-359,503.97
16	Salida	1688.39	1697.26	9.77E-03	-1.77E-02	-2.60E-02	-819,736.87
17	Salida	1686.07	1688.90	9.37E-03	-5.66E-03	-7.95E-03	-250,821.27
18	Salida	1684.03	1686.43	8.98E-03	-4.79E-03	-6.45E-03	-203,504.98
19	Salida	1682.79	1684.38	8.63E-03	-3.16E-03	-4.09E-03	-129,090.87
20	Salida	1681.96	1682.91	8.30E-03	-1.91E-03	-2.37E-03	-74,812.21
21	Salida	1678.08	1681.21	8.00E-03	-6.26E-03	-7.51E-03	-236,977.81
22	Salida	1676.97	1677.96	7.73E-03	-1.97E-03	-2.29E-03	-72,197.67
23	Salida	1676.09	1676.81	7.48E-03	-1.42E-03	-1.60E-03	-50,418.37
24	Salida	1675.39	1675.86	7.23E-03	-9.33E-04	-1.01E-03	-31,927.39
25	Salida	1674.68	1674.95	7.02E-03	-5.43E-04	-5.72E-04	-18,052.30
26	Salida	1674.26	1674.32	6.83E-03	-1.30E-04	-1.34E-04	-4,211.46
27	Entrada	1674.31	1673.85	6.62E-03	9.06E-04	8.99E-04	28,360.07
28	Entrada	1673.88	1673.63	6.44E-03	4.92E-04	4.76E-04	15,004.37
29	Entrada	1673.80	1673.38	5.99E-03	8.42E-04	7.57E-04	23,865.41
30	Entrada	1671.95	1670.72	5.58E-03	2.45E-03	2.05E-03	64,736.41
31	Entrada	1670.82	1670.02	5.45E-03	1.59E-03	1.30E-03	41,047.90
32	Entrada	1670.79	1670.24	5.28E-03	1.11E-03	8.77E-04	27,672.09
33	Entrada	1670.94	1670.18	5.13E-03	1.52E-03	1.17E-03	36,887.28
34	Entrada	1670.92	1670.44	4.93E-03	9.45E-04	6.99E-04	22,035.02
35	Entrada	1671.24	1670.44	4.77E-03	1.61E-03	1.15E-03	36,287.10
36	Entrada	1671.39	1670.54	4.54E-03	1.70E-03	1.16E-03	36,516.40
37	Entrada	1671.76	1670.69	4.31E-03	2.15E-03	1.39E-03	43,826.80

38	Entrada	1672.20	1671.24	4.19E-03	1.92E-03	1.20E-03	37,945.11
39	Entrada	1672.61	1672.08	4.04E-03	1.06E-03	6.44E-04	20,309.65
40	Salida	1672.52	1672.69	4.13E-03	-3.30E-04	-2.04E-04	-6,438.70
41	Salida	1671.94	1672.55	4.08E-03	-1.23E-03	-7.49E-04	-23,627.34
42	Salida	1671.30	1671.30	4.23E-03	-3.66E-06	-2.32E-06	-73.29
43	Entrada	1670.57	1669.86	4.39E-03	1.42E-03	9.35E-04	29,480.13
44	Entrada	1669.92	1669.39	4.58E-03	1.07E-03	7.34E-04	23,139.58
45	Entrada	1670.01	1668.83	4.78E-03	2.36E-03	1.69E-03	53,330.42
46	Entrada	1669.79	1669.04	4.96E-03	1.49E-03	1.11E-03	34,995.45
47	Entrada	1670.11	1668.99	5.17E-03	2.23E-03	1.73E-03	54,536.08
48	Entrada	1670.13	1669.43	5.38E-03	1.40E-03	1.13E-03	35,675.78
49	Entrada	1670.48	1669.59	5.53E-03	1.79E-03	1.48E-03	46,770.76
50	Entrada	1670.61	1669.83	5.71E-03	1.57E-03	1.35E-03	42,472.43
51	Entrada	1670.84	1670.30	5.83E-03	1.08E-03	9.41E-04	29,661.86
52	Entrada	1671.01	1670.57	5.98E-03	8.95E-04	8.03E-04	25,321.89
53	Entrada	1671.24	1670.96	6.00E-03	5.64E-04	5.08E-04	16,005.82
54	Entrada	1671.58	1671.27	6.11E-03	6.34E-04	5.81E-04	18,329.56
55	Entrada	1671.86	1671.65	6.15E-03	4.36E-04	4.02E-04	12,676.16
56	Entrada	1672.20	1672.01	6.23E-03	3.94E-04	3.68E-04	11,597.86
57	Entrada	1672.54	1672.41	6.19E-03	2.52E-04	2.34E-04	7,367.85
58	Entrada	1673.92	1672.79	6.24E-03	2.27E-03	2.12E-03	66,925.08
59	Salida	1673.87	1674.09	6.22E-03	-4.43E-04	-4.14E-04	-13,043.25
60	Entrada	1674.30	1674.07	6.25E-03	4.62E-04	4.33E-04	13,670.77
61	Entrada	1675.76	1674.56	6.27E-03	2.40E-03	2.26E-03	71,117.09
62	Salida	1675.52	1676.26	5.89E-03	-1.48E-03	-1.31E-03	-41,164.20
63	Salida	1675.52	1676.40	5.77E-03	-1.76E-03	-1.52E-03	-47,982.89
64	Salida	1675.70	1675.90	5.71E-03	-3.89E-04	-3.33E-04	-10,494.60
65	Salida	1675.60	1675.94	5.63E-03	-6.83E-04	-5.76E-04	-18,171.30
66	Salida	1675.66	1675.98	5.53E-03	-6.46E-04	-5.36E-04	-16,906.96
67	Salida	1675.70	1675.83	5.45E-03	-2.73E-04	-2.23E-04	-7,041.09
68	Entrada	1676.07	1675.86	5.37E-03	4.23E-04	3.41E-04	10,738.50
69	Salida	1676.10	1676.80	5.31E-03	-1.39E-03	-1.11E-03	-34,969.34
70	Salida	1676.75	1676.79	5.19E-03	-7.06E-05	-5.50E-05	-1,733.61
71	Salida	1676.68	1676.81	5.10E-03	-2.48E-04	-1.89E-04	-5,975.48
72	Salida	1676.62	1676.74	5.04E-03	-2.48E-04	-1.87E-04	-5,911.99
73	Salida	1676.55	1676.65	4.88E-03	-1.94E-04	-1.42E-04	-4,469.89
74	Entrada	1677.24	1676.58	4.76E-03	1.32E-03	9.44E-04	29,783.36
75	Salida	1677.22	1677.24	4.70E-03	-5.20E-05	-3.66E-05	-1,155.73
76	Entrada	1677.19	1677.18	4.59E-03	1.00E-05	6.90E-06	217.51
77	Entrada	1677.18	1677.16	4.52E-03	4.08E-05	2.76E-05	871.15
78	Entrada	1677.16	1677.13	4.41E-03	5.98E-05	3.96E-05	1,247.77

79	Entrada	1677.19	1677.13	4.30E-03	1.14E-04	7.32E-05	2,309.15
80	Entrada	1677.19	1677.12	4.24E-03	1.49E-04	9.50E-05	2,995.83
81	Entrada	1678.12	1677.15	4.12E-03	1.94E-03	1.20E-03	37,699.01
82	Entrada	1678.15	1678.06	4.00E-03	1.62E-04	9.74E-05	3,070.33
83	Entrada	1678.22	1678.10	3.94E-03	2.24E-04	1.33E-04	4,186.03
84	Entrada	1678.25	1678.14	3.83E-03	2.23E-04	1.28E-04	4,031.00
85	Entrada	1678.32	1678.23	3.77E-03	1.75E-04	9.91E-05	3,126.31
86	Entrada	1679.49	1679.35	3.66E-03	2.82E-04	1.55E-04	4,877.93
87	Salida	1679.08	1679.43	3.60E-03	-7.04E-04	-3.80E-04	-11,975.72
88	Entrada	1679.11	1679.08	3.48E-03	5.25E-05	2.74E-05	864.85
89	Entrada	1679.19	1679.12	3.35E-03	1.27E-04	6.38E-05	2,011.83
90	Entrada	1679.27	1679.21	3.22E-03	1.16E-04	5.62E-05	1,773.17
91	Entrada	1679.18	1679.12	3.08E-03	1.25E-04	5.80E-05	1,830.16
92	Salida	1680.48	1680.52	2.94E-03	-8.35E-05	-3.69E-05	-1,162.53
93	Entrada	1680.65	1680.64	2.78E-03	2.12E-05	8.86E-06	279.31
94	Salida	1680.34	1680.36	2.62E-03	-4.37E-05	-1.72E-05	-541.11
95	Salida	1680.46	1680.51	2.38E-03	-9.55E-05	-3.41E-05	-1,076.17
96	Entrada	1680.59	1679.71	2.23E-03	1.76E-03	5.89E-04	18,568.82
97	Salida	1679.73	1679.87	2.04E-03	-2.86E-04	-8.78E-05	-2,768.65
98	Salida	1679.95	1680.11	1.89E-03	-3.22E-04	-9.13E-05	-2,879.83
99	Salida	1679.74	1680.29	1.75E-03	-1.10E-03	-2.87E-04	-9,049.09
100	Salida	1679.90	1680.18	1.61E-03	-5.55E-04	-1.34E-04	-4,219.92
101	Salida	1680.17	1680.50	1.43E-03	-6.58E-04	-1.41E-04	-4,438.76
102	Salida	1680.28	1680.63	1.31E-03	-7.04E-04	-1.38E-04	-4,358.28
103	Salida	1680.34	1680.71	1.21E-03	-7.32E-04	-1.32E-04	-4,175.51
104	Salida	1680.37	1680.75	1.12E-03	-7.69E-04	-1.30E-04	-4,086.16
105	Salida	1680.55	1680.94	9.76E-04	-7.90E-04	-1.16E-04	-3,648.63
106	Salida	1680.45	1680.87	9.47E-04	-8.39E-04	-1.19E-04	-3,757.37
107	Salida	1680.34	1680.76	9.41E-04	-8.26E-04	-1.17E-04	-3,674.47
108	Salida	1680.21	1680.60	9.56E-04	-7.99E-04	-1.15E-04	-3,611.72
109	Salida	1680.18	1680.58	9.37E-04	-8.09E-04	-1.14E-04	-3,587.50
110	Salida	1679.98	1680.36	9.92E-04	-7.62E-04	-1.13E-04	-3,576.19
111	Salida	1679.77	1680.13	1.06E-03	-7.15E-04	-1.14E-04	-3,581.44
112	Salida	1679.64	1679.99	1.14E-03	-6.99E-04	-1.19E-04	-3,761.24
113	Salida	1679.39	1679.72	1.19E-03	-6.48E-04	-1.16E-04	-3,646.27
114	Salida	1679.13	1679.67	1.28E-03	-1.08E-03	-2.08E-04	-6,547.70
115	Salida	1679.21	1680.04	1.30E-03	-1.67E-03	-3.26E-04	-10,277.45
116	Salida	1679.37	1680.28	1.26E-03	-1.82E-03	-3.43E-04	-10,812.52
117	Salida	1679.71	1680.73	1.17E-03	-2.03E-03	-3.56E-04	-11,236.07
118	Salida	1679.91	1681.01	1.15E-03	-2.20E-03	-3.78E-04	-11,913.98
119	Salida	1680.33	1681.54	1.08E-03	-2.41E-03	-3.91E-04	-12,333.26

120	Salida	1680.58	1681.87	1.09E-03	-2.58E-03	-4.22E-04	-13,320.32
121	Salida	1680.29	1681.81	1.06E-03	-3.04E-03	-4.85E-04	-15,302.90
122	Salida	1680.89	1682.53	1.11E-03	-3.28E-03	-5.46E-04	-17,230.09
123	Salida	1681.31	1683.14	1.17E-03	-3.68E-03	-6.43E-04	-20,290.35
124	Salida	1682.06	1684.07	1.19E-03	-4.00E-03	-7.15E-04	-22,552.67
125	Salida	1682.67	1684.98	1.27E-03	-4.62E-03	-8.78E-04	-27,700.93
126	Salida	1683.70	1685.87	1.31E-03	-4.34E-03	-8.54E-04	-26,934.10
127	Salida	1684.57	1686.29	1.39E-03	-3.44E-03	-7.18E-04	-22,653.88
128	Salida	1685.69	1685.85	1.40E-03	-3.34E-04	-7.01E-05	-2,211.80
129	Entrada	1686.08	1684.35	1.46E-03	3.45E-03	7.58E-04	23,889.37
130	Entrada	1685.66	1682.67	1.51E-03	5.98E-03	1.36E-03	42,817.21
131	Entrada	1684.62	1680.63	1.52E-03	7.99E-03	1.82E-03	57,549.04
132	Entrada	1683.00	1679.23	1.54E-03	7.55E-03	1.74E-03	54,841.95
133	Entrada	1681.29	1677.64	1.50E-03	7.30E-03	1.64E-03	51,851.69
134	Entrada	1680.00	1677.06	1.40E-03	5.88E-03	1.23E-03	38,946.50
135	Entrada	1678.75	1676.13	1.33E-03	5.24E-03	1.05E-03	32,986.70
136	Entrada	1678.32	1676.63	1.33E-03	3.38E-03	6.77E-04	21,351.22
137	Entrada	1678.41	1677.80	1.30E-03	1.23E-03	2.41E-04	7,594.87
138	Salida	1678.38	1678.46	1.21E-03	-1.60E-04	-2.91E-05	-918.25
139	Salida	1679.58	1680.86	1.20E-03	-2.56E-03	-4.62E-04	-14,556.68
140	Salida	1680.60	1683.60	1.13E-03	-6.00E-03	-1.02E-03	-32,233.86
141	Salida	1683.02	1686.28	1.17E-03	-6.53E-03	-1.15E-03	-36,153.32
142	Salida	1685.89	1686.84	1.24E-03	-1.89E-03	-3.51E-04	-11,072.89
143	Entrada	1688.85	1688.06	1.33E-03	1.58E-03	3.16E-04	9,963.05
144	Entrada	1691.18	1688.74	1.45E-03	4.87E-03	1.06E-03	33,488.45
145	Entrada	1690.71	1690.00	1.60E-03	1.43E-03	3.42E-04	10,799.64
146	Salida	1690.49	1692.63	1.68E-03	-4.28E-03	-1.08E-03	-34,053.87
147	Salida	1690.36	1696.29	1.87E-03	-1.19E-02	-3.32E-03	-104,795.45
148	Salida	1691.61	1698.85	2.06E-03	-1.45E-02	-4.48E-03	-141,126.56
149	Salida	1693.91	1698.64	2.26E-03	-9.47E-03	-3.21E-03	-101,124.66
150	Entrada	1695.56	1694.57	2.45E-03	1.96E-03	7.21E-04	22,726.13
151	Entrada	1696.60	1690.09	2.63E-03	1.30E-02	5.14E-03	161,959.40
152	Entrada	1693.31	1686.78	2.80E-03	1.31E-02	5.49E-03	172,996.34
153	Entrada	1689.56	1684.92	2.96E-03	9.29E-03	4.12E-03	129,989.24
154	Entrada	1686.70	1684.22	3.12E-03	4.95E-03	2.32E-03	73,180.30
155	Entrada	1685.07	1684.14	3.25E-03	1.85E-03	9.01E-04	28,411.88
156	Entrada	1684.50	1683.96	3.36E-03	1.08E-03	5.46E-04	17,206.52
157	Entrada	1684.55	1684.04	3.45E-03	1.02E-03	5.29E-04	16,682.26
158	Salida	1684.13	1685.68	3.53E-03	-3.10E-03	-1.64E-03	-51,758.11
159	Salida	1686.09	1687.28	3.58E-03	-2.37E-03	-1.27E-03	-40,171.97
160	Entrada	1690.78	1685.92	3.61E-03	9.71E-03	5.26E-03	165,773.94

161	Entrada	1691.32	1683.51	3.62E-03	1.56E-02	8.49E-03	267,796.85
162	Entrada	1688.88	1680.48	3.66E-03	1.68E-02	9.23E-03	290,980.95
163	Entrada	1685.64	1676.03	3.64E-03	1.92E-02	1.05E-02	330,491.51
164	Entrada	1682.13	1673.34	3.59E-03	1.76E-02	9.48E-03	298,871.37
165	Entrada	1677.97	1669.93	3.53E-03	1.61E-02	8.53E-03	268,923.16
166	Entrada	1674.83	1666.41	3.47E-03	1.68E-02	8.75E-03	276,004.38
167	Entrada	1671.43	1662.42	3.39E-03	1.80E-02	9.15E-03	288,462.98
168	Entrada	1668.01	1658.90	3.30E-03	1.82E-02	9.01E-03	284,112.67
169	Entrada	1664.21	1654.14	3.20E-03	2.02E-02	9.68E-03	305,231.12
170	Entrada	1660.85	1650.62	3.11E-03	2.05E-02	9.53E-03	300,665.74
171	Entrada	1657.40	1647.54	3.00E-03	1.97E-02	8.88E-03	279,985.06
172	Entrada	1653.40	1645.23	2.90E-03	1.63E-02	7.10E-03	223,933.14
173	Entrada	1650.69	1643.80	2.80E-03	1.38E-02	5.79E-03	182,458.53
174	Entrada	1648.63	1643.51	2.71E-03	1.02E-02	4.16E-03	131,079.65
175	Entrada	1647.39	1644.14	2.39E-03	6.49E-03	2.32E-03	73,300.39
176	Entrada	1646.66	1644.15	2.30E-03	5.02E-03	1.74E-03	54,743.75
177	Entrada	1646.93	1645.67	2.23E-03	2.50E-03	8.37E-04	26,404.86
178	Entrada	1647.67	1647.24	2.13E-03	8.60E-04	2.75E-04	8,685.50
179	Salida	1647.65	1648.78	2.08E-03	-2.28E-03	-7.10E-04	-22,389.85
180	Salida	1648.96	1650.29	2.03E-03	-2.66E-03	-8.09E-04	-25,498.81
181	Salida	1650.32	1651.74	1.99E-03	-2.85E-03	-8.49E-04	-26,763.11
182	Salida	1651.68	1652.23	1.96E-03	-1.10E-03	-3.23E-04	-10,185.86
183	Entrada	1653.04	1652.07	1.93E-03	1.93E-03	5.57E-04	17,561.22
184	Entrada	1654.37	1653.25	1.92E-03	2.23E-03	6.41E-04	20,216.90
185	Entrada	1655.67	1654.37	1.90E-03	2.60E-03	7.40E-04	23,321.43
186	Salida	1655.30	1655.41	1.86E-03	-2.28E-04	-6.35E-05	-2,004.05
187	Salida	1655.45	1656.39	1.84E-03	-1.88E-03	-5.20E-04	-16,395.30
188	Salida	1656.52	1657.28	1.84E-03	-1.52E-03	-4.19E-04	-13,214.28
189	Salida	1657.52	1658.45	1.83E-03	-1.88E-03	-5.14E-04	-16,200.85
190	Salida	1658.44	1658.59	1.86E-03	-3.04E-04	-8.51E-05	-2,684.12
191	Entrada	1659.27	1659.17	1.86E-03	1.99E-04	5.54E-05	1,747.50
192	Entrada	1660.00	1659.66	1.85E-03	6.79E-04	1.88E-04	5,940.46
193	Entrada	1660.01	1659.86	1.93E-03	2.94E-04	8.51E-05	2,684.31
194	Entrada	1660.54	1660.19	1.90E-03	6.99E-04	2.00E-04	6,294.95
195	Entrada	1660.97	1660.44	1.90E-03	1.06E-03	3.01E-04	9,483.40
196	Entrada	1661.31	1660.63	1.89E-03	1.36E-03	3.86E-04	12,178.79
197	Entrada	1661.46	1660.34	1.88E-03	2.24E-03	6.31E-04	19,889.68
198	Entrada	1661.60	1660.44	1.87E-03	2.32E-03	6.50E-04	20,483.91
199	Entrada	1661.21	1660.50	1.86E-03	1.42E-03	3.94E-04	12,432.14
200	Entrada	1661.26	1660.52	1.85E-03	1.47E-03	4.09E-04	12,886.37
201	Entrada	1661.27	1660.52	1.84E-03	1.50E-03	4.15E-04	13,092.44

202	Entrada	1661.25	1660.49	1.81E-03	1.51E-03	4.10E-04	12,939.17
203	Entrada	1661.20	1660.17	1.80E-03	2.06E-03	5.57E-04	17,557.60
204	Entrada	1661.12	1659.63	1.80E-03	2.98E-03	8.03E-04	25,332.66
205	Entrada	1661.03	1659.92	1.80E-03	2.23E-03	6.00E-04	18,917.24
206	Salida	1660.70	1662.97	1.77E-03	-4.54E-03	-1.21E-03	-38,012.09
207	Salida	1660.13	1662.71	1.72E-03	-5.16E-03	-1.33E-03	-42,058.42
208	Salida	1664.55	1664.78	1.67E-03	-4.59E-04	-1.15E-04	-3,626.72
209	Salida	1663.23	1664.93	1.65E-03	-3.41E-03	-8.41E-04	-26,509.73
210	Entrada	1666.04	1665.15	1.59E-03	1.78E-03	4.26E-04	13,432.75
211	Entrada	1666.11	1665.40	1.54E-03	1.42E-03	3.28E-04	10,343.49
212	Salida	1665.40	1665.70	1.48E-03	-6.12E-04	-1.36E-04	-4,274.63
213	Salida	1665.59	1666.07	1.42E-03	-9.63E-04	-2.05E-04	-6,461.29
214	Salida	1665.84	1666.33	1.36E-03	-9.83E-04	-2.01E-04	-6,336.74
215	Salida	1666.15	1669.73	1.31E-03	-7.16E-03	-1.41E-03	-44,315.85
216	Salida	1666.39	1670.18	1.33E-03	-7.57E-03	-1.51E-03	-47,472.00
217	Salida	1666.58	1667.29	1.39E-03	-1.41E-03	-2.95E-04	-9,309.46
218	Salida	1666.99	1670.63	1.46E-03	-7.29E-03	-1.59E-03	-50,157.33
219	Salida	1667.32	1670.78	1.52E-03	-6.91E-03	-1.58E-03	-49,790.34
220	Salida	1667.48	1671.16	1.58E-03	-7.36E-03	-1.74E-03	-54,927.33
221	Salida	1667.84	1671.41	1.62E-03	-7.14E-03	-1.73E-03	-54,562.59
222	Salida	1667.98	1668.57	1.69E-03	-1.18E-03	-2.99E-04	-9,434.49
223	Salida	1668.24	1671.97	1.72E-03	-7.47E-03	-1.92E-03	-60,661.94
224	Salida	1668.61	1672.47	1.76E-03	-7.72E-03	-2.04E-03	-64,308.78
225	Salida	1668.80	1672.86	1.75E-03	-8.13E-03	-2.14E-03	-67,476.44
226	Salida	1672.20	1673.44	1.76E-03	-2.49E-03	-6.58E-04	-20,739.84
227	Salida	1672.79	1674.13	1.74E-03	-2.68E-03	-7.02E-04	-22,138.08
228	Salida	1673.18	1677.29	1.76E-03	-8.23E-03	-2.17E-03	-68,429.47
229	Salida	1674.00	1678.38	1.81E-03	-8.77E-03	-2.38E-03	-74,962.98
230	Salida	1674.43	1681.15	1.81E-03	-1.34E-02	-3.64E-03	-114,898.55
231	Salida	1678.14	1682.39	1.82E-03	-8.51E-03	-2.32E-03	-73,166.86
232	Salida	1678.69	1690.54	1.82E-03	-2.37E-02	-6.48E-03	-204,499.72
233	Salida	1682.05	1691.42	1.84E-03	-1.87E-02	-5.17E-03	-162,924.07
234	Salida	1682.67	1692.81	1.84E-03	-2.03E-02	-5.61E-03	-177,052.20
235	Salida	1690.98	1693.80	1.83E-03	-5.63E-03	-1.54E-03	-48,649.62
236	Salida	1691.86	1694.83	1.83E-03	-5.94E-03	-1.63E-03	-51,394.45
237	Salida	1693.24	1696.41	1.81E-03	-6.34E-03	-1.73E-03	-54,437.53
238	Salida	1694.22	1697.56	1.84E-03	-6.68E-03	-1.85E-03	-58,243.70
239	Salida	1695.25	1702.48	1.85E-03	-1.45E-02	-4.02E-03	-126,715.75
240	Salida	1696.80	1703.67	1.84E-03	-1.37E-02	-3.80E-03	-119,775.88
241	Salida	1697.94	1710.86	1.84E-03	-2.58E-02	-7.11E-03	-224,300.74
242	Salida	1699.62	1712.89	1.85E-03	-2.65E-02	-7.36E-03	-232,228.63

243	Salida	1710.07	1714.38	1.85E-03	-8.62E-03	-2.39E-03	-75,253.79
244	Salida	1711.40	1715.94	1.86E-03	-9.07E-03	-2.53E-03	-79,901.24
245	Salida	1713.41	1720.69	1.86E-03	-1.46E-02	-4.07E-03	-128,257.38
246	Salida	1714.88	1722.38	1.86E-03	-1.50E-02	-4.18E-03	-131,966.53
247	Salida	1716.42	1724.14	1.88E-03	-1.54E-02	-4.35E-03	-137,122.13
248	Salida	1721.14	1726.66	1.85E-03	-1.11E-02	-3.08E-03	-96,979.46
249	Salida	1722.80	1728.61	1.86E-03	-1.16E-02	-3.23E-03	-101,969.18
250	Salida	1724.55	1730.66	1.87E-03	-1.22E-02	-3.43E-03	-108,103.51
251	Salida	1727.02	1743.69	1.87E-03	-3.33E-02	-9.35E-03	-294,905.74
252	Salida	1728.95	1746.55	1.88E-03	-3.52E-02	-9.95E-03	-313,709.36
253	Salida	1730.97	1749.08	1.88E-03	-3.62E-02	-1.02E-02	-322,464.16
254	Salida	1745.12	1758.18	1.89E-03	-2.61E-02	-7.42E-03	-234,010.98
255	Salida	1746.87	1760.72	1.95E-03	-2.77E-02	-8.10E-03	-255,380.10
256	Salida	1749.31	1764.36	1.96E-03	-3.01E-02	-8.85E-03	-279,111.34
257	Salida	1759.21	1766.17	1.98E-03	-1.39E-02	-4.14E-03	-130,532.25
258	Salida	1760.97	1766.73	2.00E-03	-1.15E-02	-3.46E-03	-109,140.01
259	Salida	1764.49	1767.86	2.01E-03	-6.76E-03	-2.04E-03	-64,272.91
260	Salida	1766.23	1768.44	5.96E-03	-4.42E-03	-3.95E-03	-124,584.18
261	Salida	1767.97	1770.84	5.97E-03	-5.74E-03	-5.13E-03	-161,863.53
262	Salida	1769.19	1770.63	5.92E-03	-2.89E-03	-2.57E-03	-80,928.73
263	Salida	1769.81	1772.56	5.81E-03	-5.49E-03	-4.79E-03	-151,088.34
264	Salida	1771.74	1780.53	5.76E-03	-1.76E-02	-1.52E-02	-478,629.55
265	Salida	1771.77	1780.87	5.70E-03	-1.82E-02	-1.56E-02	-491,269.36
266	Salida	1772.89	1781.51	5.58E-03	-1.73E-02	-1.44E-02	-455,288.88
267	Entrada	1782.68	1781.79	5.51E-03	1.79E-03	1.48E-03	46,591.14
268	Salida	1783.14	1784.58	5.34E-03	-2.88E-03	-2.31E-03	-72,711.35
269	Salida	1784.04	1788.61	5.26E-03	-9.13E-03	-7.21E-03	-227,235.18
270	Salida	1784.48	1791.65	5.16E-03	-1.43E-02	-1.11E-02	-350,181.87
271	Salida	1785.31	1796.04	5.00E-03	-2.15E-02	-1.61E-02	-507,442.01
272	Salida	1788.19	1799.13	4.95E-03	-2.19E-02	-1.62E-02	-512,291.72
273	Salida	1792.21	1805.01	4.96E-03	-2.56E-02	-1.91E-02	-601,088.17
274	Salida	1795.33	1808.28	4.92E-03	-2.59E-02	-1.91E-02	-602,829.28
275	Salida	1799.67	1811.43	4.88E-03	-2.35E-02	-1.72E-02	-543,181.84
276	Salida	1802.82	1814.45	4.85E-03	-2.33E-02	-1.69E-02	-533,491.76
277	Salida	1806.93	1818.16	4.93E-03	-2.25E-02	-1.66E-02	-523,684.15
278	Salida	1810.17	1820.50	4.92E-03	-2.07E-02	-1.53E-02	-481,131.15
279	Salida	1813.28	1822.51	4.92E-03	-1.85E-02	-1.36E-02	-429,518.50
280	Salida	1816.91	1823.66	5.06E-03	-1.35E-02	-1.02E-02	-322,579.36
281	Salida	1819.54	1824.72	5.09E-03	-1.04E-02	-7.91E-03	-249,362.68
282	Salida	1821.77	1824.69	5.14E-03	-5.84E-03	-4.50E-03	-142,036.34
283	Salida	1823.48	1823.85	5.26E-03	-7.35E-04	-5.79E-04	-18,263.19

284	Entrada	1824.86	1822.99	5.47E-03	3.74E-03	3.07E-03	96,740.25
285	Entrada	1825.25	1821.79	5.59E-03	6.92E-03	5.80E-03	182,950.83
286	Entrada	1825.18	1820.68	5.72E-03	9.01E-03	7.73E-03	243,721.30
287	Entrada	1824.63	1819.64	5.87E-03	9.99E-03	8.79E-03	277,181.15
288	Entrada	1824.08	1818.80	5.93E-03	1.06E-02	9.38E-03	295,810.02
289	Entrada	1823.20	1817.73	5.91E-03	1.10E-02	9.71E-03	306,137.78
290	Entrada	1822.41	1817.35	6.00E-03	1.01E-02	9.12E-03	287,462.88
291	Entrada	1821.86	1816.38	6.00E-03	1.09E-02	9.85E-03	310,561.76
292	Entrada	1821.17	1816.23	6.15E-03	9.86E-03	9.09E-03	286,793.01
293	Entrada	1820.48	1817.27	6.32E-03	6.41E-03	6.08E-03	191,611.96
294	Entrada	1820.45	1817.36	6.51E-03	6.17E-03	6.03E-03	190,165.00
295	Entrada	1820.63	1819.74	6.51E-03	1.77E-03	1.73E-03	54,598.49
296	Salida	1819.90	1824.66	6.82E-03	-9.52E-03	-9.75E-03	-307,396.62
297	Salida	1820.19	1828.43	7.08E-03	-1.65E-02	-1.75E-02	-551,866.32
298	Salida	1821.56	1831.49	7.35E-03	-1.98E-02	-2.19E-02	-690,426.85
299	Salida	1826.31	1837.16	7.71E-03	-2.17E-02	-2.51E-02	-792,020.76
300	Salida	1829.23	1840.47	8.06E-03	-2.25E-02	-2.72E-02	-857,012.34
301	Salida	1833.08	1843.74	8.39E-03	-2.13E-02	-2.68E-02	-846,275.83
302	Salida	1838.75	1844.42	9.06E-03	-1.13E-02	-1.54E-02	-486,351.71
303	Salida	1842.16	1847.74	9.38E-03	-1.12E-02	-1.57E-02	-495,318.25
304	Salida	1845.58	1851.14	1.09E-02	-1.11E-02	-1.81E-02	-571,514.42
305	Salida	1848.91	1852.14	1.12E-02	-6.47E-03	-1.08E-02	-341,726.73
306	Salida	1852.18	1855.85	1.15E-02	-7.36E-03	-1.27E-02	-399,819.97
307	Salida	1852.87	1859.39	1.18E-02	-1.30E-02	-2.31E-02	-728,193.25
308	Salida	1856.17	1861.02	1.21E-02	-9.70E-03	-1.76E-02	-555,921.63
309	Salida	1857.11	1865.41	1.24E-02	-1.66E-02	-3.09E-02	-975,350.77
310	Salida	1860.70	1870.12	1.27E-02	-1.88E-02	-3.60E-02	-1,135,104.91
311	Salida	1864.14	1872.71	1.32E-02	-1.71E-02	-3.39E-02	-1,068,604.36
312	Salida	1865.80	1878.10	1.35E-02	-2.46E-02	-4.98E-02	-1,570,859.88
313	Salida	1870.12	1883.81	1.37E-02	-2.74E-02	-5.61E-02	-1,769,082.32
314	Salida	1874.81	1887.08	1.45E-02	-2.46E-02	-5.35E-02	-1,687,152.73
315	Salida	1877.58	1892.54	1.48E-02	-2.99E-02	-6.65E-02	-2,097,058.54
316	Salida	1883.05	1898.83	1.51E-02	-3.16E-02	-7.14E-02	-2,252,868.88
317	Salida	1888.88	1902.27	1.54E-02	-2.68E-02	-6.17E-02	-1,944,362.10
318	Salida	1892.45	1908.76	1.56E-02	-3.26E-02	-7.65E-02	-2,413,927.91
319	Salida	1898.74	1915.41	1.59E-02	-3.33E-02	-7.95E-02	-2,506,450.78
320	Salida	1904.54	1919.50	1.61E-02	-2.99E-02	-7.24E-02	-2,283,799.98
321	Salida	1908.13	1927.07	1.65E-02	-3.79E-02	-9.39E-02	-2,961,451.53
322	Salida	1914.58	1935.31	1.68E-02	-4.14E-02	-1.04E-01	-3,285,602.39
323	Salida	1921.06	1941.03	1.70E-02	-3.99E-02	-1.02E-01	-3,206,936.07
324	Salida	1925.05	1951.12	1.72E-02	-5.21E-02	-1.34E-01	-4,239,346.37

325	Salida	1932.30	1962.08	1.77E-02	-5.96E-02	-1.58E-01	-4,997,312.78
326	Salida	1940.24	1969.09	1.79E-02	-5.77E-02	-1.55E-01	-4,889,859.91
327	Salida	1946.97	1979.47	1.81E-02	-6.50E-02	-1.76E-01	-5,560,526.15
328	Salida	1956.83	1992.05	1.83E-02	-7.04E-02	-1.93E-01	-6,097,290.09
329	Salida	1968.36	2000.90	1.85E-02	-6.51E-02	-1.80E-01	-5,680,610.23
330	Salida	1977.33	1994.97	1.86E-02	-3.53E-02	-9.84E-02	-3,103,027.96
331	Entrada	1988.90	1983.58	1.88E-02	1.06E-02	3.00E-02	946,370.89
332	Entrada	1998.96	1977.65	1.90E-02	4.26E-02	1.21E-01	3,828,620.87
333	Entrada	2000.90	1963.41	1.91E-02	7.50E-02	2.15E-01	6,775,447.92
334	Entrada	2004.36	1948.46	1.92E-02	1.12E-01	3.22E-01	10,163,752.11
335	Entrada	1992.16	1963.34	1.94E-02	5.76E-02	1.68E-01	5,285,512.37
336	Entrada	1985.03	1968.70	1.95E-02	3.27E-02	9.55E-02	3,012,625.71
337	Entrada	1990.77	1973.69	1.95E-02	3.42E-02	1.00E-01	3,158,083.84
338	Entrada	1986.59	1964.94	1.96E-02	4.33E-02	1.28E-01	4,021,071.78
339	Entrada	1980.41	1953.30	1.97E-02	5.42E-02	1.60E-01	5,056,139.70
340	Entrada	1965.21	1939.17	1.98E-02	5.21E-02	1.55E-01	4,881,113.30
341	Entrada	1952.88	1925.14	1.99E-02	5.55E-02	1.66E-01	5,224,234.95
342	Entrada	1942.42	1912.20	2.00E-02	6.04E-02	1.82E-01	5,727,932.58
343	Entrada	1928.96	1898.74	2.02E-02	6.04E-02	1.83E-01	5,766,814.75
344	Entrada	1917.05	1885.82	2.03E-02	6.25E-02	1.90E-01	5,992,793.13
345	Entrada	1903.72	1873.46	2.04E-02	6.05E-02	1.85E-01	5,849,564.83
346	Entrada	1890.82	1861.31	2.06E-02	5.90E-02	1.82E-01	5,739,008.78
347	Entrada	1878.42	1849.67	2.27E-02	5.75E-02	1.96E-01	6,175,002.49
348	Entrada	1866.54	1838.54	2.29E-02	5.60E-02	1.92E-01	6,056,033.74
349	Entrada	1854.55	1832.89	2.31E-02	4.33E-02	1.50E-01	4,723,095.44
350	Entrada	1847.59	1819.24	2.32E-02	5.67E-02	1.97E-01	6,216,581.00
351	Entrada	1836.46	1813.88	2.34E-02	4.52E-02	1.58E-01	4,990,987.25
352	Entrada	1830.71	1800.42	2.35E-02	6.06E-02	2.13E-01	6,720,360.52
353	Entrada	1817.08	1796.04	2.36E-02	4.21E-02	1.49E-01	4,699,066.83
354	Entrada	1807.96	1792.77	2.38E-02	3.04E-02	1.08E-01	3,416,042.65
355	Entrada	1794.82	1791.55	2.39E-02	6.53E-03	2.34E-02	739,460.99
356	Salida	1786.54	1792.04	2.41E-02	-1.10E-02	-3.97E-02	-1,253,219.08
357	Salida	1787.64	1788.09	2.41E-02	-8.92E-04	-3.23E-03	-101,755.92
358	Salida	1784.50	1788.15	2.42E-02	-7.31E-03	-2.66E-02	-837,989.71
359	Entrada	1785.23	1783.98	2.42E-02	2.49E-03	9.06E-03	285,618.97
360	Salida	1783.70	1783.70	2.42E-02	-1.46E-06	-5.33E-06	-167.94
361	Entrada	1780.01	1775.81	2.43E-02	8.39E-03	3.06E-02	966,294.89
362	Entrada	1780.13	1768.81	2.43E-02	2.26E-02	8.26E-02	2,604,600.32
363	Entrada	1776.29	1765.23	2.44E-02	2.21E-02	8.10E-02	2,554,133.05
364	Entrada	1772.51	1761.79	2.45E-02	2.14E-02	7.87E-02	2,483,271.96
365	Entrada	1768.91	1759.09	2.46E-02	1.96E-02	7.25E-02	2,287,679.52

366	Entrada	1762.20	1753.39	2.49E-02	1.76E-02	6.58E-02	2,074,666.03
367	Entrada	1758.95	1750.18	2.50E-02	1.75E-02	6.57E-02	2,072,709.30
368	Entrada	1755.94	1739.76	2.51E-02	3.23E-02	1.22E-01	3,843,744.07
369	Entrada	1753.00	1731.83	2.53E-02	4.23E-02	1.61E-01	5,069,515.45
370	Entrada	1747.22	1727.14	2.57E-02	4.02E-02	1.55E-01	4,878,478.75
371	Entrada	1736.63	1723.20	2.60E-02	2.69E-02	1.05E-01	3,305,823.09
372	Entrada	1727.36	1721.10	2.62E-02	1.25E-02	4.91E-02	1,549,645.38
373	Entrada	1724.71	1717.22	2.66E-02	1.50E-02	5.98E-02	1,886,650.04
374	Entrada	1722.58	1713.56	2.69E-02	1.80E-02	7.27E-02	2,293,976.13
375	Entrada	1718.86	1710.50	2.71E-02	1.67E-02	6.80E-02	2,145,249.68
376	Entrada	1714.66	1704.53	2.75E -02	2.03E-02	8.36E-02	2,637,949.32
377	Entrada	1709.00	1703.25	2.78E-02	1.15E-02	4.79E-02	1,510,322.03
378	Entrada	1706.03	1700.27	2.80E-02	1.15E-02	4.84E-02	1,525,692.99
379	Entrada	1704.01	1690.63	2.82E-02	2.68E-02	1.13E-01	3,573,629.73
380	Entrada	1703.86	1688.74	2.81E-02	3.02E-02	1.27E-01	4,018,421.63
381	Entrada	1698.59	1687.93	2.78E-02	2.13E-02	8.89E-02	2,804,267.09
382	Entrada	1697.86	1685.94	2.76E-02	2.38E-02	9.87E-02	3,112,987.56
383	Entrada	1696.99	1683.67	2.73E-02	2.66E-02	1.09E-01	3,436,084.45
384	Entrada	1693.34	1680.93	2.72E-02	2.48E-02	1.01E-01	3,187,372.50
385	Entrada	1683.90	1678.85	2.73E-02	1.01E-02	4.14E-02	1,304,082.68
386	Entrada	1681.06	1676.17	2.72E-02	9.78E-03	3.98E-02	1,256,573.06
387	Entrada	1678.81	1674.13	2.70E-02	9.35E-03	3.79E-02	1,194,325.11
388	Entrada	1676.02	1671.12	2.70E-02	9.80E-03	3.97E-02	1,253,555.21
389	Entrada	1673.77	1667.24	2.68E-02	1.31E-02	5.25E-02	1,654,069.68
390	Entrada	1671.94	1664.83	2.67E-02	1.42E-02	5.71E-02	1,800,151.86
391	Entrada	1669.57	1662.99	2.64E-02	1.32E-02	5.21E-02	1,643,291.13
392	Entrada	1665.98	1662.53	2.62E-02	6.90E-03	2.71E-02	855,994.60
393	Entrada	1665.76	1662.84	2.56E-02	5.85E-03	2.25E-02	708,637.54
394	Entrada	1666.49	1662.82	2.51E-02	7.35E-03	2.76E-02	870,954.71
395	Entrada	1665.51	1662.01	2.44E-02	7.00E-03	2.57E-02	809,588.35
396	Entrada	1665.00	1661.77	2.39E-02	6.44E-03	2.30E-02	726,754.75
397	Entrada	1664.92	1660.36	2.33E-02	9.12E-03	3.19E-02	1,004,477.91
398	Entrada	1663.60	1658.91	2.28E-02	9.39E-03	3.21E-02	1,013,684.32
399	Entrada	1660.65	1656.56	2.25E-02	8.17E-03	2.75E-02	868,279.00
400	Entrada	1659.67	1655.87	2.16E-02	7.60E-03	2.46E-02	777,042.12
401	Entrada	1658.23	1656.23	2.11E-02	4.00E-03	1.27E-02	399,244.73
402	Entrada	1658.75	1656.23	2.02E-02	5.03E-03	1.53E-02	480,942.03
403	Entrada	1659.95	1656.86	1.99E-02	6.18E-03	1.85E-02	582,157.80
404	Entrada	1660.34	1656.23	1.91E-02	8.23E-03	2.36E-02	743,421.98
405	Entrada	1660.19	1656.12	1.83E-02	8.15E-03	2.24E-02	704,865.33
406	Entrada	1662.13	1654.30	1.76E-02	1.56E-02	4.12E-02	1,299,149.94

407	Entrada	1664.17	1656.49	1.70E-02	1.54E-02	3.93E-02	1,238,221.02
408	Entrada	1665.15	1657.23	1.64E-02	1.58E-02	3.91E-02	1,232,029.02
409	Entrada	1664.38	1658.55	1.60E-02	1.16E-02	2.80E-02	884,239.07
410	Entrada	1664.19	1660.38	1.53E-02	7.61E-03	1.74E-02	549,336.89
411	Entrada	1666.26	1659.62	1.45E-02	1.33E-02	2.88E-02	908,084.50
412	Entrada	1667.20	1660.41	1.41E-02	1.36E-02	2.88E-02	907,674.47
413	Entrada	1670.42	1660.97	1.35E-02	1.89E-02	3.83E-02	1,207,164.00
414	Entrada	1672.56	1661.91	1.31E-02	2.13E-02	4.18E-02	1,318,947.02
415	Entrada	1673.82	1665.50	1.27E-02	1.66E-02	3.17E-02	1,001,221.25
416	Entrada	1677.26	1668.32	1.28E-02	1.79E-02	3.42E-02	1,079,532.13
417	Entrada	1681.14	1670.99	1.30E-02	2.03E-02	3.95E-02	1,246,850.31
418	Entrada	1684.10	1674.91	1.34E-02	1.84E-02	3.68E-02	1,161,566.38
419	Entrada	1685.63	1678.19	1.34E-02	1.49E-02	3.00E-02	944,807.93
420	Entrada	1688.20	1680.84	1.36E-02	1.47E-02	3.01E-02	950,179.44
421	Entrada	1691.49	1683.48	1.41E-02	1.60E-02	3.39E-02	1,070,228.41
422	Entrada	1694.74	1687.10	1.45E-02	1.53E-02	3.34E-02	1,052,068.28
423	Entrada	1697.93	1690.70	1.51E-02	1.45E-02	3.28E-02	1,033,247.57
424	Entrada	1697.67	1694.23	1.52E-02	6.87E-03	1.57E-02	495,427.32
425	Entrada	1697.44	1693.75	1.49E-02	7.37E-03	1.65E-02	520,708.15
426	Entrada	1697.24	1693.32	1.50E-02	7.84E-03	1.77E-02	556,984.54
427	Entrada	1697.09	1692.96	1.52E-02	8.27E-03	1.88E-02	593,683.93
428	Entrada	1699.05	1692.67	1.54E-02	1.28E-02	2.96E-02	932,420.67
429	Entrada	1702.92	1694.79	1.56E-02	1.63E-02	3.81E-02	1,202,846.16
430	Entrada	1706.57	1699.03	1.56E-02	1.51E-02	3.54E-02	1,115,112.29
431	Entrada	1710.01	1703.00	1.55E-02	1.40E-02	3.26E-02	1,028,301.41
432	Entrada	1713.42	1706.72	1.51E-02	1.34E-02	3.03E-02	955,290.67
433	Entrada	1716.63	1710.20	1.48E-02	1.29E-02	2.85E-02	899,620.95
434	Entrada	1719.86	1713.52	1.46E-02	1.27E-02	2.78E-02	876,584.69
435	Entrada	1723.25	1716.67	1.45E-02	1.32E-02	2.87E-02	904,828.67
436	Entrada	1726.86	1719.87	1.47E-02	1.40E-02	3.07E-02	968,126.58
437	Entrada	1725.94	1723.35	1.55E-02	5.17E-03	1.21E-02	380,031.74
438	Salida	1726.92	1727.27	1.60E-02	-6.98E-04	-1.68E-03	-52,889.17
439	Salida	1730.92	1731.65	1.60E-02	-1.47E-03	-3.53E-03	-111,329.95
440	Entrada	1734.62	1731.25	1.54E-02	6.74E-03	1.56E-02	491,331.61
441	Entrada	1737.73	1736.38	1.53E-02	2.69E-03	6.18E-03	195,012.06
442	Salida	1736.90	1740.24	1.61E-02	-6.69E-03	-1.61E-02	-508,203.45
443	Salida	1734.12	1743.65	1.70E-02	-1.91E-02	-4.85E-02	-1,530,433.38
444	Salida	1733.87	1746.55	1.73E-02	-2.54E-02	-6.57E-02	-2,070,711.53
445	Salida	1736.24	1743.49	1.75E-02	-1.45E-02	-3.81E-02	-1,200,609.57
446	Salida	1736.06	1740.00	1.82E-02	-7.88E-03	-2.15E-02	-678,479.05
447	Salida	1736.69	1739.55	1.89E-02	-5.71E-03	-1.62E-02	-509,829.67

448	Salida	1734.33	1739.27	1.93E-02	-9.87E-03	-2.85E-02	-899,158.35
449	Salida	1734.47	1739.72	1.96E-02	-1.05E-02	-3.08E-02	-972,240.01
450	Salida	1734.57	1739.38	2.00E-02	-9.61E-03	-2.89E-02	-910,019.99
451	Salida	1733.82	1736.67	2.05E-02	-5.69E-03	-1.75E-02	-550,814.93
452	Salida	1733.39	1736.67	2.09E-02	-6.55E-03	-2.05E-02	-647,121.04
453	Salida	1733.55	1736.33	2.11E-02	-5.56E-03	-1.76E-02	-553,568.56
454	Salida	1734.14	1735.28	2.14E-02	-2.28E-03	-7.33E-03	-231,182.25
455	Salida	1734.98	1735.26	2.17E-02	-5.58E-04	-1.82E-03	-57,271.46
456	Entrada	1736.13	1734.59	2.20E-02	3.07E-03	1.01E-02	319,632.56
457	Entrada	1738.01	1735.03	2.22E-02	5.96E-03	1.99E-02	627,324.02
458	Entrada	1739.44	1736.16	2.25E-02	6.56E-03	2.21E-02	697,450.74
459	Entrada	1741.66	1736.90	2.27E-02	9.53E-03	3.24E-02	1,021,271.47
460	Entrada	1744.07	1738.78	2.29E-02	1.06E-02	3.63E-02	1,146,310.00
461	Entrada	1747.86	1740.76	2.31E-02	1.42E-02	4.92E-02	1,551,082.72
462	Entrada	1751.21	1743.22	2.32E-02	1.60E-02	5.57E-02	1,757,931.81
463	Entrada	1756.64	1745.71	2.35E-02	2.19E-02	7.71E-02	2,430,781.44
464	Entrada	1761.40	1749.88	2.37E-02	2.30E-02	8.20E-02	2,585,962.40
465	Entrada	1765.67	1753.39	2.39E-02	2.46E-02	8.82E-02	2,781,901.00
466	Entrada	1771.67	1759.42	2.42E-02	2.45E-02	8.88E-02	2,800,547.13
467	Entrada	1778.22	1764.31	2.42E-02	2.78E-02	1.01E-01	3,187,755.38
468	Entrada	1789.34	1769.66	2.43E-02	3.94E-02	1.43E-01	4,522,507.38
469	Entrada	1797.10	1774.63	2.44E-02	4.49E-02	1.65E-01	5,197,847.79
470	Entrada	1804.14	1780.57	2.46E-02	4.71E-02	1.74E-01	5,481,373.70
471	Entrada	1809.39	1786.21	2.47E-02	4.64E-02	1.72E-01	5,413,979.37
472	Entrada	1814.40	1791.61	2.47E-02	4.56E-02	1.69E-01	5,322,252.17
473	Entrada	1821.27	1801.71	2.46E-02	3.91E-02	1.45E-01	4,557,848.78
474	Entrada	1822.64	1803.75	2.46E-02	3.78E-02	1.39E-01	4,391,689.79
475	Entrada	1826.23	1806.60	2.44E-02	3.93E-02	1.44E-01	4,529,827.57
476	Entrada	1823.88	1813.52	2.43E-02	2.07E-02	7.56E-02	2,385,306.70
477	Entrada	1816.00	1808.65	2.41E-02	1.47E-02	5.31E-02	1,674,056.58
478	Entrada	1811.50	1810.14	2.38E-02	2.72E-03	9.71E-03	306,197.61
479	Salida	1805.85	1808.94	2.37E-02	-6.16E-03	-2.19E-02	-690,437.44
480	Entrada	1799.87	1799.57	2.34E-02	6.09E-04	2.14E-03	67,425.39
481	Salida	1789.95	1795.63	2.32E-02	-1.14E-02	-3.96E-02	-1,247,657.94
482	Salida	1785.12	1790.94	2.30E-02	-1.16E-02	-4.02E-02	-1,266,498.50
483	Salida	1776.98	1786.46	2.28E-02	-1.90E-02	-6.48E-02	-2,044,073.39
484	Salida	1770.61	1778.26	2.27E-02	-1.53E-02	-5.20E-02	-1,641,343.81
485	Salida	1764.33	1771.56	2.24E-02	-1.45E-02	-4.85E-02	-1,530,342.33
486	Salida	1758.97	1765.50	2.21E-02	-1.31E-02	-4.32E-02	-1,363,819.79
487	Salida	1754.58	1760.45	2.19E-02	-1.17E-02	-3.86E-02	-1,216,225.42
488	Salida	1750.16	1755.71	2.17E-02	-1.11E-02	-3.62E-02	-1,140,528.49

489	Salida	1745.83	1751.16	2.13E-02	-1.06E-02	-3.41E-02	-1,073,859.22
490	Salida	1742.33	1747.67	2.11E-02	-1.07E-02	-3.37E-02	-1,063,957.66
491	Salida	1738.41	1743.60	2.07E-02	-1.04E-02	-3.22E-02	-1,014,021.89
492	Salida	1735.27	1739.64	2.04E-02	-8.74E-03	-2.67E-02	-842,003.46
493	Salida	1731.75	1736.47	1.99E-02	-9.45E-03	-2.82E-02	-890,745.32
494	Salida	1727.30	1732.96	1.95E-02	-1.13E-02	-3.31E-02	-1,043,346.29
495	Salida	1724.56	1728.48	1.31E-02	-7.85E-03	-1.54E-02	-486,530.66
496	Salida	1721.04	1725.75	1.27E-02	-9.41E-03	-1.80E-02	-567,555.16
497	Salida	1715.77	1722.12	1.25E-02	-1.27E-02	-2.38E-02	-749,871.92
498	Salida	1713.89	1716.77	1.21E-02	-5.76E-03	-1.05E-02	-330,142.39
499	Salida	1710.78	1714.83	1.18E-02	-8.09E-03	-1.43E-02	-451,352.85
500	Salida	1706.01	1711.44	1.15E-02	-1.09E-02	-1.88E-02	-591,312.83

8.10 Cortes litológicos del acuífero

Pozo	x	y	Z	aluvión	roca	acuífero	roca
IGC-016	289985	2263457	1730		1675	1636	1230
IGC-066	292467	2260812	1729		1719	1526	1229
IGC-083	293424	2260012	1740	1728		1608	1240
IGC-085	293053	2256261	1719		1683	1547	1219
IGC-090	295246	2258336	1808		1766	1566	1308
IGC-200	312814	2257635	1790	1771	1758	1511	1290
IGC-203	314697	2258776	1769	1719	1705	1615	1269
IGC-321	310288	2263731	1759		1719	1594	1259
IGC-323	312178	2261378	1787	1751	1715	1590	1287
IGC-448	303381	2269397	1746	1733	1662	1612	1246
IGC-585	295248	2266088	1736	1681	1646	1530	1236
IGC-616	292224	2269525	1735	1721	1635	1514	1235
IGC-784	302667	2274225	1747	1703	1697	1584	1247
IGC-1492	309950	2270753	1757	1732	1722	1546	1257
IGC-1505	313691	2269258	1755	1728		1647	1255
IGC-1509	312147	2271196	1759	1751	1705	1512	1259
IGC-1510	311163	2270946	1758		1727	1599	1258
IGC-1527	308044	2272538	1759	1715	1709	1628	1259
IGC-1544	311119	2270142	1760	1724	1714	1621	1260
IGC-1568	312160	2274678	1760		1737	1569	1260
IGC-1569	314050	2274654	1761	1735	1706	1506	1261
IGC-1582	313969	2275220	1762		1736	1610	1262
IGC-1649	310299	2271380	1756	1710		1647	1256
IGC-1655	309674	2269734	1760	1670		1511	1260
IGC-1683	310437	2271633	1756		1686	1633	1256
IGC-1690	310510	2273984	1760	1558	1540	1565	1260

IGC-1706	314033	2269257	1754	1529	1514	1615	1254
IGC-1713	306559	2270386	1751	1658	1371	1568	1251
IGC-1716	311890	2265172	1749		1692	1515	1249
IGC-1782	287875	2280176	1736	1650	1634	1511	1236
IGC-1798	287013	2278514	1730		1706	1537	1230
IGC-1884	289532	2271189	1733	1683	1667	1556	1233
IGC-1194	316324	2289683	1789	1757	1737	1543	1289
IGC-0321	312374	2261086	1767	1725	1715	1548	1267
IGC-0409	309597	2265030	1746	1729	1712	1647	1246
IGC-1681	313215	2262639	1758	1754	1728	1616	1258
IGC-0773	297346	2274364	1750	1702	1604	1504	1250
IGC-1016	307832	2276215	1759	1744	1704	1584	1259
IGC-1088	313375	2283337	1762	1734	1690	1511	1262
IGC-1165	314716	2295831	1798	1758	1740	1543	1298
IGC-1195	315052	2289732	1792	1764	1692	1514	1292
IGC-1300	292220	2282597	1748	1702	1672	1584	1248
IGC-1403	295784	2294062	1955	1911	1889	1563	1455
IGC-1446	311715	2298341	1818		1744	1538	1318
IGC-1459	306036	2296215	1950	1938	1878	1637	1450
IGC-1464	298927	2299340	2093		2021	1623	1593
IGC-1722	312383	2265792	1749	1703	1683	1631	1249
IGC-1866	287714	2274054	1727	1641	1621	1516	1227
SEV-31	330330	2280091	1906		1706	1502	1406
sev-11	330330	2277591	1840	1755	1745	1501	1340
sev23	330330	2275091	1800	1786	1784	1622	1300
sev24	330330	2272591	1770	1700	1695	1518	1270
sev-30	330330	2270091	1782	1687	1641	1531	1282
sev29	340140	2270100	1867	1800	1786	1560	1367
sev28	340140	2268100	1875	1801	1791	1530	1375
sev27	340140	2266100	2043	1892	1882	1571	1543
sev26	340140	2264100	2082	1960	1950	1592	1582
sev1	328470	2295800	1895	1827	1780	1644	1395
sev4	327160	2294717	1870	1816	1755	1641	1370
sev14	311300	2270660	1763	1738		1611	1263
sev12	322735	2271636	1767	1667		1524	1267
sev11	325740	2271860	1769	1685		1598	1269
sev30	316737	2263537	1812	1717	1671	1635	1312

8.11 Resultados de Calibración Observado vs Calculado

Pozo	Calculado	Observado	Coef. Eficiencia	Index of Agreement
------	-----------	-----------	------------------	--------------------

			$(O - P)^2$	$(O - \bar{O})^2$	$(P - \bar{O} + O - \bar{O})^2$
G-1328/2013	1689.829	1681.82	64	61	559
IGC-1061/2013	1661.431	1656.08	29	321	929
IGC-1084/2013	1636.539	1631.47	26	1809	6398
IGC-1092/2013	1666.212	1655.98	105	325	666
IGC-1161/2013	1749.141	1754.27	26	6444	24154
IGC-1225/2013	1638.484	1618.71	391	3057	8245
IGC-1229/2013	1638.467	1629.67	77	1965	6378
IGC-1248/2013	1655.175	1646.13	82	777	2180
IGC-1338/2013	1723.289	1732.52	85	3425	11624
IGC-1398/2013	1706.907	1716.77	97	1829	5728
IGC-1492/2013	1624.014	1628.2	18	2097	9174
IGC-1498/2013	1640.87	1637.62	11	1323	4831
IGC-151/2013	1686.911	1691.03	17	290	897
IGC-1556/2013	1704.978	1710.84	34	1357	4600
IGC-1768/2013	1637.919	1630.77	51	1869	6290
IGC-1803/2013	1638.334	1636.13	5	1434	5407
IGC-1806/2013	1668.777	1669.47	0	21	95
IGC-1813/2013	1679.421	1682.81	11	78	203
IGC-1863/2013	1670.298	1670.78	0	10	48
IGC-1899/2013	1638.484	1634.43	16	1566	5637
IGC-2/2013	1671.689	1669.71	4	18	44
IGC-22/2013	1691.058	1692.05	1	326	1233
IGC-352/2013	1694.83	1685.72	83	137	1060
IGC-353/2013	1698.417	1678.38	401	19	829
IGC-38-B/2013	1652	1642.33	94	1003	2880
IGC-382/2013	1666.64	1666.3	0	59	227
IGC-454-B/2013	1686.831	1695.47	75	461	1177
IGC-541/2013	1656.048	1676.4	414	6	414
IGC-582/2013	1652.33	1667.55	232	42	791
IGC-623/2013	1650.757	1655.52	23	341	1741
IGC-709/2013	1675.361	1684.98	93	121	152
IGC-726/2013	1671.974	1685.67	188	136	188
IGC-785/2013	1668.935	1677.94	81	16	81
IGC-787-A/2013	1636.302	1657.06	431	287	2985
IGC-789/2013	1601.864	1591	118	6889	24066
IGC-79/2013	1670.284	1665.25	25	77	155
IGC-822/2013	1635.157	1635.23	0	1503	6023
IGC-892/2013	1695.477	1703.44	63	867	2593
IGC-893/2013	1659.024	1629.68	861	1964	3516
IGC-919/2013	1711.058	1713.14	4	1532	5807

L-109 B-1/2013	1651.137	1647.11	16	723	2475
L-131/2013	1663.081	1659.36	14	214	653
L-132/2013	1663.999	1656.34	59	312	765
L-159/2013	1664.519	1663.82	0	104	386
L-177/2013	1655.828	1654.26	2	390	1437
L-183/2013	1672.053	1653.17	357	434	519
L-184/2013	1678.011	1686.93	80	167	287
L-205/2013	1709.755	1705.03	22	963	4461
L-213/2013	1736.794	1732.9	15	3469	14810
L-246/2013	1749.332	1749.78	0	5743	22836
L-260/2013	1684.98	1685.62	0	135	511
L-317/2013	1691.338	1664.46	722	91	722
L-325/2013	1665.988	1661.13	24	166	436
L-328/2013	1672.038	1662.79	86	126	173
L-343/2013	1660.235	1646.72	183	744	1684
L-347/2013	1669.474	1662.99	42	121	241
L-378/2013	1670.728	1658.51	149	240	352
L-385/2013	1657.2	1658.88	3	229	1019
L-451/2013	1659.27	1659.65	0	206	845
L-46/2013	1650.336	1645.42	24	817	2729
L-467/2013	1661.158	1668.42	53	31	339
L-597/2013	1644.65	1638.96	32	1228	4146
L-622/2013	1737.597	1727.15	109	2825	13631
L-629 A/2013	1751.484	1738.85	160	4206	20260
L-642-B/2013	1835.508	1842.75	52	28477	109073
L-671/2013	1669.346	1685.96	276	143	276
L-691/2013	1748.474	1756.33	62	6779	24589
L-712/2013	1708.003	1729.17	448	3044	7952
L-718/2013	1642.403	1629.83	158	1951	5740
L-766/2013	1654.744	1634.04	429	1597	3506
L-782/2013	1656.816	1637.6	369	1325	2871
L-798/2013	1661.704	1670.43	76	13	252
L-94/2013	1662.833	1662.73	0	127	503
L-972/2013	1659.571	1638.17	458	1284	2526
L-985/2013	1741.627	1748.8	51	5595	20286
PIEZ 13/2013	1711.938	1711.49	0	1406	5690