



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN
CIENCIAS DE LA TIERRA**

**APLICACIÓN GEOESTADÍSTICA AL
REDISEÑO DE LA RED DE MONITOREO
EN EL ACUÍFERO DE LA COMARCA
LAGUNERA, COAH.-DGO., MÉXICO.**

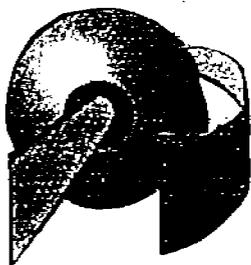
TESIS

que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS (AGUAS SUBTERRÁNEAS)
presenta

EDGAR SAÚL ESQUIVEL VICTORIA

Asesor: Oscar Escolero Fuentes

2008





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Edgar Saúl Esquivel
de Victoria

FECHA: 26/03/08

FIRMA: [Firma]

A mis padres

José Esquivel Carpio

Juana Victoria Sánchez

A mis hermanos

Gerardo, Salvador, Sergio

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, al Posgrado en Ciencias de la Tierra y especialmente al Instituto de Geología por la oportunidad de proseguir mis estudios y por las facilidades otorgadas, al CONACYT por el apoyo brindado para la realización de mis estudios, y a todos mis sinodales por sus acertados comentarios y su tiempo.

CONTENIDO

Resumen	v
1. Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Objetivos	4
2. Descripción del área	5
2.1 Localización	5
2.2 Estratigrafía	5
2.3 Geología Estructural.....	5
2.4 Características del acuífero	8
2.4.1 Tipo de acuífero	12
2.5 Modelo hidrodinámico	13
3. Marco Teórico	14
3.1 Nociones.....	14
3.2 Análisis estructural.....	14
3.3 Teoría de estimación	16
3.4 Procedimiento de optimización.....	18
4. Resultados	20
4.1 Análisis Geoestadístico	20
4.1.1 Análisis preeliminar	20
4.2 Análisis Exploratorio de datos	21
4.2.1 Estadística Básica.....	21
4.2.2 Análisis de valores extraños.....	21
4.2.3 Análisis de tendencia.....	22
4.3 Estimación del semivariograma omnidireccional	22
4.3.1 Estimación de semivariogramas direccionales.....	23
4.3.2 Análisis de anisotropía	23
4.4 Modelación y Ajuste del semivariograma.....	24
4.5 Validación del Modelo	25
4.6 Estimación Espacial	37
4.7 Optimización de la red	28
4.7.1 Primer caso red “A”	28
4.7.2 Caso Segunda Red “B”	30
4.7.3 Comparación de redes	33
5. Discusión	37
6. Conclusiones	39
Anexos	41
Bibliografía	50

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 2.1 Localización del área de estudio	6
Figura 2.2 Bosquejo geológico del área de estudio.....	9
Figura 2.3 Secciones geológicas esquemáticas	10
Figura 4.1 Distribución espacial de los pozos (REPDA) en el área de estudio.....	20
Figura 4.2 Histograma de Elevación del Nivel Estático.....	21
Figura 4.3 Diagrama de probabilidad normal para ENE.....	22
Figura 4.4 Semivariograma omnidireccional con intervalo 4.7 km para ENE.....	23
Figura 4.5 Semivariogramas en las 4 direcciones para ENE.....	24
Figura 4.6 Modelo Ajustado del Semivariograma Adireccional con Intervalo 4.7 Km para ENE	25
Figura 4.7 Distribución de los errores ($Z-Z^*$)	26
Figura 4.8 Histograma de los errores de estimación ($Z-Z^*$) para ENE.....	26
Figura 4.9 Mapa de contornos de la estimación de Elevación del Nivel Estático.....	27
Figura 4.10 Mapa de contornos de la desviación estándar del error de estimación	28
Figura 4.11 Red óptima de monitoreo “A”, propuesta para la variable Elevación del Nivel Estático.....	30
Figura 4.12 Localización de los pozos y los puntos de medición adicionales para la variable Elevación del Nivel Estático (Caso “B”).....	32
Figura 4.13 Red óptima de monitoreo “B” propuesta, para la variable Elevación del Nivel Estático	32
Figura 4.14 Mapa de la distribución de la desviación estándar del error de estimación de la variable Elevación del Nivel Estático para la red actual (REPDA).....	34
Figura 4.15 Histograma de los valores de la desviación estándar del error de estimación de la red actual (REPDA)	34
Figura 4.16 Mapa de la distribución de la desviación estándar del error de estimación de la variable Elevación del Nivel Estático para la red propuesta “A”.....	35
Figura 4.17 Histograma de los valores de la desviación estándar del error de estimación de la red propuesta (“A”).	35
Figura 4.18 Mapa de la distribución de la desviación estándar del error de estimación de la variable Elevación del Nivel Estático para la red propuesta (“B”).....	36
Figura 4.19 Histograma de los valores de la desviación estándar del error de estimación de la red propuesta (“B”)	36

Resumen

Una parte importante de los Programas de Monitoreo destinados a conocer las condiciones en que se encuentre un acuífero a escala regional o local, sin duda lo forma la red de monitoreo empleada, ya que de ella depende la obtención de datos para el conocimiento y manejo adecuado de los acuíferos en cualquier región.

En el caso de la Región Lagunera existe una red de pozos distribuida de manera dispersa, que se utiliza para realizar diversas actividades, entre ellas la medición de variables y conocer así el estado en el que se encuentra el acuífero.

La selección óptima de puntos para realizar estas mediciones es muy importante, y por consiguiente, en este trabajo se empleó la metodología geoestadística con el fin de obtener una red óptima de monitoreo a partir de un límite determinado en la forma de la desviación estándar del error de estimación σ_k de la variable de medición Elevación del Nivel Estático.

Mediante este análisis, se obtuvo la función de correlación para un total de 265 puntos de medición de Elevación del Nivel Estático, y produciéndose con ella las estimaciones de la variable mediante la aplicación de kriging ordinario, así como los mapas del error asociado de las estimaciones, para los datos considerados en el área de trabajo.

Con esta información se rediseñaron dos redes de monitoreo diferentes, una primer red considerada "A", con un total de 265 datos de Elevación del Nivel Estático en pozos, y la segunda "B", con 123 datos adicionales sin valor de la variable.

Ambos diseños produjeron resultados similares, encontrándose solamente pequeñas diferencias que aseguran mejoría para el segundo diseño.

Summary

An important part of the monitoring programs destined to know the conditions in which is a water-bearing one on regional or local scale, without a doubt forms the used monitoring network, since on her it depends the obtaining of data for the knowledge and handling adapted of the water-bearing ones in any region.

In the case of the Lagunera Region a well network exists distributed of dispersed way, that is used to make diverse activities, among them the measurement of variables and to know therefore the state in which is the water-bearing one.

The optimal selection of points to make these measurements is very important, and therefore, in this work use the geostatistical estimation procedures to optimise a monitoring network with a give accuracy in the form of maximum permitted variance of the estimation error σ_k of the measurement variable elevation of hydraulic head.

By means of this analysis, the function of correlation for a total of 265 points of measurement of elevation of hydraulic head was obtained, and taking place with her the estimations of the variable by means of the application of ordinary kriging, as well as the maps of the associated error of the estimations, for the data considered in the work area.

With this information two different monitoring networks were redesigned, a first network considered "A", with a total of 265 data of elevation of hydraulic head, and the second "B", with 123 additional data without value of the variable.

Both designs produced similar results, being only small differences that assure improvement for the second design

1. INTRODUCCION

1.1 Generalidades

El agua subterránea es la mayor fuente de abastecimiento de agua para uso doméstico, agricultura y ganadería en muchos países incluido entre ellos México, y muy especialmente en las regiones áridas y semiáridas. De igual forma, es un elemento vital en ecosistemas dependientes del agua subterránea y en las regiones húmedas. El monitoreo sistemático y regular del agua subterránea es indispensable para su manejo adecuado, con el fin de sustentar las necesidades de agua de los diferentes ambientes y sus habitantes.

El monitoreo de agua subterránea puede definirse como la medición continua y científicamente bien diseñada de la situación del agua subterránea. Esto incluye los procedimientos y la evaluación. Dentro de un programa de monitoreo los datos deben colectarse tanto como sea posible a intervalos de distancia y tiempo regulares. Aunque la base legal, el marco institucional y situaciones financieras pueden limitar nuestros objetivos, aún los subalternos científicos o técnicos sirven para describir la situación del agua subterránea en espacio y tiempo (OMM, 1994).

De acuerdo al inventario mundial de agua subterránea del International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC, 2006), en diversos países, inclusive a escala regional, no existen programas de monitoreo (o son escasos), de cantidad y/o calidad del agua subterránea. La falta de monitoreo conduce a un desconocimiento del grado de disminución de los niveles de agua subterránea debido al uso intensivo, o de presencia de contaminación, dando como resultado alguno de los siguientes escenarios:

- Descenso de los niveles y reservas de agua subterránea
- Reducción en el flujo base o flujo para ecosistemas húmedos
- Acceso reducido al agua subterránea para beber e irrigación
- Restricciones de uso debido a la calidad del agua.
- Incremento de costo en el bombeo y tratamiento.
- Subsistencia y daño a las construcciones.

Se pueden identificar un gran número de factores que contribuyen a la falta de monitoreo, entre los principales se encuentran, la falta de recursos financieros y la capacidad técnica para implementar el monitoreo. Otros factores que influyen son una falta de responsabilidad institucional y/o los requerimientos legales para realizarlo (permisos y/o normas). Aún cuando se encuentren operando los programas de monitoreo, estos pueden fallar debido a que:

- Los objetivos no se encuentran bien definidos;
- El programa se establece sin el conocimiento suficiente del sistema de agua subterránea;
- Hay una planeación inadecuada de muestreo, manejo y almacenamiento;
- Existen pocos datos y/o el acceso a ellos es difícil, o no son útiles para el tipo de manejo requerido.

En el desarrollo del monitoreo de agua subterránea, se evalúan redes de diferentes tipos, tamaños y funciones. Con respecto al tamaño, se pueden clasificar en “regionales” (subnacionales), y “locales”. Las redes “regionales” se diseñan para monitorear sistemas subterráneos de gran extensión e importancia y las “locales”, se enfocan en observaciones más detalladas de los acuíferos como campos de pozos contiguos o contaminación en los alrededores de un pozo por diversas fuentes como zonas industriales u otras.

En las etapas iniciales del monitoreo, cuando es escasa la información, la evaluación y monitoreo pueden realizarse a escalas regionales de los recursos acuíferos y su potencial de desarrollo. Cuando los recursos financieros son limitados, las observaciones o el muestreo pueden hacerse en cualquier localidad apropiada o disponible. Aquí, básicamente la red puede “improvisarse”.

Pueden conseguirse mejoras a la red inicial para monitoreo regional y algunos objetivos específicos, seleccionando puntos de observación propicios de los datos iniciales, y agregando nuevos puntos a localidades

críticas. Procediendo de esta forma pueden generarse costos elevados. Las redes de gran tamaño primeramente sugieren monitorear el estado y tendencia del sistema de agua subterránea regional, lo cual puede señalarse como “una red de monitoreo de referencia general”.

En las etapas finales de desarrollo, una red de referencia puede actualizarse a una “red primaria”, la cual es una herramienta dedicada a las observaciones en toda la región del acuífero. En esta etapa, el potencial de agua subterránea es bien conocido y cuando la recuperación económica del monitoreo resulta más obvia, se justifican más inversiones para incrementar el nivel de detalle. Las redes primarias pueden combinarse con redes “secundarias” locales diseñadas para necesidades específicas. En este estadio, los componentes del programa de monitoreo (grupos de parámetros seleccionados, los pozos de monitoreo de la red y la frecuencia de observación) pueden ser óptimamente ajustados para tareas específicas, usando un detallado conocimiento de los procesos hidrogeológicos y geoquímicos en conjunto con técnicas estadísticas (Taylor, 2001).

Un monitoreo o recolección de datos de un número de puntos finito, distribuidos de manera aleatoria o sistemática, es esencial para inferir la variabilidad espacial de cualquier fenómeno en estudio. La cantidad y distribución de tales puntos o estaciones de medición está restringida por diversos factores de los cuales, como se dijo, los principales son el costo y la factibilidad. Además de esto, es imperativo que una red de monitoreo óptima pueda desarrollarse usando un número mínimo de estaciones de observación que proporcionen la máxima información. Al mismo tiempo, la configuración de una red también depende de los objetivos y alcances del proyecto.

Uno de los alcances importantes y obvios de la colección de datos es inferir o estimar los parámetros en localidades intermedias o carentes de medida. Obviamente, aún usando la mejor técnica de estimación disponible, existe un cierto error de estimación y el objetivo adjunto es mejorar este error en la forma de minimización de la varianza del error de estimación. Con base en este criterio de optimización, en este trabajo se desarrollará un rediseño de la red de monitoreo para la variable Elevación de Nivel Estático aplicando la técnica geoestadística.

1.2 Antecedentes

Existen diversos enfoques en el diseño de redes de monitoreo, la mayoría se basan en métodos determinísticos, estadísticos o mixtos. De acuerdo con Christakos (1992), para propósitos de aplicación, los métodos de diseño de redes o muestreo pueden clasificarse en una variedad de formas.

La primera, y quizás más importante, clasificación considera dos grupos mayores de métodos de muestreo llamados globales y locales. Los métodos globales tratan de optimizar la posición de diversas observaciones y al mismo tiempo tratan de examinar la eficiencia de varios patrones de muestreo por medio de índices de eficiencia areal. Son rápidos y simples, y particularmente muy usados cuando se necesita evaluar un grupo de posibles diseños de muestreo incluso sobre el plano o plantear extensos rediseños con el fin de mantener la eficiencia de una red de monitoreo. En las aproximaciones locales, la influencia de ubicaciones adicionales se analiza separadamente. Esta se lleva a cabo ya sea por medio de funciones de reducción de varianza o en términos del valor esperado de algunas funciones de disminución, entre otras. Las aproximaciones locales pueden requerir el conocimiento de la distribución de probabilidad multivariada; estas se utilizan cuando se necesita expandir un red irregular o la partición de una región en diferentes zonas.

El segundo grupo de clasificaciones consiste de métodos basados en promedios simples, estimadores lineales óptimos, y análisis Bayesianos de máxima entropía. Los primeros dos grupos de métodos aplican técnicas de estimación espacial del mínimo error cuadrático medio y no requieren el conocimiento de distribuciones de probabilidad multivariada. Por el contrario el uso de los métodos Bayesianos si requiere conocer estas distribuciones.

Un tercer grupo de clasificaciones distingue entre métodos para muestrear procesos naturales homogéneos y métodos para procesos no homogéneos.

Otro grupo puede clasificarse en base al criterio de optimalidad que aplican. Cada uno de los grupos mencionados anteriormente es independiente de los otros. Por ejemplo, una aproximación basada en estimación lineal óptima se utiliza para muestrear tanto procesos homogéneos como no homogéneos.

De acuerdo a lo anterior, se han elaborado un gran número de trabajos en el diseño de redes de monitoreo, aplicando alguno de los procedimientos señalados. Bras y Rodríguez-Iturbe (1976), Moss (1979), Switzer (1979), Dawdy (1979), Jones *et. al.* (1979), Lettenmaier (1979), Hughes y Lettenmaier (1981), Sophocleous *et. al.* (1982), Bastin *et. al.* (1984), Carrera *et. al.* (1984), Virdee y Kottegoda (1984), Rouhani (1985), Bogardi *et. al.* (1985), Duckstein y Kisiel (1971), Rouhani y Hall (1988), Barnes (1989), Loaiciga (1989), Aspie y Barnes (1990), Andricevic y Georgiou (1991), Hudak y Loaiciga (1993), Jardine *et. al.* (1996), Ahmed y Gupta (1996), Gao *et. al.* (1996), Criminisi *et. al.* (1997), Hsu (1988), Hudak (1998), Molyka (1998), Storck (1997), Conwell *et. al.* (1997), Cameron y Hunter (2000), Herrera *et. al.* (2004), Zaidi *et. al.* (2007) y otros han desarrollado varios procedimientos de optimización para redes de monitoreo. Hughes y Lettenmaier (1981) han sugerido un algoritmo para optimizar la localización de los datos, minimizando la varianza del error de estimación al estimar los parámetros sobre toda el área del acuífero. Sophocleous *et. al.* (1982), aplicaron Kriging Universal para analizar la red de pozos para medidas de nivel estático al Noroeste de Kansas, EUA con respecto al costo de la red y a la certeza obtenida. Virdee y Kottegoda (1984) proponen un mapa del error de estimación del kriging (σ_k) y localizan nuevos puntos de medida donde existen valores elevados de σ_k . Ellos aplicaron este método a una red de medidas de nivel estático y transmisividad. Este procedimiento tiene dos repercusiones: (1) es difícil decidir un límite para comparar los valores de σ_k y, (2) como un punto adicional mejora la varianza de estimación, no sólo en el punto sino en los puntos vecinos, el procedimiento puede trabajarse en forma iterativa. Carrera *et. al.* (1984) proponen un procedimiento iterativo en la base de la programación no lineal para seleccionar la localización óptima de puntos de medida y aplicarlos al monitoreo de concentración de flúor en la cuenca del río San Pedro, Arizona. Bogardi *et. al.* (1985) utilizan programación compuesta con una combinación de geoestadística y decisiones multicriterios haciendo una red optimizada de medidas de espesor y porosidad de dos capas de un sistema acuífero. Rouhani (1985) y Rouhani y Hall (1988), utilizan el método de reducción de la varianza de estimación calculada al centro de un grupo de bloques discretizados en el área de estudio. Hudak y Loaiciga (1993) desarrollaron un método analítico integrando aspectos prácticos, y aplicándolo a un sistema de flujo subterráneo multicapas para detección de contaminación. Gao *et. al.* (1996) presentan un algoritmo simple y muy rápido para calcular la varianza de estimación del kriging con nuevas muestras. Langbein (1979) y Loaiciga y Charbeneau (1992), han presentado revisiones de tales aplicaciones. Cameron y Hunter (2000) desarrollan dos algoritmos uno temporal, que consiste en construir un semivariograma, combinando datos de series de tiempo de pozos con el fin de identificar las frecuencias de monitoreo apropiadas, mediante el intervalo de tiempo más pequeño en el que aproximadamente se alcanza la cima del semivariograma, las frecuencias de muestreo se ajustan tomando este intervalo mínimo como criterio. El algoritmo espacial usa kriging para identificar pozos redundantes que no necesitan ser muestreados mediante la comparación de mapas de varianzas. Storck *et. al.* (1997) desarrollan un método de optimización ligado a un modelo tridimensional de transporte y flujo que considera tres objetivos: (1) minimizar el costo, (2) maximizar detección de probabilidad y (3) volumen mínimo de contaminante al momento de la detección. Conwell *et. al.* (1997) ilustran el proceso de diseño de una red piezométrica para estimar el semivariograma muestral del gradiente hidráulico con el fin de mostrar una estrategia de diseño de una red de monitoreo apropiada tanto para la estimación de estadísticos espaciales, como eficiente en términos de instrumentos de medición. Herrera *et. al.* (2004) desarrollan una red de monitoreo utilizando una combinación de métodos geoestadísticos, un filtro de Kalman y un método de optimización heurístico. Zaidi *et. al.* (2007) optimizan una red de monitoreo al sur de India, utilizando validación cruzada de la medición de carga hidráulica obtenido de pozos alrededor de la estación monzónica.

Es claro de los trabajos antes mencionados que la función objetivo para optimizar la red de monitoreo geostatísticamente entre otras es, la varianza del error de estimación, la cual es función de la posición de las estaciones de medición. Asimismo los procedimientos indirectos e iterativos de optimización son la única solución. El punto más importante ha sido el soporte de la estimación por ejemplo el punto central de un área de estudio, el área entera como un bloque para comparar o minimizar la varianza de estimación en ellas (Hughes y Lettenmaier, 1981; Virdee y Kottegoda, 1984; Rouhani y Hall, 1988). Además tanto el diseño de la red como la exactitud deseada, dependen grandemente de los objetivos señalados y esto modifica considerablemente la red.

1.3 Objetivos

Objetivo general:

Rediseñar la red de monitoreo en el acuífero de la Comarca Lagunera, utilizando kriging ordinario, a partir de los datos de la variable Elevación del Nivel Estático.

Objetivos específicos:

El planteamiento del rediseño de la red comprende:

Minimizar la incertidumbre de la estimación de la variable Elevación del Nivel Estático, en todos los puntos de medición del acuífero.

Optimizar la red de monitoreo dada para mediciones de Elevación de Nivel Estático con un límite prefijado para la varianza del error de estimación máxima permitida.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

2.1 Localización

El acuífero de La Laguna se localiza en la porción limítrofe de los estados de Coahuila y Durango (Figura 2.1), entre los paralelos 25°10' y 26° 10' de latitud Norte y los meridianos 104° 00' y 102° 40' de Longitud Oeste. Para su estudio se consideró un área de aproximadamente 4512 km².

La posición geográfica de la Comarca Lagunera, así como sus distintos rasgos morfológicos y climatológicos, dan lugar a dos regiones bien definidas: las regiones montañosas en las cuales, debido a la baja disponibilidad de agua, se ha generado un bajo grado de desarrollo económico en contraste con la porción del valle, la cual ha mostrado un gran desarrollo, principalmente agrícola e industrial, el cual se encuentra sustentado por la abundante explotación de las aguas subterráneas y el aprovechamiento de las aguas superficiales que ocurren en los ríos Nazas y Aguanaval. Los principales centros de población están concentrados en los municipios de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo (CNA, 1999; CNA, 2003).

2.2 Estratigrafía

Las rocas que conforman la columna sedimentaria mesozoica expuesta dentro de los límites de la Comarca Lagunera, están constituidas principalmente por unidades sedimentarias, depositadas en el intervalo de tiempo comprendido dentro del Jurásico Inferior al Cretácico Superior y que corresponden, de la más antigua a la más reciente, con las formaciones Nazas, La Gloria, La Casita, Taraises, Carbonera, Cupido, La Peña, Tamaulipas Superior, Viesca, Treviño, Acatita, e Indidura (Tabla 2.1).

El Cenozoico está caracterizado en esta región por presentar rocas de ambientes continentales como lo atestiguan la Formación Ahuichila y las unidades del Cuaternario (CNA, 1992a; CNA, 1997).

2.3 Geología Estructural

Los diferentes estilos estructurales presentes en el área de estudio, son el reflejo de anisotropías y/o heterogeneidades presentes en la columna sedimentaria. Estas anisotropías se originan a partir de las irregularidades en el basamento como son "Pilares" y "Fosas tectónicas", que se desarrollaron a principios del Mesozoico y que son los causantes de la paleotopografía del basamento durante el pre-Jurásico Superior en el oriente de México, ya que las islas Jurásicas, representan las áreas embrionarias de los arrecifes cretácicos masivos, que se comportan de manera quebradiza, produciendo amplios pliegues por la rigidez (baja viscosidad) tanto del basamento como de la sobreyacente columna arrecifal.

Por otra parte, la columna sedimentaria que se depositó en las cuencas, por lo general presenta hacia su base una secuencia evaporítica y/o pelítica, que la separa del basamento rígido, la cual va a representar una superficie potencial de deslizamiento (Decollement), esto y las propiedades mecánicas de mayor ductibilidad y viscosidad de la columna sedimentaria (Formaciones La Casita, Carbonera, La Peña, e Indidura) en capas más delgadas comparadas con las de los sedimentos de plataforma, propició que los pliegues fueran más apretados.

Estas consideraciones a escala regional, indican la estrecha relación que existe entre los diferentes estilos de plegamientos y los tipos de facies sedimentarias predominantes en la columna estratigráfica del área. En el área de estudio, los pliegues se desarrollaron predominantemente en sedimentos de la cuenca mesozoica del Centro de México o Mar Mexicano, y solo en la porción nororiental (fuera del área de estudio), se desarrolló en sedimentos de la denominada Cuenca de Parras (CNA, 2003; Eguiluz, 2000).

Tabla 2.1 Formaciones Geológicas presentes en el área de estudio (modificada de CNA, 1999; CNA, 2003)

<i>Nombre y Edad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ambiente y característica</i>
Aluvi3n Cuaternario	Constituido por arenas de tama3o medio a fino, arcillas, limos y gravas	Permeable
Rocas 3gneas extrusivas, Pale3geno	Principalmente andesitas y basaltos fracturados	Permeable
Formaci3n Ahuichila (Rogers, 1957) Eoceno-Oligoceno	Constituida por areniscas subyaciendo a conglomerados polim3cticos en estratos gruesos y masivos	De ambiente continental, de facies del tipo Molasa, Permeable
Formaci3n <i>Indidura</i> (Kelly, 1936) Cenomaniano Inferior-Santoniano	Alternancia de calizas arcillosas, margas, lutitas calc3reas y areniscas, en capas delgadas	Ambiente de mar abierto, con aportaciones de cl3sticos pel3ticos, Impermeable.
Formaci3n <i>Acatita</i> (Humprey, 1956) Albiano	Interestratificaciones de calizas, dolom3as, yesos y anhidritas, los estratos muestran tambi3n lentes y n3dulos de pedernal	Impermeable
Formaci3n <i>Trevi3o</i> (Garza, 1973) Albiano-Cenomaniano	Consta de calizas (wackstone) de estratificaci3n gruesa a masiva, con intercalaciones de dolom3as.	De ambiente de plataforma semi-restringida, Impermeable.
Formaci3n <i>Viesca</i> (Garza, 1973) Albiano-Cenomaniano	Calizas arrecifales (boundstone), presentes en bancos masivos con abundantes f3siles	Impermeable
Formaci3n <i>Tamaulipas Superior</i> (Muir, 1936) Albiano-Cenomaniano	Corresponde a una secuencia de calizas (mudstone) que en ocasiones var3a a wackstone y packstone.	Ambiente de plataforma abierta con presencia clastos finos, Impermeable
Formaci3n <i>La Pe3a</i> (Imlay, 1936; Humprey, 1946) Aptiano superior	Intercalaciones de calizas arcillosas con lutitas calc3reas	De ambiente marino profundo Impermeable.
Formaci3n <i>Cupido</i> (Imlay, 1937) Hauteriviano-Aptiano inferior	La base esta definida por dolom3as en estratos masivos; sobre el resto de la unidad es com3n encontrar calizas (packstone y grainstone) con abundantes f3siles	Se form3 en una plataforma lagunar de aguas someras, Impermeable.
Formaci3n <i>Carbonera</i> (Imlay, 1940) Berriasiano-Valanginiano	Secuencias de areniscas cuarc3feras, con intercalaciones de lutitas y calizas arcillosas delgadas hacia la cima.	De ambiente litoral, Impermeable.
Formaci3n <i>Taraises</i> (Imlay, 1936) Berriasiano-Hauteriviano inferior	Constituido por calizas de estratificaci3n delgada y calizas arcillosas nodulares, llegan a presentar intercalaciones con cuerpos arcillosos (margas y calizas arcillosas)	De plataforma con gran aporte de terr3genos. Impermeable
Formaci3n <i>La Casita</i> (Imlay, 1936; Mc Leroy, 1966) Kimmeridgiano-Tithoniano	Compuesta en su parte inferior por lutita carbonosa y arenisca rica en f3siles, su parte superior la componen dolom3as y calizas interestratificadas con lutitas carbonatadas.	Formada en un sistema deltaico, y en otras partes cambia a facies de plataforma continental profunda Impermeable.
Formaci3n <i>La Gloria</i> (Imlay, 1938) Oxfordiano	Constituida por areniscas de grano grueso y limolitas, alternando con capas de caliza y algunas veces con conglomerados con clastos de caliza	Se form3 en un sistema migratorio de islas de barrera transgresivas Impermeable
Formaci3n <i>Nazas</i> (Pantoja, 1963) Jurasico Inferior-Medio	Constituida por una secuencia de lavas y tobas riol3ticas, interestratificadas con lutitas, limolitas y areniscas conglomer3ticas.	Corresponde a un dep3sito de tipo Molasa. Impermeable.

En la parte norte del área se aprecian pliegues muy amplios en rocas mesozoicas, con sus disposiciones estructurales orientadas preferencialmente en la dirección N-S, originados por un tectonismo visiblemente atenuado por la estabilidad del basamento paleozoico, sobre el cual, fue depositada la carpeta sedimentaria. Hacia la región NE del área de los plegamientos presentan sus ejes orientados en dirección E-W, siendo generalmente recumbentes, con planos axiales vergentes en dirección de la paleoisla de Coahuila, la cual sirvió de contrafuerte a los esfuerzos compresivos. En esta franja marginal, la asociación contrastante de materiales anisotrópicos, tales como calizas, dolomías y yesos del Cretácico Inferior, genera fallamientos inversos sobre los flancos invertidos de las estructuras previamente desarrolladas, con sus planos de deslizamiento generalmente de ángulo bajo y buzantes en dirección sur.

La región SW del área, constituye la porción que experimentó el mayor acortamiento estructural. Es en este sector donde se acumuló la mayor pila de sedimentos depositados en ambientes marinos desde el Jurásico Superior hasta la parte superior del cretácico. La amplia gama de rocas que exhibe este sector, aunada al potente espesor de la columna sedimentaria, dieron lugar a un estilo de deformación caracterizado por estructuras abanicadas, así como localmente disarmónicas, con ejes orientados en términos generales, de forma paralela a los elementos tectónicamente estables. De tal forma, la porción noroccidental del Mar Mexicano exhibe orientación estructural en dirección NW-SE, con recostamientos e imbricamientos de los mismos hacia el NE. Por otro lado, el extremo comprendido entre Torreón y Saltillo, manifiesta tendencias orientadas en dirección E-W, pasando paulatinamente, en el sector del arqueamiento de Monterrey, a quedar ubicadas en dirección NW-SE.

Las teorías acerca de la trayectoria del esfuerzo compresional máximo, que plegó la columna sedimentaria, han sido determinadas a partir de la orientación de las estructuras observadas; es decir, perpendicular al de los ejes de las estructuras, donde los esfuerzos compresivos llegaron a ser más intensos, traducéndose esto en fallas inversas (CNA, 1992).

2.4 Características del acuífero

Con base en el marco geológico establecido, se puede considerar al valle de La Laguna como una cuenca rellenada por sedimentos clásticos, principalmente por gravas, arenas, y sedimentos arcillo-gravosos y areno-arcillosos.

Los materiales de mayor granulometría muestran características que se asocian con depósitos de un ambiente de abanicos aluviales en las inmediaciones de las sierras, así como de canales entrelazados derivados de un ambiente fluvial en la zona del valle, desarrollando espesores considerables en los bajos estructurales, en tanto que, los sedimentos arenosos se ligan con los canales meándricos dentro del sistema fluvial. Los sedimentos pelíticos a su vez, definen un ambiente lacustre y de planicie de inundación.

La información de las unidades geológicas aflorantes en el área de La Laguna, los cortes geológicos obtenidos en la perforación de diversos aprovechamientos de aguas subterráneas, y las características petrofísicas de los materiales en su conjunto, permiten establecer la caracterización de las siguientes unidades hidrogeológicas (Tabla 2.2):

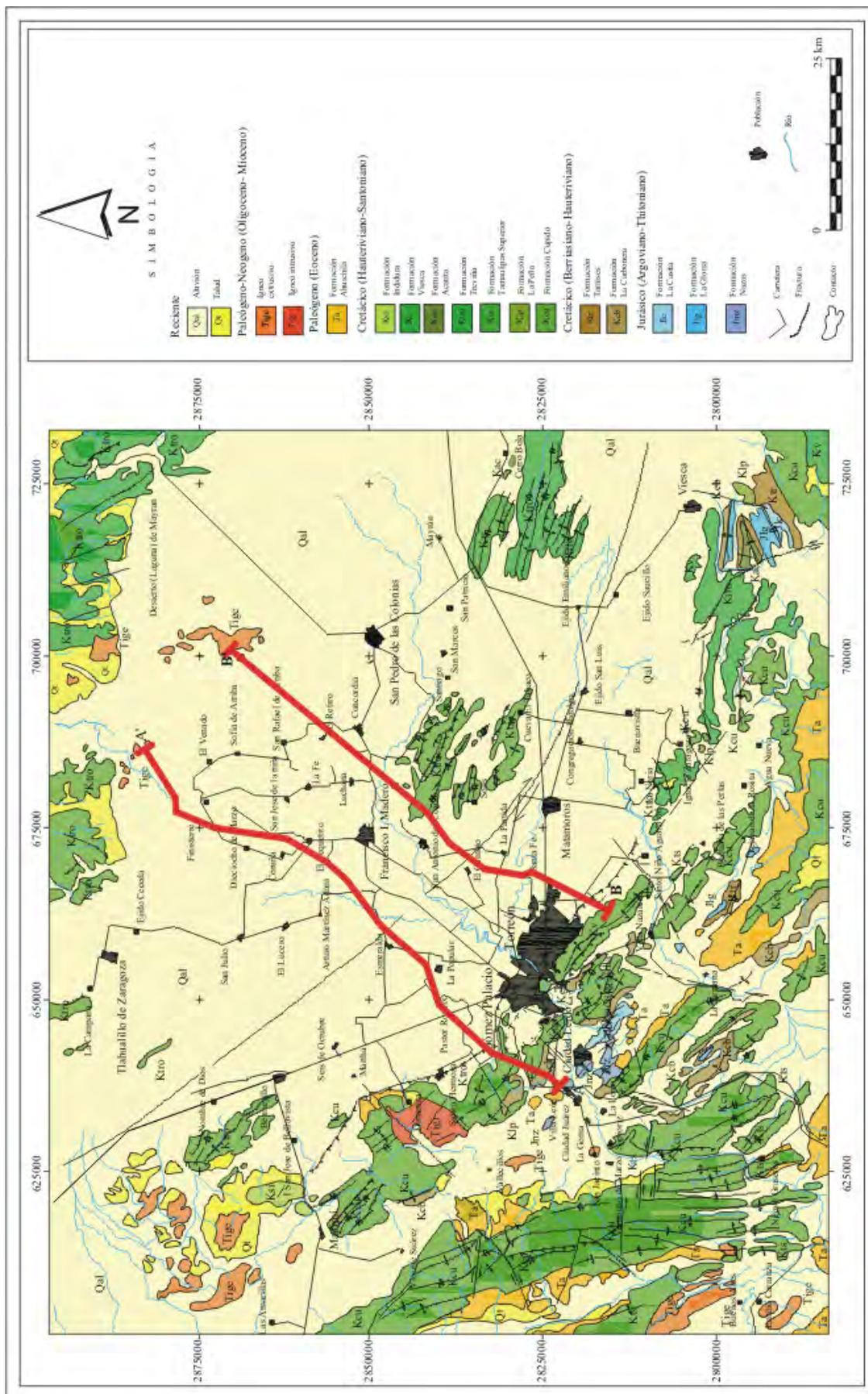


Figura 2.2 Bosquejo Geológico del área de estudio (CNA, 1999; CNA, 2003)

Tabla 2.2 Unidades hidrogeológicas (CNA, 1999)

UNIDAD HIDROGEOLOGICA	UNIDAD GEOLOGICA
I (Acuífero)	Depósitos aluviales y fluviales del Cuaternario, Depósitos granulares de la Formación Ahuichila.
II (Zona de recarga)	Secuencia sedimentaria de calizas del Cretácico Inferior Material volcánico basáltico cuaternario y andesitas del Neógeno
III (Basamento)	Material volcánico. Secuencia calcáreo-arcillosa y arenosa del Cretácico Superior Cuerpos ígneos que intrusionan a las formaciones cretácicas
IV (Confinante)	Sedimentos arcillosos lacustres

I) Depósitos granulares aluviales y fluviales no consolidados de media y alta conductividad hidráulica.

Son los depósitos que se distribuyen en gran parte de la superficie de valle y están compuestos por una heterogeneidad de materiales granulares gravosos arenosos limo-arenosos y areno-arcillosos. Así mismo, se asocian a esta unidad los sedimentos granulares de la formación Ahuichila.

Se encuentran materiales granulares distribuidos a lo largo de todo el valle que corresponden con sedimentos de ambientes aluviales, fluviales y lacustres. Los primeros se encuentran localizados en las inmediaciones de las sierras, en donde llegan a desarrollar espesores de 100 a 250 m y extensiones laterales de 2.5 hasta 5 km, conformando una geometría lenticular, interdigitándose lateralmente con los sedimentos fluviales de facies de planicies de inundación. Por otra parte, en las zonas donde se encuentran los bajos estructurales, se considera que las facies de abanicos aluviales alcanzaron a conformar cuerpos granulares de 150 a 700 m, debido a la actividad de las fallas normales.

Los sedimentos depositados como producto del transporte de los ríos Nazas y Aguanaval en facies de canal, bancos de arenas y planicies o llanuras de inundación, constituyen gran parte del volumen del material granular que rellenó el valle de la Laguna. Las facies de canal asociadas al río Nazas se encuentran distribuidas principalmente a lo largo de una franja orientada N-S, entre la ciudad de Gómez Palacio y la población de Tlahualillo de Zaragoza, la amplitud de esta franja es de 25 km, aproximadamente.

En lo que respecta a las facies de planicies de inundación, representadas por clásticos del tamaño de arenas, limos y arcillas, éstas constituyen el mayor volumen de sedimentos depositados a lo largo de toda la extensión del acuífero, comparativamente con las facies de canales fluviales y lacustres. Los valores de permeabilidad en estos cuerpos de sedimentos son menores a los que presentan los lentes de gravas y arenas de las facies de canales.

Las zonas en donde las facies de planicie de inundación tienden a predominar sobre las de canales fluviales, se localizan hacia los flancos de la zona de canales asociados a la antigua trayectoria del río Nazas, la cual se encuentra a lo largo de una franja orientada N-S, entre la ciudad de Gómez Palacio y la población de Tlahualillo de Zaragoza, asimismo las facies de planicie de inundación se encuentran tanto al norte como a lo largo del cauce del río Aguanaval.

Los sedimentos arcillosos de facies lacustre se localizan hacia los sectores centro septentrional (Laguna de Tlahualillo), centro oriental (Laguna de Mayrán) y sur oriente del valle (Laguna de Viesca).

II) Rocas sedimentarias consolidadas y secuencia volcánica cuaternaria, con alta conductividad hidráulica.

Dentro de esta unidad se considera a la secuencia de material volcánico y rocas carbonatadas depositadas en ambientes marinos del Cretácico, basaltos cuaternarios y andesitas del Neógeno. La conductividad hidráulica está dada por fracturamiento y disolución en calizas.

III) Rocas ígneas con baja conductividad hidráulica.

Están representadas principalmente por el grupo de rocas volcánicas neógenas de composición félsica, que actúan como límites laterales del acuífero. En esta unidad se integran las diferentes unidades calcáreo-arcillosas del Cretácico superior, ya que su consolidación y alto contenido arcilloso definen una baja conductividad hidráulica. Así mismo, las intrusiones graníticas del Oligoceno que afectan a los sedimentos prepaleógenos se considera que presentan baja conductividad hidráulica.

IV) Sedimentos arcillosos de baja conductividad hidráulica.

Corresponden con materiales de ambientes lacustres de baja permeabilidad.

2.4.1 Tipo de acuífero

Se determinaron dos tipos de capas almacenadoras de aguas subterráneas, la primera se encuentra estrechamente asociada a la presencia de sedimentos granulares, en tanto que la segunda, se asocia con un medio fracturado constituido principalmente por rocas sedimentarias calcáreas y, en menor proporción, por materiales de origen ígneo.

Las litofacies asociadas a los medios porosos y fracturados constituyen un sistema acuífero que fluctúa de libre a semiconfinado y, en determinadas áreas, su comportamiento corresponde a un acuífero del tipo confinado, lo cual es producto de los cambios de conductividad hidráulica atribuibles a la diversidad de litologías, tanto vertical como lateral en subsuelo, teniendo un peso significativo dentro de las conductividades hidráulicas presentes en el acuífero.

La distribución de la secuencia de materiales granulares que integran el medio poroso, conjuntamente con las rocas volcánicas y carbonatadas que constituyen el medio fracturado, en donde el patrón de fallas y fracturas controlan el movimiento del agua subterránea, establecen un sistema acuífero de tipo libre heterogéneo, en donde la trayectoria del agua subterránea se encuentra gobernada por dos factores: el primero, corresponde con el patrón estructural del área, es decir, se pueden esperar aumentos considerables de porosidad en las zonas donde el fracturamiento de las rocas esté intercomunicado, o bien las características de las fallas y fracturas asociadas sean de carácter más regional; el segundo factor se relaciona con las características texturales y de estructura del material granular, como el tamaño de los clastos, grado de selección, compactación, consolidación y composición, por lo que se puede considerar que el acuífero es heterogéneo debido a que incluye sedimentos y material litológico diverso, tanto vertical como horizontalmente. Es importante señalar, que debido a la presencia de materiales muy compactados y de horizontes de arcillas, pueden ocasionar en algunos sectores del acuífero áreas donde éste se comporte como semiconfinado e inclusive, confinado.

Debe de reiterarse, que la presencia de la fracción de rocas carbonatadas cretácicas en el subsuelo del valle de La Laguna, presenta expectativas potenciales para la localización de acuíferos, cuyos flujos se desplazarían a través de zonas de disolución y fracturamiento, en los casos en que se vean coronados por los sedimentos del Cretácico superior, el confinamiento de las aguas subterráneas formará un acuífero independiente del existente en el medio granular.

Por otra parte y de acuerdo con lo establecido por CNA (1997), la deformación frágil y dúctil que presentan las rocas de la región, puede ser un factor que influya considerablemente en el establecimiento de acuíferos controlados mediante patrones estructurales.

2.5 Modelo hidrodinámico

El acuífero de La Laguna está siendo explotado principalmente en materiales granulares del medio poroso, los cuales presentan variaciones texturales desde cantos y gravas hasta las arenas, limos y arcillas. Se considera que la alimentación del acuífero por el medio fracturado, se manifiesta a través del patrón de fallas y fracturas que cortan los ejes de las estructuras plegadas, así como al patrón de fracturamiento, que se encuentran asociadas al lineamiento producido por la falla de desplazamiento lateral que atraviesa el área de estudio con una tendencia hacia el NW.

Por otra parte, tomando en cuenta que la trayectoria que siguen los flujos subterráneos en las rocas calcáreas es paralela a los ejes estructurales de los pliegues, éstos correrán en un sentido E-W y NW-SE, bordeando prácticamente el valle en su parte meridional y occidental, estimándose que su integración hacia el acuífero en el valle se realizará cuando los flujos sean desviados de su trayectoria original por las fallas. Otras aportaciones se tienen debido a los retornos por riego, la infiltración del agua de lluvia en las partes bajas, y entradas horizontales; las salidas se dan únicamente por bombeo, ya que, de acuerdo a la interpretación de las configuraciones piezométricas, no existen salidas horizontales (CNA, 2003).

De manera natural, se considera que una de las aportaciones más importantes está asociada a la trayectoria del Río Nazas en el valle, el cual se desplaza en dos direcciones, la primera, en un sentido casi norte sur, cuyo destino final es la Laguna de Tlahualillo; la segunda, tiene una dirección hacia el este y sureste con rumbo a la antigua Laguna de Mayrán, sitio en donde antiguamente desembocaban sus aguas superficiales. Por otra parte, hacia el extremo suroccidental de la región, se localiza otra aportación importante al acuífero, que es la entrada del río Aguanaval, el cual alimenta también al sistema aunque con volúmenes un poco menores a los del río Nazas (CNA, 2003).

Los materiales volcánicos que constituyen el medio fracturado corresponden a la secuencia de rocas de composición riolítica; su influencia en el acuífero es prácticamente nula, debido a la falta de continuidad de sus afloramientos en la superficie del terreno.

De acuerdo a configuraciones históricas de la zona, la dirección natural del flujo subterráneo era paralela a la trayectoria de estos dos ríos; sin embargo en la actualidad, y debido a la concentración del bombeo, esta dirección se da de forma concéntrica hacia el centro del área, conformando diversos conos de abatimiento.

De las pruebas de bombeo efectuadas por CNA en 1992b, mediante los métodos de Neuman y Rathod y Rushton, se determinó que los valores de transmisividad fluctúan entre 0.079×10^{-3} y 6.04×10^{-3} m²/día. Los coeficientes de almacenamiento fluctúan entre 0.01245 y 9.936×10^{-3} , valores típicos de un acuífero libre (Custodio, 1983). La conductividad hidráulica se encuentra oscilando entre 0.28×10^{-5} y 6.37×10^{-5} m/s.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Nociones

La aproximación geoestadística fue desarrollada para tratar con problemas de la estimación de fenómenos que presentan una estructura de autocorrelación espacial entre observaciones. Los métodos geoestadísticos utilizan la estructura de autocorrelación, para estimar –sin sesgo y con varianza de estimación mínima- valores para puntos sin medida, o bien, estimar valores promedio para nuevos “soportes” (superficies o volúmenes de tamaños diferentes al muestreo actual). La geoestadística ha sido probada de manera muy efectiva en la estimación de reservas en la industria minera (David, 1977; Journel y Huijbregts, 1978); estas técnicas son en la actualidad, ampliamente utilizadas en otras disciplinas de las Ciencias de la Tierra.

En geoestadística, la variación de la estructura espacial de un fenómeno es cuantificada por un semivariograma, el cual describe el grado de discrepancia entre unidades muestrales como una función de la distancia geográfica. El semivariograma caracteriza la continuidad de un modelo de función aleatoria que describe los patrones de dispersión espacial de la variable en estudio. El uso de funciones de modelos de variables aleatorias tiene efectos prácticos importantes. Tomando en cuenta la dispersión espacial, permite mejorar la veracidad de estimaciones, en comparación con la estadística clásica que descuida estructuras espaciales o para reducir el esfuerzo de muestreo necesario para alcanzar un determinado grado de precisión (Kitanidis, 1997).

Las relaciones estadísticas clásicas, habitualmente descuidan la estructura de autocorrelación espacial y solo consideran la componente aleatoria del proceso espacial. Generalmente, si la estructura de autocorrelación espacial está presente y bien desarrollada, el uso de los métodos geoestadísticos tiene importantes efectos prácticos. Esto permite diseñar estimaciones locales y permite el aseguramiento de las estimaciones.

Diversos métodos geoestadísticos se han desarrollado para calcular el intervalo de confianza de una estimación. El kriging ordinario permite calcular la varianza del error relativo para cada estimación. Esta varianza es independiente de los valores de los datos y depende de la configuración del muestreo y de la elección del modelo de semivariograma. Esto representa el promedio de la varianza del error de la estimación para una configuración fija de muestras. Generalmente, el error de la estimación se supone que está normalmente distribuido con media cero, y la varianza permite la construcción de un intervalo de confianza alrededor del valor estimado (Journel y Huijbregts, 1978; Cressie, 1991).

3.2 Análisis Estructural

El procedimiento de diseño óptimo de la red de monitoreo, está basado en la teoría de las variables regionalizadas, la cual fue desarrollada por G. Matheron (Chilès, 1999). En ella se han introducido diferentes procesos de estimación, los cuales se han denominado como variantes del kriging. En este trabajo se describe a continuación, y de manera breve, el análisis estructural y posteriormente la teoría correspondiente al kriging ordinario.

El kriging es un método para estimar el valor, de una variable aleatoria regionalizada $Z(x)$ la cual se encuentra dispersa en espacio y tiempo (Journel y Huijbregts, 1978). Frecuentemente una de las siguientes condiciones se acepta en el estudio de la estructura de $Z(x)$.

La variable regionalizada es llamada estacionaria si, para un vector arbitrario h y un grupo finito (x_1, \dots, x_r) , la distribución de:

$$(Z(x_1), \dots, Z(x_r)) \text{ y } (Z(x_1 + h), \dots, Z(x_r + h))$$

son idénticas, siempre que $x_l, x_l + h \in D(Z)$ ($l = 1, \dots, r$) donde $D(Z)$ denota el dominio de la variable.

Una condición mas débil y a su vez más aceptada es la llamada *estacionariedad de segundo orden*, donde:

$$E\{Z(\underline{x})\} = m$$

$$E\{(Z(\underline{x}) - m)(Z(\underline{x} + \underline{h}) - m)\} = C(\underline{h}), \quad (\underline{x}, \underline{x} + \underline{h} \in D(Z)) \quad (3.1)$$

esto es, el valor esperado y la covarianza espacial de la variable regionalizada son invariantes sobre el campo de interés. La función $C(\underline{h})$ se denomina la función de covarianza.

En el caso de la *hipótesis intrínseca* se asume que:

$$E\{Z(\underline{x} + \underline{h}) - Z(\underline{x})\} = 0$$

$$Var\{Z(\underline{x} + \underline{h}) - Z(\underline{x})\} = 2\gamma(\underline{h}) \quad (3.2)$$

En otras palabras, considere dos valores $z(\underline{x})$ y $z(\underline{x} + \underline{h})$, en dos puntos \underline{x} y $\underline{x} + \underline{h}$ separados por el vector \underline{h} . La variabilidad entre estas dos cantidades está caracterizada por la función variograma $2\gamma(\underline{x}, \underline{h})$, el cual se define como el valor esperado de la variable aleatoria $[Z(\underline{x}) - Z(\underline{x} + \underline{h})]^2$, es decir (Journel y Huijbregts, 1978):

$$2\gamma(\underline{x}, \underline{h}) = E\{[Z(\underline{x}) - Z(\underline{x} + \underline{h})]^2\} \quad (3.3)$$

En toda generalidad, este variograma es una función tanto de x como de \underline{h} , así que, la estimación de este variograma requiere diversas realizaciones $[z_k(\underline{x}), z_k(\underline{x} + \underline{h})]$; en la práctica, sólo una realización está disponible y ésta es la medida actual del par de valores x y $x + h$; suponiendo que se cumpla la hipótesis intrínseca, entonces es posible estimar el variograma $2\gamma(\underline{x}, \underline{h})$ de los datos disponibles: un estimador $2\gamma^*(\underline{x}, \underline{h})$ es la media aritmética del cuadrado de las diferencias entre dos medidas experimentales $[z_i(\underline{x}), z_i(\underline{x} + \underline{h})]$ en cualquiera dos puntos separados por el vector \underline{h} , es decir:

$$2\gamma^*(\underline{h}) = \frac{1}{N(\underline{h})} \sum_{i=1}^{N(\underline{h})} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (3.4)$$

donde $N(\underline{h})$ es el número de pares experimentales $[z_i(\underline{x}), z_i(\underline{x} + \underline{h})]$ de datos separados por el vector \underline{h} (Journel, 1989).

En la mayoría de las aplicaciones prácticas se requiere conocer todos los valores de la función semivariograma $\gamma(\underline{h})$, pero no cualquier función puede servir de semivariograma, ésta debe cumplir al menos dos condiciones: 1) ser condicionalmente positiva definida, y 2) tener valor nulo en el origen (Cressie, 1991). A las funciones que cumplen estas condiciones se les denomina modelos teóricos y algunos de ellos son: el esférico, gaussiano, exponencial, lineal, potencial, efecto agujero y efecto pepita (Olea, 1999). Estos modelos se caracterizan fundamentalmente por tres parámetros: el alcance o radio de correlación espacial, la meseta (sill) y la varianza (nugget). Dado que no es fácil comprobar si el semivariograma muestral cumple las condiciones necesarias para ser un modelo válido, en la práctica, se opta por ajustar uno de los modelos válidos al semivariograma muestral de acuerdo con algún método establecido (Samper, 1990; Chilès, 1999).

Por otra parte, la estimación de semivariogramas azimutales permite determinar la posible existencia de anisotropía geométrica, cuando los alcances de los semivariogramas son significativamente diferentes. Si la anisotropía es significativa, se determinan los alcances (radio de correlación) en las direcciones de menor y mayor valor, con lo cual se pueden construir modelos anisotrópicos (Chilès, 1999).

Un modo de confirmar la presencia de no estacionaridad de la media es mediante el semivariograma. Cuando éste muestra un crecimiento más rápido que una función cuadrática (h^2), es un indicador de la posible presencia de tendencia (Journel y Huijbregts, 1978). En caso afirmativo de la existencia de tendencia, se procede a estimarla y eliminarla (Samper, 1990).

Ahora bien, existen diversas formas de ajustar un modelo teórico al semivariograma, una de ellas, consiste en utilizar el método de mínimos cuadrados ponderados (Cressie, 1991), con el cual se estiman los parámetros del semivariograma que mejor se ajusta (mínima suma ponderada del cuadrado de las diferencias) al semivariograma muestral. Esta aproximación considera sólo los términos de la varianza en la diagonal principal de la matriz de covarianza (Cressie, 1991). Dado que todos los elementos en la matriz son conocidos y esta inversión es trivial, cada diferencia es ponderada por el inverso de la varianza del semivariograma experimental. (Olea, 1999). Esto se realiza para cada modelo de semivariograma, y el modelo que exhiba un mejor ajuste, de acuerdo con algún criterio (mínima suma del cuadrado del error y el criterio de información de Akaike), se considera como el modelo óptimo, (Olea, 1999; Cressie, 1991).

Una vez ajustado un modelo teórico al semivariograma, se procede a probar la validez del modelo. Una forma es, mediante el método de validación cruzada conocido como “leave one out” (Samper, 1990); que consiste en estimar o predecir un dato conocido usando el modelo de semivariograma ajustado, mediante kriging ordinario. Se repite este proceso para todos los valores conocidos y se calcula la estadística combinada de las diferencias entre los valores reales y los estimados (errores). Éstos deben aproximarse a una distribución normal para el modelo seleccionado (Journel y Huijbregts, 1978; Cressie, 1991).

En el caso de kriging ordinario, la condición de estacionariedad intrínseca se supone, representando las condiciones de aplicación del modelo. Ello corresponde a la hipótesis de una cierta homogeneidad regional. Si la media poblacional y la covarianza espacial son constantes sobre el área de estudio, y la función de correlación espacial exhibe una meseta (sill), entonces la variable tiene estacionariedad de segundo orden (la varianza y covarianza existen y son finitas). Si el semivariograma no tiene meseta (sill), entonces la covarianza no existe, pero aún puede desarrollarse el kriging. Esta situación corresponde a la situación de hipótesis intrínseca (David, 1977; Journel y Huijbregts, 1978).

3.3 Teoría de estimación

La formulación de la teoría del kriging requiere la introducción de la siguiente notación. Sea Z_1, Z_2, \dots, Z_n los valores medidos de $Z(x)$ en n puntos experimentales x_1, x_2, \dots, x_n . En la estimación por kriging, uno o más de los siguientes problemas se formulan:

- Sea $t_1, \dots, t_m \in D(Z)$ puntos donde los valores $Z(t_1), \dots, Z(t_m)$ pueden estimarse;
- Sea $V_1, \dots, V_m \subset D(Z)$ subdominios donde los valores promedios:

$$\bar{Z}(V_i) = \frac{1}{|V_i|} \int_{V_i} Z(x) dx, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.5)$$

son estimados y donde $|V_k|$ ($1 \leq k \leq m$) denota la longitud, área o volumen de la región V_k en su respectivo espacio n -dimensional.

En la teoría del kriging, el problema b) recibe más atención, dado que el primer problema es un caso limitado cuando el dominio se reduce a un punto. La estimación de Z^* del valor promedio de $\bar{Z}(V)$ (donde V es uno de los subgrupos (V_1, \dots, V_m)) es considerado como un promedio ponderado de los n datos disponibles:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (3.6)$$

Los λ_i son los “coeficientes del kriging”. Esta estimación lineal debe satisfacer dos condiciones principales, debe ser imparcial y de varianza mínima. La condición de imparcialidad se satisface sí (Journal y Huijbregts, 1978):

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 = 0 \quad (3.7)$$

La varianza del error de estimación, está dada por (Journal y Huijbregts, 1978):

$$E\left\{(\bar{Z}(V) - Z^*)^2\right\} = -\bar{\gamma}_{vv} + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{\gamma}_{vi} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \bar{\gamma}_{ij} \quad (3.8)$$

donde:

$$\bar{\gamma}_{ij} = \gamma(\underline{x}_i - \underline{x}); \quad \bar{\gamma}_{vi} = \frac{1}{|V|} \int_V \gamma(\underline{x}_i - \underline{x}) d\underline{x}; \quad \bar{\gamma}_{vv} = \frac{1}{|V|^2} \int_V \int_V \gamma(\underline{x} - \underline{x}') d\underline{x} d\underline{x}'$$

La minimización de la varianza (3.8) sujeta a la restricción (3.7) se realiza por el método de los multiplicadores de Lagrange, y conduce a la solución del siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{\gamma}_{ij} + \mu = \bar{\gamma}_{vi} \quad (i=1, \dots, n) \quad (3.9)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

donde μ es un multiplicador de Lagrange. Al sustituir (3.9) en (3.8), la varianza del error de estimación puede ser reescrita en forma lineal como (Isaaks, 1989):

$$E\left\{(\bar{Z}(V) - Z^*)^2\right\} = \mu + \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{\gamma}_{vj} - \bar{\gamma}_{vv} \quad (3.10)$$

Esta expresión representa la incertidumbre de la estimación.

En el caso especial cuando el dominio V se reduce a un punto \underline{t} se substituye:

$$\begin{aligned} \bar{\gamma}_{vi} & \text{ por } \gamma(\underline{x}_i - \underline{t}) \\ \bar{\gamma}_{vv} & \text{ por } \gamma(\underline{t} - \underline{t}) = 0 \end{aligned} \quad (3.11)$$

La forma particular del sistema de ecuaciones del kriging y la varianza de estimación implican, entre otras, las siguientes observaciones:

- 1) El valor de la varianza de estimación para un semivariograma dado, depende solamente de la selección del bloque V y los puntos de medición x_1, x_2, \dots, x_n (Olea, 1999).
- 2) Suponiendo que un nuevo punto de medición x_{n+1} es incluido en el grupo de puntos de medición, entonces:
 - a) La varianza de estimación decrece;
 - b) Esta última puede calcularse sin repetir todos los cálculos por el método de inversión de bloques (Samper, 1990).

A continuación se muestra el principio general para este proceso conocido como “Método del Punto Ficticio”.

Método del Punto Ficticio

Suponga que se dispone de n datos $\{x_i, i = 1, \dots, n\}$ y se pretende obtener la posición x_{n+1} de un nuevo punto de medida. La propiedad de que la varianza del kriging no requiere conocer el valor real $Z(x_{n+1})$ permite seguir el siguiente proceso:

- Considerar un punto adicional “ficticio” x_{n+1} .
- Construir el sistema de ecuaciones de kriging como si se dispusiese de medida en dicho punto. Es decir, el correspondiente al conjunto de puntos $\{x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}\}$.
- Calcular la varianza de kriging.

Estos tres pasos se repiten variando la posición del punto ficticio y eligiendo como nuevo punto de medición aquel que conduzca a mínima incertidumbre. Evidentemente, a la hora de seguir este proceso, hay que especificar el objetivo que se persigue, ya que hay varias posibilidades como son los casos de minimización de la varianza global y de la local (Samper, 1990).

3.4 Procedimiento de optimización

El método comienza dividiendo el área de estudio en una malla regular y obteniendo el valor estimado de la variable en todos los bloques de esta malla, utilizando los n datos disponibles, empleando para ello kriging ordinario en bloque. Una vez obtenidos los valores estimados de los bloques, y sus correspondientes valores de la desviación estándar del error de estimación, se obtiene el rango para ellos y se compara con el obtenido en la muestra. Además de esto, se determina el valor requerido de σ_c , donde σ_c es la desviación estándar máxima permitida, la cual será mucho menor que la obtenida con la muestra (Ahmed y Gupta, 1996).

Si consideramos la fórmula para el error de estimación (3.10) como:

$$\sigma_k^2(v) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{\gamma}_{iv} + \mu - \bar{\gamma}_{vv} \quad \forall k = 1, \dots, N$$

donde N es el número total de puntos de estimación, $\sigma_k^2(v)$ es la varianza del error de estimación en el k -ésimo bloque v , $\bar{\gamma}_{iv}$ es el semivariograma promedio entre el i -ésimo punto y el bloque v y $\bar{\gamma}_{vv}$ es el semivariograma promedio sobre los bloques v , λ_i son los pesos del kriging (Olea, 1999). Es claro que cuando se cuenta con datos en un gran número de puntos la varianza del error de estimación debe ser pequeña. Además del número, la posición de los puntos de medida de los puntos o bloques de estimación, también juega una función importante (Isaaks, 1989).

Una vez realizada la estimación con kriging ordinario en bloque, la desviación típica del error de estimación $\sigma_k(v)$ se calcula para todos los bloques que conforman la malla, se prepara una lista con los bloques estimados que excedieron σ_c , el valor preestablecido, y se establecen además otras normas:

- El promedio de $\sigma_k(v) = \overline{\sigma_k}$
- El número de bloques (M) donde $\sigma_k(v) > \sigma_c$
- La suma del cuadrado de las diferencias (SCD) entre $\sigma_k(v)$ y σ_c para todo $\sigma_k(v) > \sigma_c$

Para un valor prefijado de σ_c se calculan M y SCD , distinguiendo dónde tiene poca precisión la red. Así que, para hacer la red más densa u óptima para el valor de σ_c fijado, se agregan los primeros puntos de medición en los bloques, con los valores más altos de σ_k . Dado que el procedimiento desarrollado es iterativo, se eligen diferentes localidades de manera arbitraria, teniendo en mente el número que económicamente puede agregarse. La posición de los nuevos puntos se decide comenzando con los lugares con mayor σ_k . De inicio, se debe considerar y preparar un grupo de puntos para ingresar a la red. No es necesario agregar todos los puntos de todos los bloques donde $\sigma_k(v) > \sigma_c$ porque las nuevas estaciones de medida agregadas reducen $\sigma_k(v)$ en los bloques circundantes dependiendo del rango del semivariograma.

Se hacen dos consideraciones adicionales: a) Como inicialmente se describió, el procedimiento es iterativo, y la red se prueba removiendo puntos de la red existente y si ésta se mantiene sin cambios (M y SCD no varían), se considera óptima o densa; b) También, es necesario que la malla se haga más fina y permanezca sin cambios, es decir, aumentar el número de puntos a estimar para la malla (Ahmed, 2004).

4. RESULTADOS

4.1 Análisis Geoestadístico

La estadística es una metodología para realizar inferencias sobre cantidades desconocidas utilizando datos y otra información. Los métodos estadísticos complementan el entendimiento de los procesos determinísticos y son esenciales para que el análisis geoestadístico tenga validez, dado que el mismo está basado en la estimación y modelación del semivariograma, el cual, es una función que refleja la correlación espacial del fenómeno en estudio. Para poder estimarla es necesario que la muestra cumpla una serie de requisitos, los principales son: que tenga una distribución de probabilidad normal o cercana a una normal, verificar si hay la presencia de tendencia, es decir, que sea estacionaria al menos en la media, revisar la presencia de valores atípicos (*outliers*) tanto distribucionales como espaciales, y que tenga una distribución espacial homogénea.

Tomando en cuenta lo anterior, se pretende explorar las características de la muestra con el fin de modificar, en la medida de lo posible, aquellas que no satisfagan los requisitos exigidos. Además, nos permite decidir cual procedimiento siguiente sería más adecuado aplicar en la estimación espacial.

4.1.1 Análisis preliminar

Se analizó un total de 265 valores de la variable “Elevación del Nivel Estático” correspondientes al año 2005 pertenecientes al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) (ver Anexo 1), en pozos ubicados en la Región Lagunera (recuadro en la Figura 4.1). Con estos datos se elaboró el rediseño de una primer red de monitoreo, denominada a partir de aquí como “A”. En una segunda etapa se dispuso, además de los 265 datos iniciales, de 123 datos adicionales de puntos sin medida de la variable, los cuales se consideraron adicionalmente para el rediseño de una segunda red de monitoreo, denominada “B”. Se tomaron los registros que contenían valores confiables de coordenadas (UTM) y Elevación del Nivel Estático; con estos valores resultantes se prepararon los archivos necesarios para efectuar el procesamiento de la información utilizando el paquete GsLib: Geostatistical Software Library (Deutsch y Journel, 1992), así como el procedimiento descrito en 3.4, desarrollado en MatLab por el autor de este trabajo, y denominado como ROM.

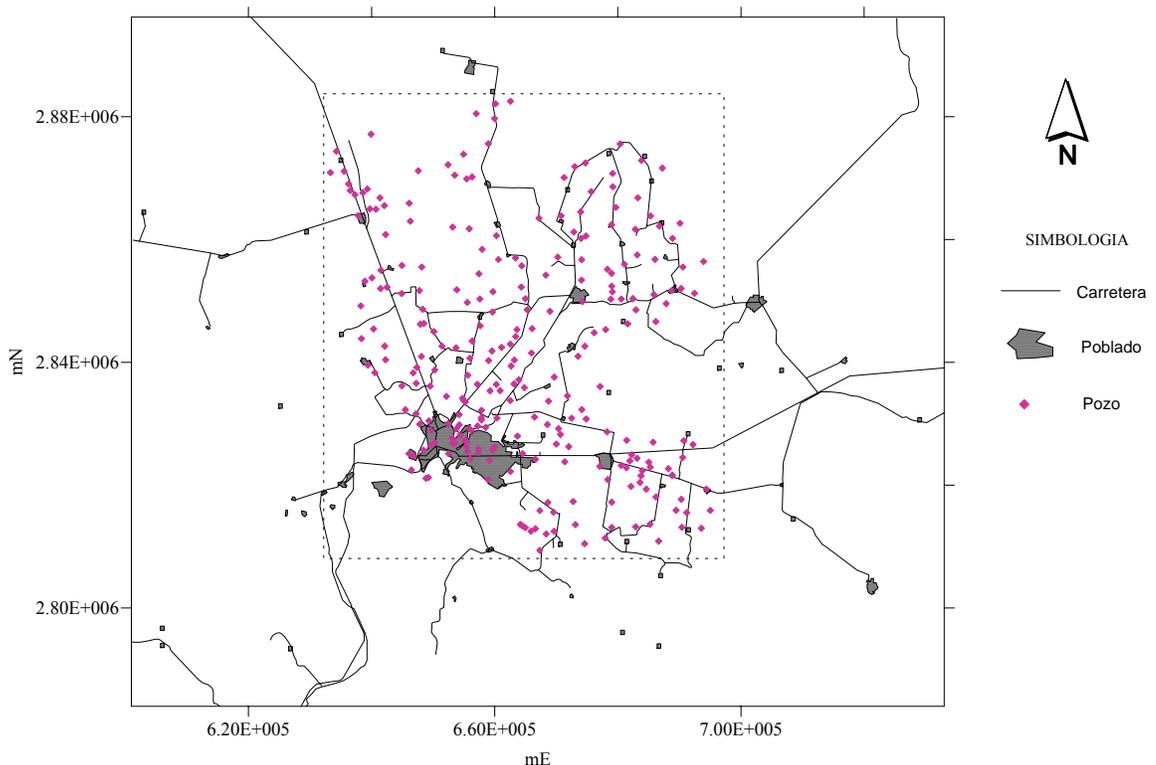


Figura 4.1 Distribución espacial de los pozos (REPDA) en el área de estudio.

4.2 Análisis Exploratorio de Datos.

El fin último del AED consiste en mejorar la calidad de la estimación de la variable, específicamente nos ayuda a: 1) reconocer errores en la muestra; 2) proporciona un conocimiento comprensivo de las características estadísticas y espaciales de todas las variables de interés a estimar; 3) documentar y entender las interrelaciones entre las variables; 4) reconocer cualquier variación espacial sistemática de la variable; 5) identificar y entender valores extraños y, 6) evaluar las similitudes o diferencias de los datos duros (Sinclair y Blackwell, 2002).

4.2.1 Estadística básica

De acuerdo con la distribución de la muestra, se obtuvo la estadística básica mostrada en la Figura 4.2:

A partir del histograma mostrado en la Figura 4.2, resultó que la distribución es simétrica y los estadígrafos de simetría y curtosis se aproximan a los de una distribución normal.

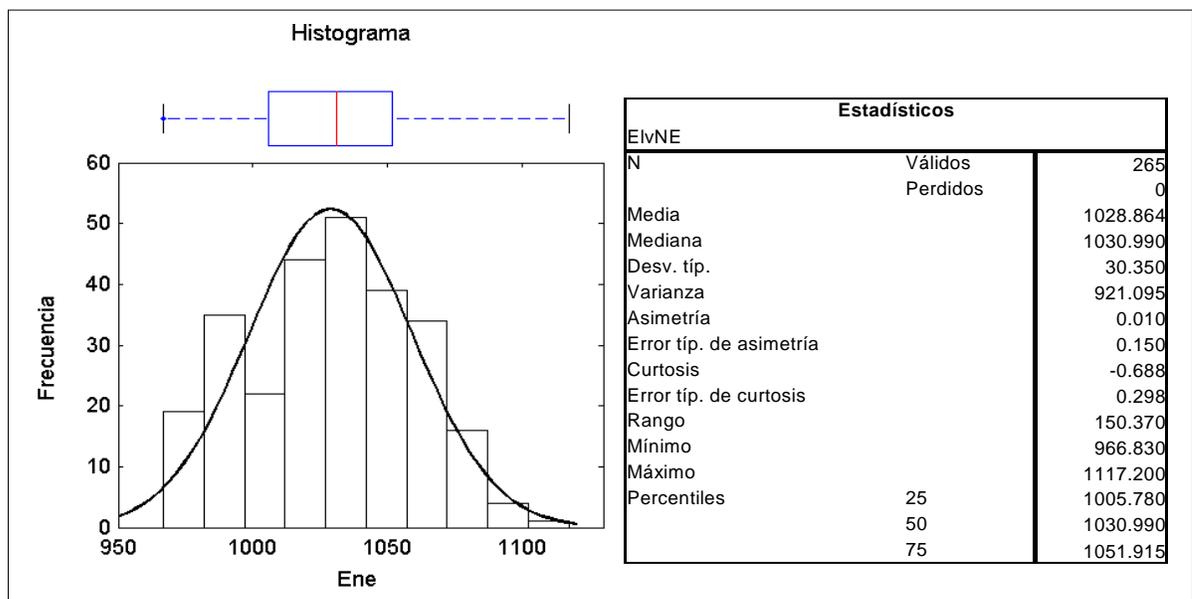


Figura 4.2 Histograma de Elevación del Nivel Estático

4.2.2 Análisis de valores extraños.

Un valor extraño (*outlier*) es una observación que aparenta ser inconsistente con la mayoría de los datos, es decir, son valores anormales de la muestra, o bien pueden ser el resultado de un error en las mediciones, en los registros, o las observaciones pudieron haber sido colocadas en los grupos de datos equivocados o efectivamente pertenecer al grupo; en cualquier caso, estos afectarán a la muestra y es necesaria, de ser posible, su eliminación (Sinclair y Blackwell, 2002; Byrkit, 1987).

Además, se debe realizar un análisis de la distribución espacial de la muestra, a fin de conocer si está distribuida de forma homogénea en la región de estudio o si presenta una distribución preferencial por zonas o en alguna dirección.

Para el caso de la muestra de Elevación del Nivel Estático, no se detectaron valores extraños espaciales ni distribucionales. En la Figura 4.1, se observa que la muestra está distribuida espacialmente de manera preferencial en su parte sur en dirección NW-SE.

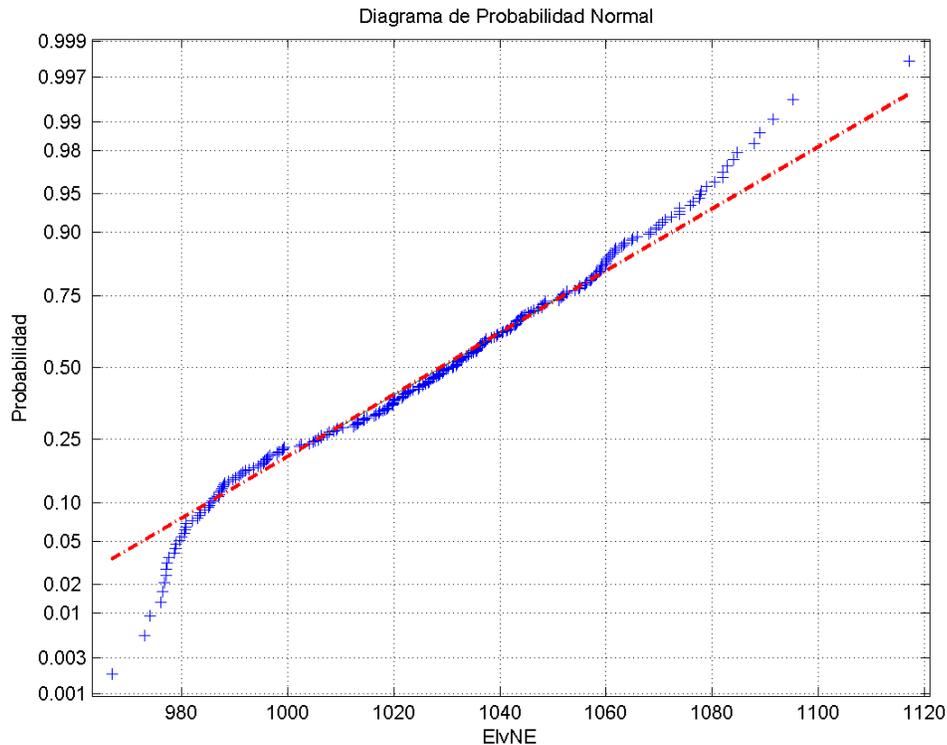


Figura 4.3 Diagrama de probabilidad normal para ENE

4.2.3 Análisis de tendencia

El semivariograma adireccional, dirección de 0° con una tolerancia de $\pm 90^\circ$, que se observa en la Figura 4.4, presenta su crecimiento acotado al nivel de la varianza de la muestra, lo cual es otro hecho que apunta hacia la ausencia de tendencia espacial.

4.3 Estimación del semivariograma omnidireccional.

El semivariograma omnidireccional se estimó tomando la dirección 0° y una tolerancia de $\pm 90^\circ$; y aunque no existe una regla definida para elegirlo, algunos autores consideran elegir el tamaño máximo de intervalo como la mitad de la distancia máxima de separación de los puntos, con una cantidad de intervalos que van de 6 a 30. Para este trabajo, se consideró un mínimo de 10 intervalos (Olea, 1999). Si se toman menos intervalos se dificulta la modelación del semivariograma, y si se estima a distancias superiores de la mitad de la distancia máxima de separación de los puntos de la muestra, se corre el riesgo de obtener una estimación errónea y sesgada, debido a la escasa cantidad de pares de puntos que se encuentran a esa distancia de separación (Deutsch, 2002; Kitanidis, 1998, Olea, 1999).

El semivariograma omnidireccional se estimó para un valor de los intervalos de 4.7 km, de la distancia máxima de separación que es de 95.6 km aproximadamente, lo cual permitió estimar 10 intervalos (Figura 4.4). La tabla 4.1 muestra los valores calculados:

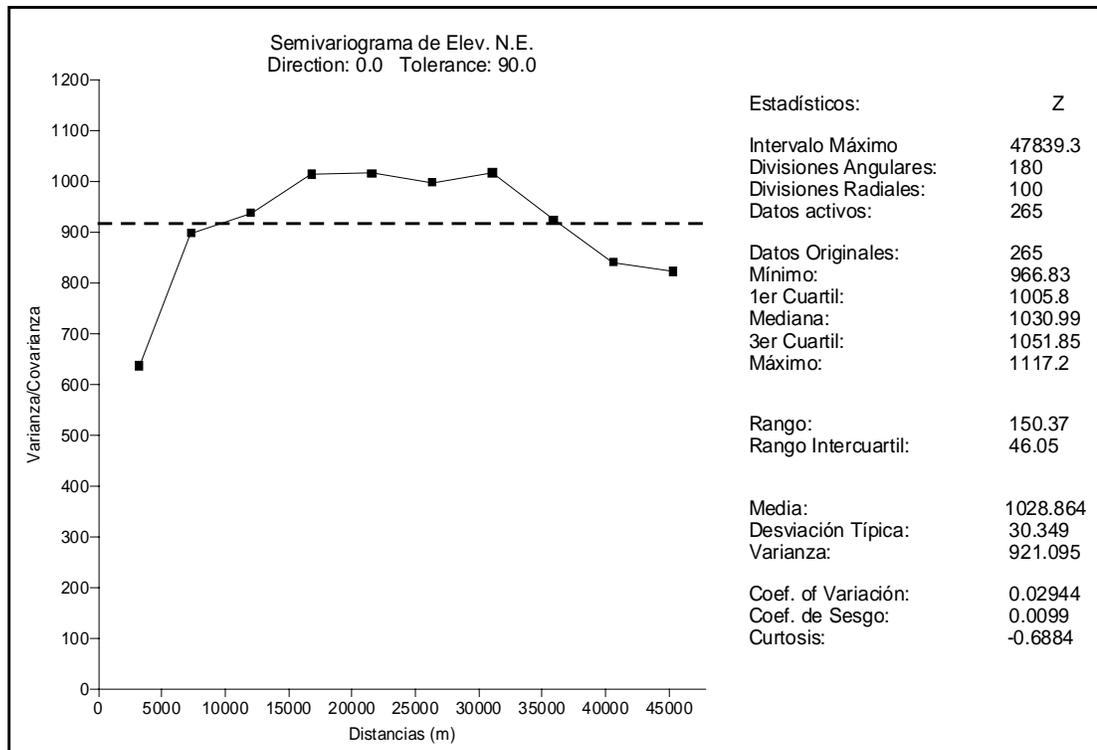


Figura 4.4 Semivariograma omnidireccional con intervalo 4.7 km para ENE

Nlag	Distancias Promedio	Semivarianzas	No. Pares
1	3206.6	636.88	967
2	7298.5	897.55	2099
3	12022	937.64	2889
4	16781	1013.3	3361
5	21531	1015.6	3657
6	26305	997.76	3805
7	31081	1017	3763
8	35864	923.94	3716
9	40586	840.69	3345
10	45308	821.73	2719

Tabla 4.1 Valores calculados del semivariograma experimental

4.3.1 Estimación de semivariogramas direccionales

Se estimaron semivariogramas azimutales en cuatro direcciones principales: 0°, 45°, 90° y 135° con tolerancias de ±22.5°. Los intervalos se eligieron de la misma forma que para el semivariograma omnidireccional (Figura 4.5), la Tabla 4.2, muestra los valores calculados para cada semivariograma direccional.

4.3.2 Análisis de anisotropía

La Figura 4.5 muestra que los patrones de incremento generalmente no varían con la dirección, las diferencias que reflejan las fluctuaciones experimentales son el resultado de los pocos pares de datos disponibles para cada intervalo, además no indican anisotropía, ya que los alcances están en un rango entre 10 y 15 km, y los últimos valores estimados oscilan de manera leve, no así para la dirección de 45°, la cual presenta una mayor fluctuación de las estimaciones, esto se debe quizás a la insuficiente cantidad de puntos muestrales en esta dirección, y no por la presencia de algún gradiente en los niveles medidos.

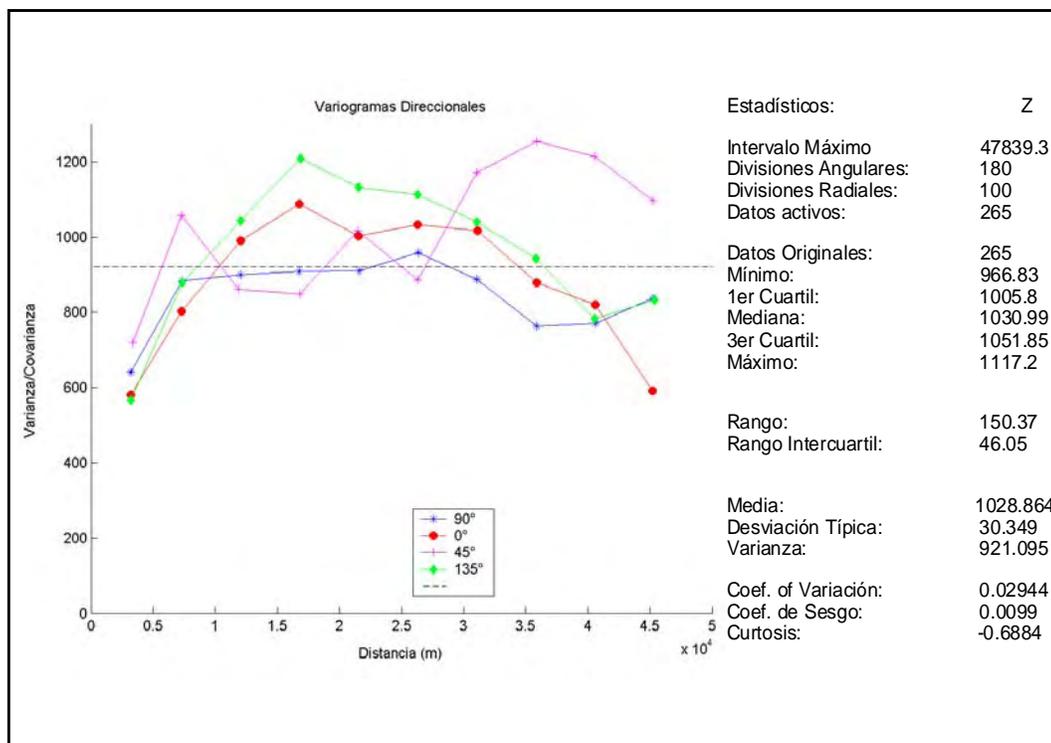


Figura 4.5 Semivariogramas en las 4 direcciones para ENE

Tabla 4.2 Valores calculados de los semivariogramas direccionales

0°			45°			90°			135°		
V	D	NP	V	D	NP	V	D	NP	V	D	NP
581.51	3215.1	245	719.67	3343.8	118	641.77	3214.5	299	565.82	3194.5	224
802.05	7275.8	518	1057.7	7278.5	274	883.49	7313.4	611	879.57	7348.8	495
990.08	12034	698	861.45	11880	364	899.97	12073	876	1043.5	12050	678
1087.5	16740	821	849.26	16805	403	909.55	16751	976	1208.6	16857	870
1002.9	21508	866	1017.5	21471	407	910.52	21574	1096	1132.1	21546	977
1033	26303	894	886.68	26292	378	958.95	26337	1196	1112.3	26306	1017
1017.7	31130	835	1171.8	31062	383	886.9	31060	1216	1040.9	31058	993
878.67	35897	803	1255.2	35862	418	762.68	35878	1186	943.02	35854	938
819.83	40617	612	1214.8	40550	371	770.28	40581	1223	782.29	40560	831
591.77	45232	422	1097.7	45251	288	837.35	45282	1055	833.42	45389	662

V= Varianzas D= Distancias NP= Pares

4.4 Modelación y ajuste del semivariograma.

Como una primera aproximación se obtuvo aplicando mínimos cuadrados ponderados los siguientes modelos:

Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Alcance (A_0)	AIC
Gaussiano	932.55239	219.45530	37923.71266	3244.66542
Exponencial	432.61531	488.48011	12022.14986	3277.12690
Esférico	432.61531	488.48011	12022.14986	2898.84415
Lineal	819.43591	274.87274	17279.31348	3748.11150

La modelación del semivariograma continua con un proceso de prueba y error modificando los parámetros del modelo hasta obtener un ajuste razonable según el criterio de Akaike (Olea, 1999; Cressie, 1991).

De acuerdo con lo anterior el modelo óptimo, y que se considerará para realizar la estimación espacial de la propiedad, es (Figura 4.6):

Modelo	Nugget (C ₀)	Sill (C)	Alcance (A ₀)	AIC
<i>Esférico</i>	<i>410</i>	<i>535</i>	<i>10255</i>	<i>2844.0531</i>

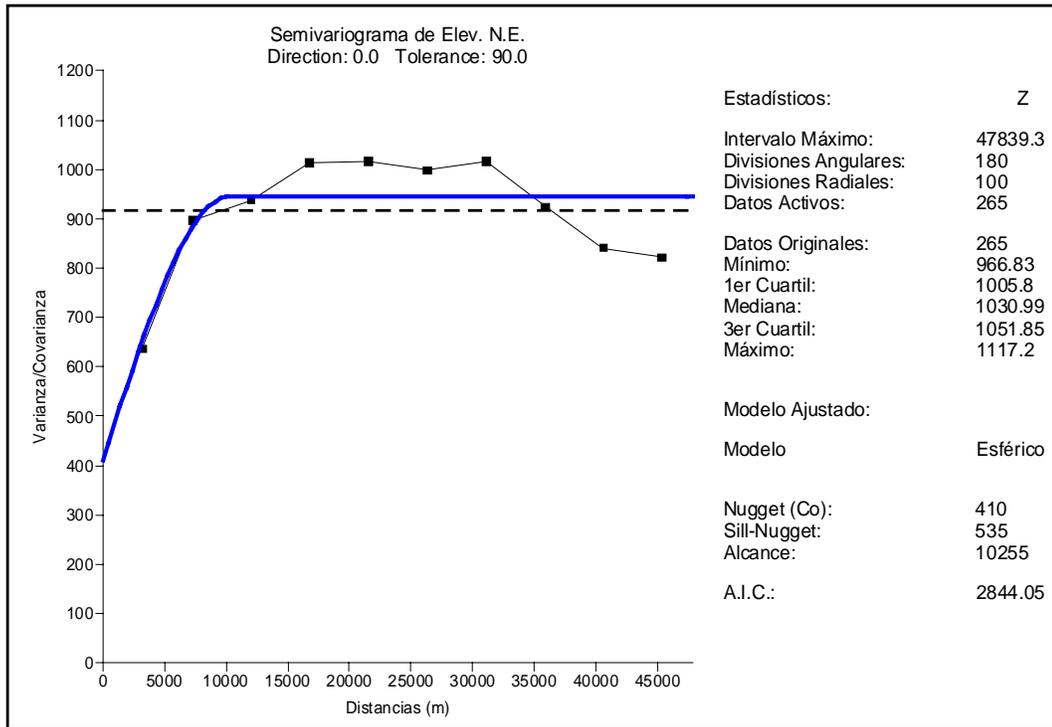


Figura 4.6 Modelo ajustado del semivariograma adireccional con intervalo 4.7 km para ENE

4.5 Validación del Modelo.

Se empleó el método de validación cruzada para el modelo ajustado, obteniéndose el mapa de las diferencias para $Z-Z^*$ que se muestra en las Figuras 4.7 y 4.8, donde se puede apreciar que los mayores errores se agrupan en los puntos localizados en la parte más exterior y, en general, éstos son una cantidad pequeña con respecto al tamaño de la muestra, y puede observarse que el modelo de semivariograma obtenido refleja correctamente la estructura espacial de la variable Elevación del Nivel Estático, puesto que la Media de $Z-Z^* = 0.35$ es cercana a 0 y la Varianza de $Z-Z^* = 729.4$ es grande, debido posiblemente a la presencia de tendencia como resultado de la ausencia de datos en ciertas zonas al SW y al E del área de estudio, lo anterior se corrobora mediante un estadígrafo que relaciona los errores en la estimación con las varianzas de los errores que da el kriging. Éste es el error cuadrático medio estándar (Samper, 1990), que se define como el valor promedio del cuadrado de las diferencias de los valores estimados y los medidos entre la varianza del punto estimado, en el punto de observación:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}{\sigma_i} \right) \approx 1$$

dónde n es el número de observaciones, $Z(x_i)$ los valores muestrales de la propiedad en el punto (x_i) , $Z^*(x_i)$ es el valor estimado con kriging y, σ_i^2 es la varianza del error de predicción en la posición, (x_i, t_i) . Si el modelo funciona bien, este valor debe ser cercano a 1 y en este caso fue de 7.07.

En tanto que el promedio del error $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z(x_i) - Z^*(x_i) \approx 0$ y para este caso fue de 0.35

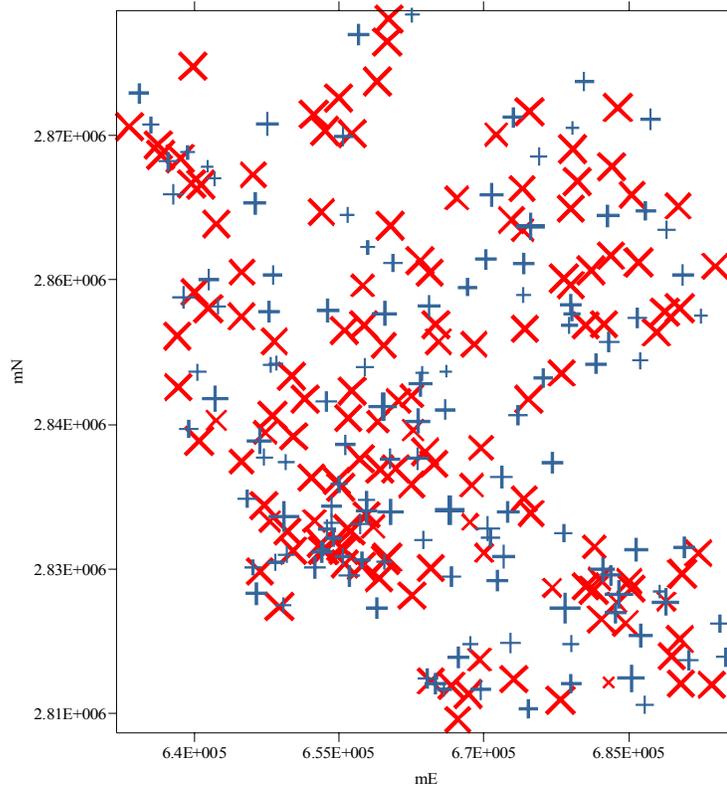


Figura 4.7 Distribución de los errores ($Z-Z^*$), las marcas proporcionales significan subestimado (x) y sobrestimado (+).

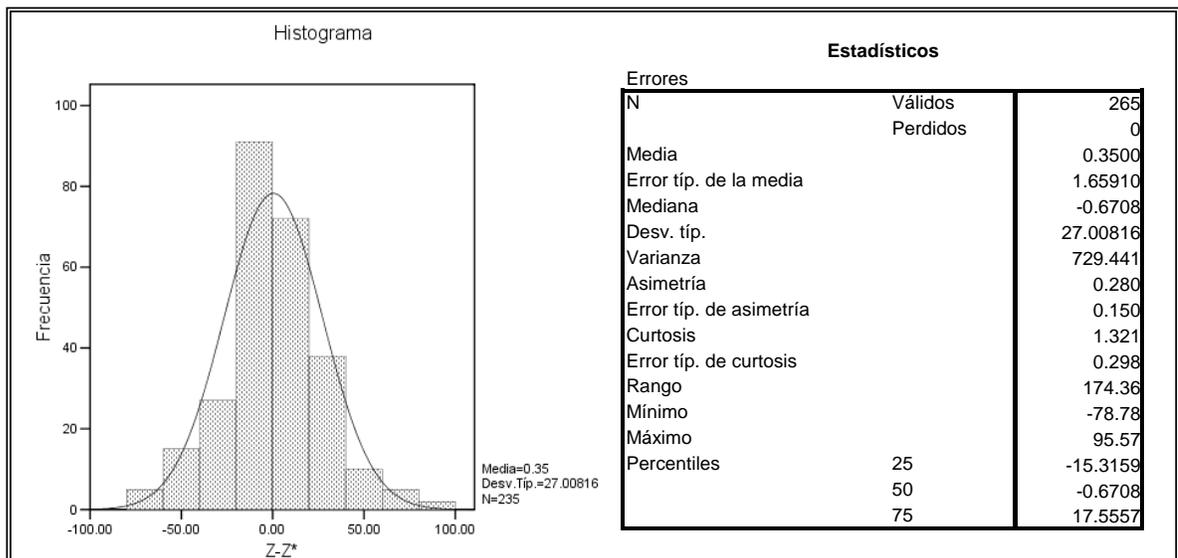


Figura 4.8 Histograma de los errores de estimación ($Z-Z^*$) para ENE

4.6 Estimación Espacial

Considerando que la variable es estacionaria de segundo orden o al menos intrínseca (sin tendencia específica), es decir, las diferencias son estacionarias de segundo orden, entonces podemos estimar la propiedad mediante kriging ordinario. Para el caso de la variable Elevación del Nivel Estático, se aplicó el método de kriging ordinario en bloque tomándose el semivariograma previamente modelado para esto. La estimación espacial se realizó en un área de 61.702 km por 73.125 km, utilizando una malla de 20 x 20 (Figura 4.9), obteniendo de igual forma el mapa de la desviación estándar del error de estimación (Figura 4.10).

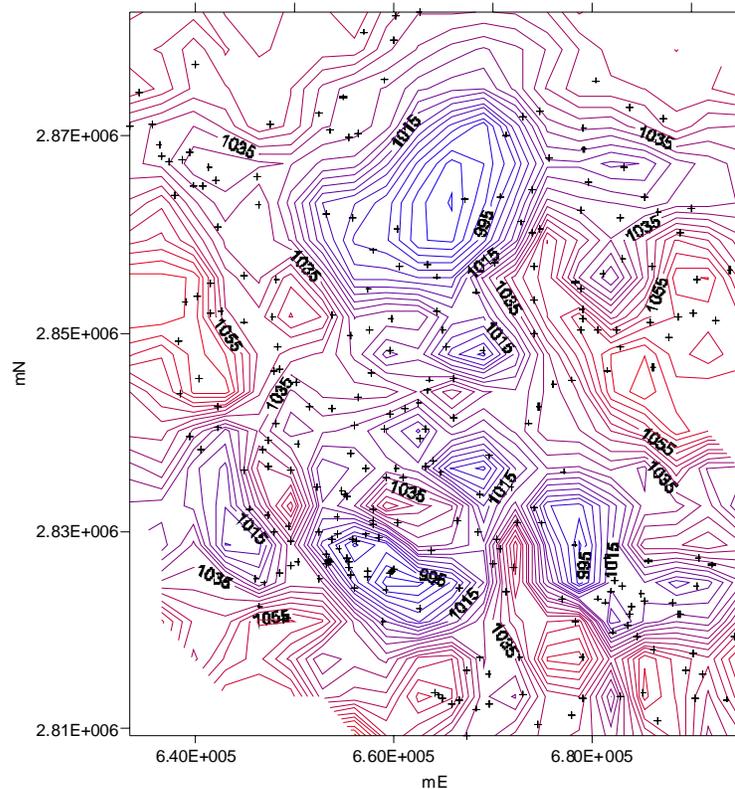


Figura 4.9 Mapa de contornos de la estimación por bloques de Elevación del Nivel Estático; el símbolo (+) representa la ubicación de los pozos.

El mapa de la desviación estándar del error de las estimaciones (Figura 4.10), muestra que los mayores errores se concentran en las zonas pobremente muestreadas, es decir, donde existen pocos puntos de medición.

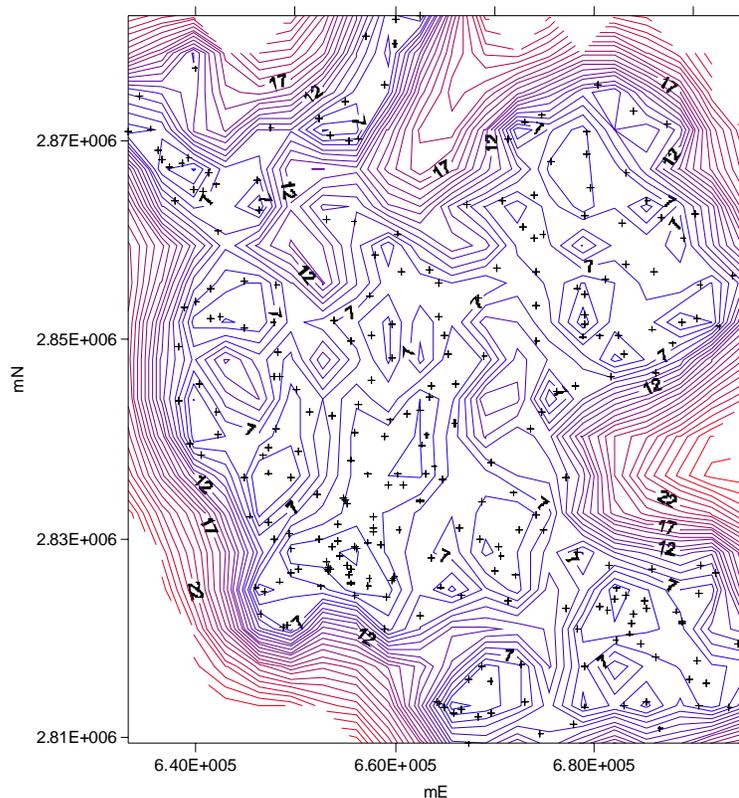


Figura 4.10 Mapa de contornos de la desviación estándar del error de estimación por bloques de Elevación del Nivel Estático; el símbolo (+) representa la ubicación de los pozos.

4.7 Optimización de la red.

4.7.1 Primer caso red “A”

Siguiendo el procedimiento descrito en 3.4, en el primer caso para la red “A”, y tomando en cuenta un total de 265 datos, el área se dividió en una malla de 100 puntos (10 x 10), utilizando la estimación con kriging ordinario en bloque, la desviación típica del error de estimación $\sigma_k(v)$ se calculó para todos los bloques. Se preparó una lista con los bloques que excedieron σ_c , el valor preestablecido fue $\sigma_c = 10.8$, el cual es mucho menor (35.6%) que el obtenido a partir de la muestra que es de $\sigma = 30.34$. La tabla 4.3 muestra el resumen del procedimiento.

Los grupos son el resultado del intercambio y eliminación de puntos de acuerdo al procedimiento descrito y su relación se encuentra en el Anexo 2. Como podemos observar en la Tabla 4.3 al final del proceso fue necesario considerar 19 puntos adicionales para compensar el error en las estimaciones, sobre todo en las zonas donde existe una fuerte deficiencia de información.

En la Figura 4.11 se muestra el mapa de la distribución de los pozos de la red óptima considerada para las observaciones establecidas anteriormente, correspondiente a la variable Elevación del Nivel Estático los pozos adicionales considerados están representados por el símbolo (●) y el sufijo (a), el número entre paréntesis en la leyenda indica la cantidad de pozos.

Tabla 4.3 Resultados de la red óptima de monitoreo “A”, para la variable Elevación del Nivel Estático.

Desviación típica del error de estimación del kriging σ_I								
Caso	Pozos de monitoreo existentes	Puntos adicionales de monitoreo	Mínimo	Media	Máximo	Número de nodos con $\sigma_i > \sigma_c$	(SCD)	Observaciones
I	Grupo 1	Ninguno	0.688	10.88	20.92	14	247.14	La red está dispersa
II	Grupo 2	1a, 2a, 3a, 4a, 5a	1.71	8.17	14.63	7	36.35	
III	Grupo 3	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 8a	0.71	6.71	12.72	4	6.60	
IV	Grupo 4	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a	0.41	5.97	11.53	2	0.67	La red está cerca del óptimo
V	Grupo 5	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a	1.06	5.66	10.27	0	0	La red puede hacerse más densa
VI	Grupo 6	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a	1.16	8.34	15.51	14	66.13	
VII	Grupo 7	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a, 13a, 15a	0.88	7.32	13.77	12	22.187	
VIII	Grupo 8	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a, 13a, 15a, 16a, 17a	0.62	6.44	12.27	13	12.68	
IX	Grupo 9	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a, 13a, 15a, 17a, 18a, 19a, 20a	0.88	6.49	12.10	7	6.02	
X	Grupo 10	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a, 13a, 15a, 17a, 19a, 20a, 21a, 22a, 23a	0.88	6.33	11.78	4	2.03	
XI	Grupo 11	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a, 13a, 15a, 17a, 19a, 20a, 21a, 22a, 23a, 24a	0.71	6.12	11.54	3	0.83	
XII	Grupo 12	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a, 13a, 15a, 17a, 19a, 20a, 21a, 22a, 24a, 25a	0.71	5.81	10.92	1	0.0136	La red está cerca del óptimo
XIII	Grupo 13	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 10a, 11a, 13a, 17a, 19a, 20a, 21a, 22a, 24a, 25a, 26a	0.71	5.72	10.74	0	0	La red es óptima

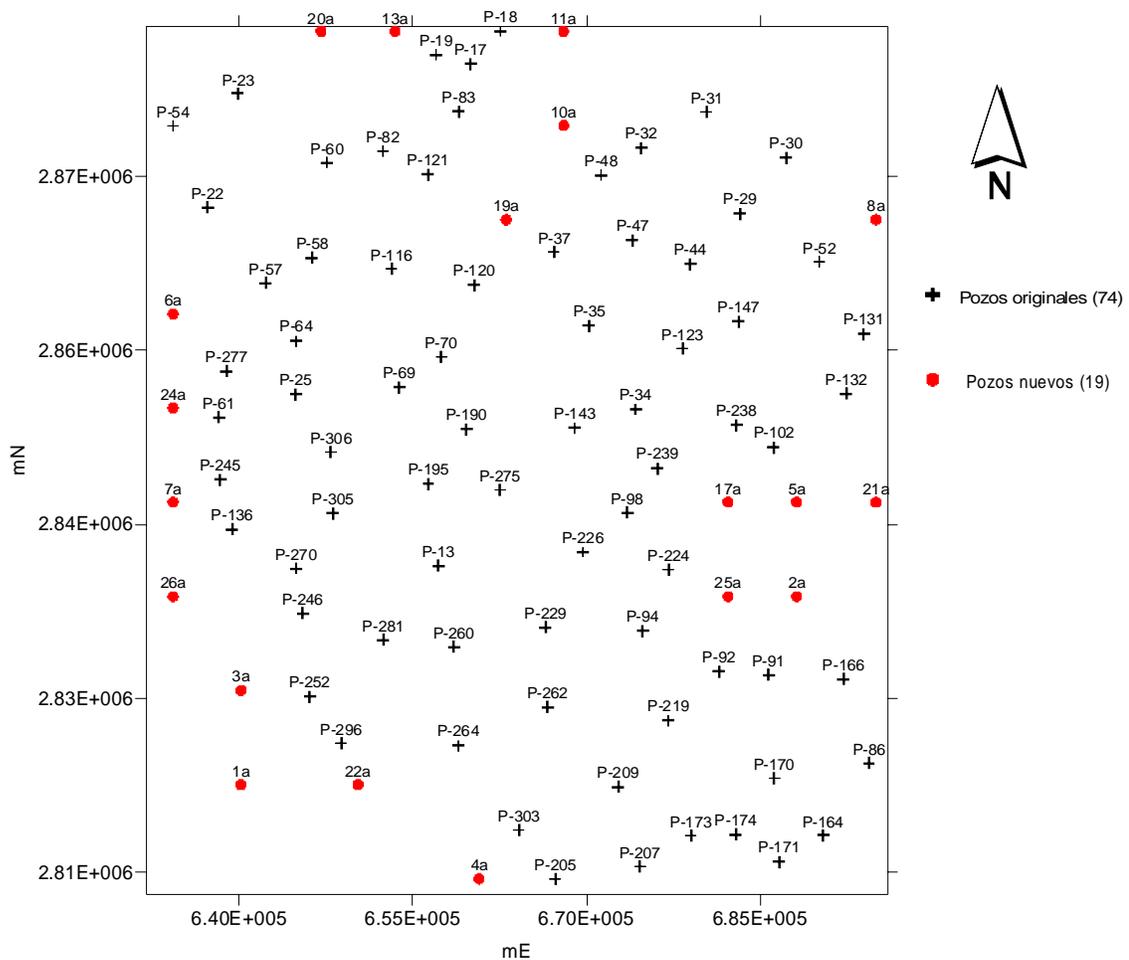


Figura 4.11 Red óptima de monitoreo “A”, propuesta para la variable Elevación del Nivel Estático, el número entre paréntesis indica la cantidad de pozos.

4.7.2 Caso Segunda red “B”

Para el caso de la segunda red “B”, se consideró un total de 388 puntos, de los cuales 265 cuentan con dato de la variable “Elevación del Nivel Estático”, siendo idénticos al caso de la primera red “A”, y 123 datos adicionales, de los cuales solamente se considerarán las coordenadas para fines de evaluación. Al igual que en el caso de la primera red, el área se dividió en una malla de 100 puntos, utilizando la estimación con kriging ordinario en bloque y, la desviación típica del error de estimación $\sigma_k(v)$ se calculó para todos los bloques. Se preparó una lista con bloques que excedieron σ_c , el valor preestablecido fue $\sigma_c = 11.48$, el cual es mucho menor (37.8%) que el obtenido a partir de la muestra que es de $\sigma = 30.34$. La tabla 4.4 muestra el resumen del procedimiento.

La relación de cada grupo se encuentra en el Anexo 3. Como podemos observar en la Tabla 4.4 al final del proceso fue necesario considerar 16 puntos adicionales para compensar el error en las estimaciones, sobre todo en las zonas donde existe una fuerte deficiencia de información.

En la Figura 4.12 se muestra el mapa de la distribución de los pozos de la red original considerada en el segundo caso (■) y los puntos adicionales establecidos (+) para las observaciones correspondientes a la variable Elevación del Nivel Estático.

Tabla 4.4 Resultados de la red óptima de monitoreo “B”, para la variable Elevación del Nivel Estático.

Desviación típica del error de estimación del kriging σ_I								
Caso	Pozos de monitoreo existentes	Puntos adicionales de monitoreo	Mínimo	Media	Máximo	Número de nodos con $\sigma_i > \sigma_c$	(SCD)	Observaciones
I	Grupo 1	Ninguno	0.94	11.48	22.03	17	449.29	La red está dispersa
II	Grupo 2	1a, 2a, 3a, 4a, 5a	0.93	8.33	15.73	12	69.10	
III	Grupo 3	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 8a, 9a, 18a	0.60	7.18	13.76	8	16.06	
IV	Grupo 4	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 8a, 9a, 12a, 14a, 15a, 18a	0.48	7.08	13.67	4	8.77	
V	Grupo 5	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 8a, 9a, 12a, 14a, 15a, 18a, 19a	0.48	6.51	12.54	2	1.80	
VI	Grupo 6	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 12a, 14a, 15a, 18a, 19a	0.486	6.40	12.32	1	0.7	La red está cerca del óptimo
VII	Grupo 7	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 12a, 14a, 15a, 18a, 19a	0.486	5.71	10.94	0	0	La red puede hacerse más densa
VIII	Grupo 8	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 12a, 14a, 15a, 18a, 19a	0.52	8.25	15.98	14	61.30	
IX	Grupo 9	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 12a, 14a, 15a, 18a, 19a, 20a	0.28	6.99	13.71	9	16.39	
X	Grupo 10	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 11a, 14a, 15a, 18a, 19a, 20a, 21a, 22a	0.60	6.67	12.75	5	5.25	
XI	Grupo 11	1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 11a, 14a, 15a, 18a, 19a, 20a, 21a, 22a, 23a, 24a, 25a	0.60	6.18	11.76	1	0.075	La red está cerca del óptimo
XII	Grupo 12	4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 11a, 14a, 19a, 20a, 21a, 22a, 23a, 24a, 25a, 26a	1.04	6.24	11.44	0	0	La red es óptima

En la Figura 4.13 se muestra la Red óptima de monitoreo propuesta para el acuífero de la Comarca Lagunera considerando el segundo caso, y para las condiciones de varianza límite establecidas con anterioridad.

4.7.3 Comparación de redes

Resulta adecuado una vez realizado el diseño de la nuevas redes de observación, la comparación de éstas con la red anterior o actual (REPDa), en términos de las propiedades de cada una y verificar, si es el caso, las mejoras hechas por las redes propuestas.

Como parte de esta verificación, es conveniente llevar a cabo la medición de la variable en los nuevos puntos propuestos, y realizar nuevamente la modelación geoestadística, obteniendo los mapas de la distribución de los errores de estimación y, de esta forma, corroborar si el límite de error máximo permitido es adecuado o requiere ajustarse a nuevas condiciones, si es que existen, mostradas por la variable.

Para realizar la comparación entre la red actual y las redes propuestas en este trabajo, es suficiente comparar sus respectivas varianzas de estimación resultantes de la aplicación del kriging.

Como se expuso anteriormente, se espera que los valores obtenidos para la desviación estándar del error de estimación sean menores que un valor determinado σ_c , y de esta manera, también la estimación de la propiedad, no se vea afectada en referencia a la obtenida con la red actual, debido a que no existe un incremento marcado de la varianza, resultado de la significativa reducción de puntos de medición.

En las figuras 4.14 y 4.16 se muestran los mapas de distribución de la desviación estándar del error de estimación, los cuales indican que la nueva red propuesta “A”, es mejor que la red actual (REPDa). Esto está cuantificado y mostrado en las figuras 4.15 y 4.17, en donde se presentan los histogramas correspondientes a la distribución del error de estimación para la red actual y la red óptima “A”, respectivamente; en ellos vemos que los valores medios ($8.98 > 6.00$) y las varianzas ($15.36 > 5.30$) son menores en la nueva red, por lo que la calidad de la estimación se espera sea similar a la red actual, a pesar de la drástica reducción de pozos a monitorear. Ahora bien, comparando las Figuras 4.16 y 4.18 en las cuales se muestran los mapas de distribución de la desviación estándar del error de estimación para la red propuesta “A”, y la red para el 2° Caso “B”, se aprecia una gran similitud entre ambos mapas lo cual se corrobora al comparar sus respectivos estadísticos mostrados en las Figuras 4.17 y 4.19, en donde se aprecia que los valores medios ($6.19 > 6.00$) y sus varianzas ($5.31 > 5.30$) son muy próximos entre si, lo que nos indica que con cualquiera de las redes “A” y “B”, se obtendrán estimaciones muy similares.

La comparación anterior se refleja en que la red actual (REPDa), dispone de 265 pozos para realizar las mediciones y estimaciones de la variable; mientras que, la red “A” propuesta consta de 74 datos de pozos, más 19 puntos nuevos de medición considerados, (una reducción del 72.0% de los puntos originales); en tanto que la red “B”, propuesta, consta de 70 puntos de medición, mas 3 puntos adicionales y un total de 16 puntos nuevos propuestos con la metodología empleada, lo que representa una reducción del 73.5% de los puntos originales. Lo anterior se resume en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Comparación de resultados obtenidos para las diferentes redes consideradas

Parámetro	Red Actual (REPDa)	Red óptima “A”	Red óptima “B”
<i>Pozos iniciales</i>	265	265	265
<i>Pozos adicionales</i>	0	0	123
<i>Pozos resultantes</i>		74	70
<i>Pozos nuevos considerados</i>	0	19	16
Reducción (%)	0	72.07	73.58
<i>Distribución del error de estimación</i>			
<i>Media</i>	8.98	6.00	6.19
<i>Varianza</i>	15.36	5.30	5.31
<i>Desviación Estándar</i>	3.92	2.30	2.30

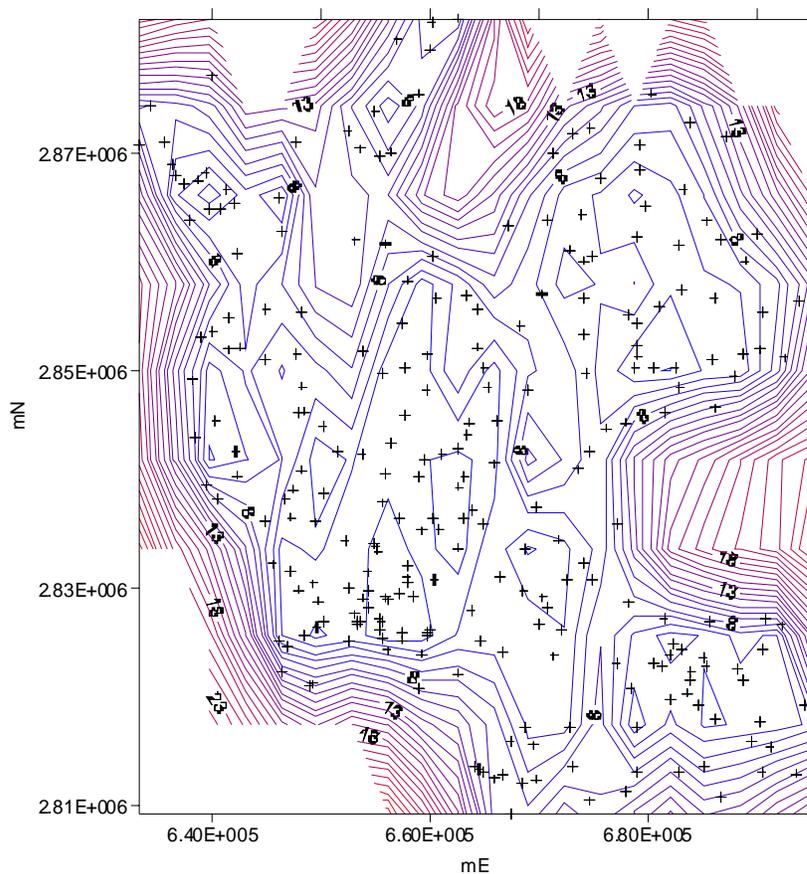


Figura 4.14 Mapa de la distribución de la desviación estándar del error de estimación de la variable Elevación del Nivel Estático para la red actual (REPDA), el símbolo (+) representa la ubicación de los pozos.

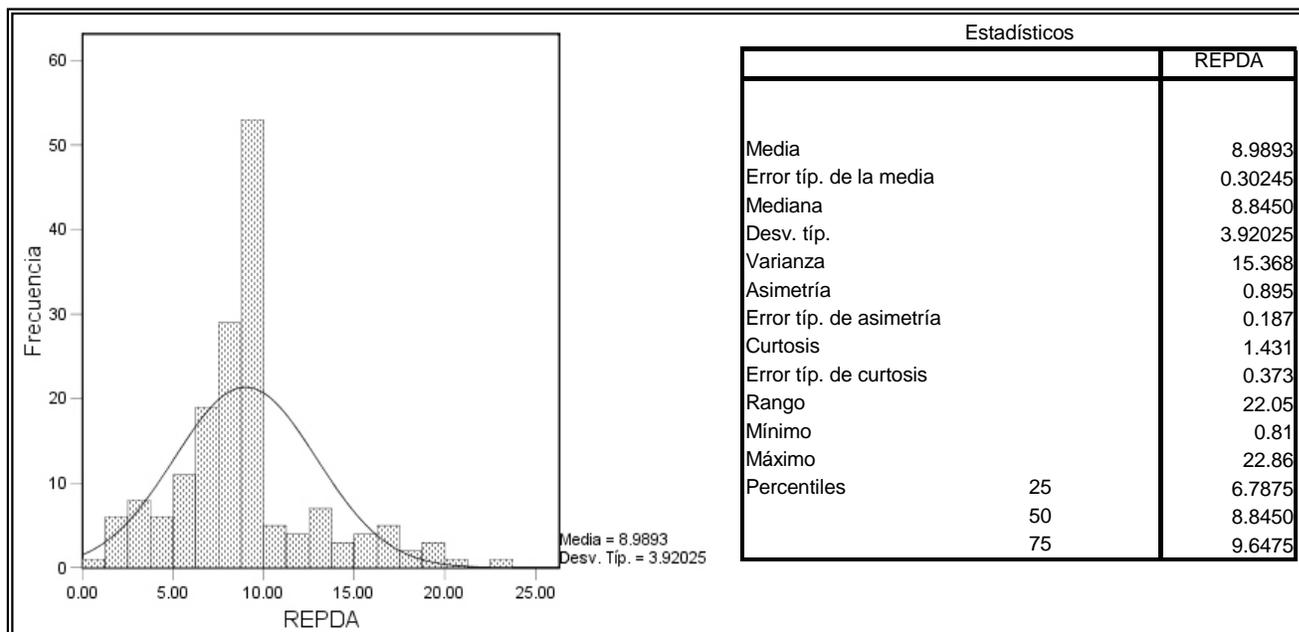


Figura 4.15 Histograma de los valores de la desviación estándar del error de estimación de la red actual (REPDA)

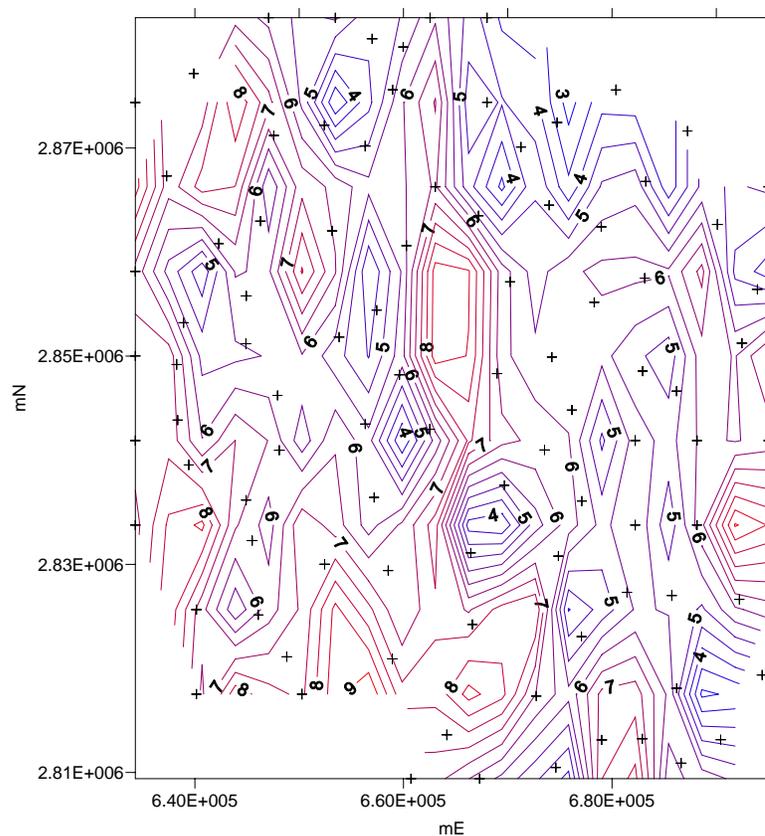


Figura 4.16 Mapa de la distribución de la desviación estándar del error de estimación de la variable Elevación del Nivel Estático para la red propuesta “A”, el símbolo (+) representa la ubicación de los pozos.

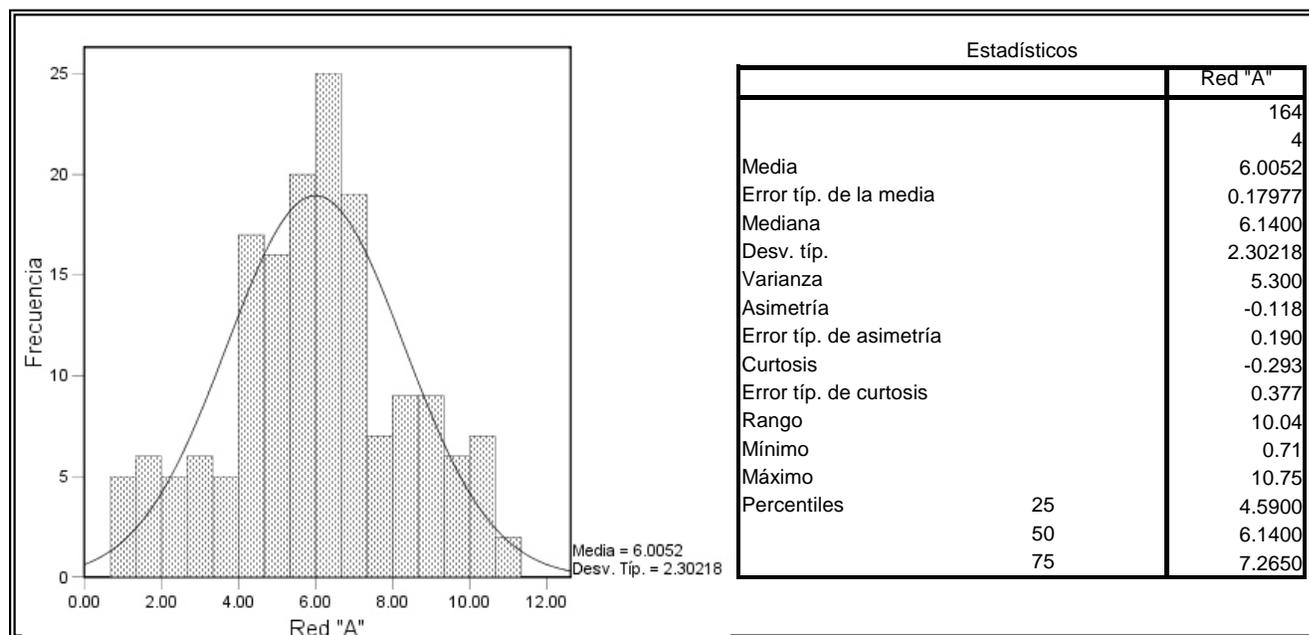


Figura 4.17 Histograma de los valores de la desviación estándar del error de estimación de la red propuesta (“A”).

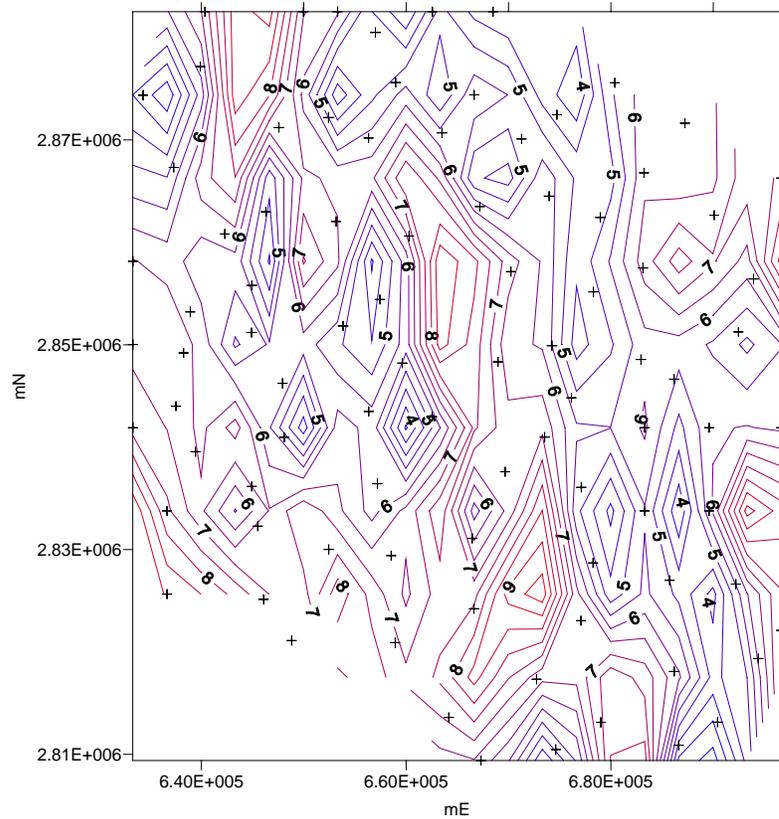


Figura 4.18 Mapa de la distribución de la desviación estándar del error de estimación de la variable Elevación del Nivel Estático para la red propuesta ("B"), el símbolo (+) representa la ubicación de los pozos.

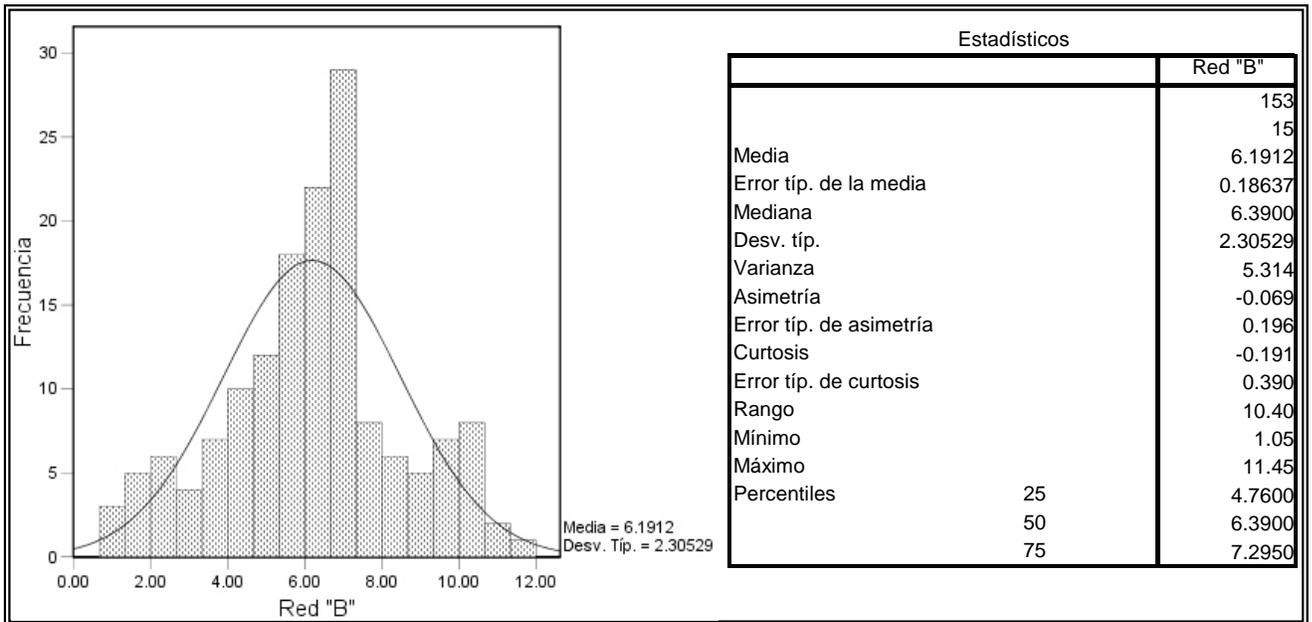


Figura 4.19 Histograma de los valores de la desviación estándar del error de estimación de la red propuesta ("B").

5. DISCUSIÓN

En la mayoría de las zonas donde el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de agua para usos diversos, los Programa de Monitoreo en general no existen o son escasos, como resultado de la falta de presupuesto, interés, o conocimiento de los problemas relacionados con este recurso, como es el caso del acuífero principal de la Comarca Lagunera.

Éste, como la mayoría de los acuíferos del país, exhiben uso intensivo y contaminación marcadas, debido esencialmente a la falta de un monitoreo regular y al limitado control que de él se tiene.

En este trabajo se ha presentado un método para el rediseño óptimo o subóptimo de una red de monitoreo utilizando kriging ordinario en bloque. El diseño puede considerarse como una de las etapas primarias y básicas del Programa de Monitoreo. Aunque en las etapas iniciales no se dispone de una cantidad suficiente de datos para realizar el diseño de la red, es posible llevar a cabo diversos procedimientos (por ejemplo una simulación), y con base en ellos, obtener un primer diseño de la red tomando en cuenta diferentes aspectos de la región o acuífero a evaluar, tales como la geología, su geometría, accesibilidad, etc.

Así, el diseño de redes y los métodos se preparan y diseñan para:

- a) obtener valores óptimos de los parámetros de muestreo en el sitio elegido, como puntos de muestreo, densidad en espacio, frecuencia en el tiempo, y precisión esperada.
- b) Construir mapas predictivos e identificar límites entre formaciones geológicas, suelos contaminados, etc.
- c) Proveer el modelo necesario para el manejo del sitio, planeación y toma de decisiones.

La estrategia para el rediseño de una red de monitoreo (o muestreo), es tomar en cuenta aspectos tales como el algoritmo de búsqueda (de acuerdo con un criterio de optimalidad), y el objetivo en el diseño de la red.

Esencialmente, el dato principal que se necesita en el rediseño de la red de observación utilizando la metodología geoestadística, es la función de correlación. En ésta se incluye toda la información inherente a la estructura de la variable a medir, y para tener un buen conocimiento de ella, es necesario un buen conocimiento de la información existente, es decir, efectuar un Análisis Exploratorio de los Datos (AED), el cual es esencial para determinar si existen posibles errores en la información, o bien, la presencia de valores extraños que puedan afectar el análisis posterior de la variable y, por consiguiente, el cálculo de la función de correlación.

De acuerdo con Cressie (1991), si se presentan grandes errores en la estimación de los parámetros de la función de correlación, pueden manifestarse en diseños muy diferentes del óptimo o subóptimo. Así por ejemplo, un alcance grande tiende a favorecer puntos alejados de la zona de estudio. Sin embargo, se espera que la solución no sea excesivamente sensible a pequeñas variaciones en la función. La selección de un determinado esquema de observación, no depende del valor absoluto de la varianza, sino de su variación relativa entre los distintos esquemas. Esta es una de las características más robustas del kriging por lo que se espera una baja sensibilidad de los resultados a los parámetros del semivariograma.

Si bien es cierto que los diseños óptimos son difíciles de determinar, aún en una dimensión, se pueden conocer soluciones subóptimas solo bajo ciertas situaciones (Christakos, 1992), como es el caso del método desarrollado en este trabajo para redes locales.

Ahora bien, el procedimiento desarrollado en este trabajo y propuesto por Ahmed (2004), permitió el análisis de una red de medidas de Elevación del Nivel Estático, preexistentes en forma dispersa y en parte aglomerada en la región de La Laguna, en una red óptima o subóptima de acuerdo con una precisión determinada, utilizando una guía en la forma de σ_k para decidir dónde se colocan puntos de medición adicionales, intercambiar las

posiciones, o bien la eliminación de puntos de medida en el caso de una alta concentración, como sucede en las zonas urbanas del área de estudio.

Dado que el valor de σ_k sirve como guía para el proceso de optimización, se debe tener cuidado al momento de elegir el valor para este parámetro, ya que si se es demasiado pequeño, el número de puntos adicionales necesarios para compensar el error de estimación aumenta considerablemente y con ello, las demás situaciones que lo acompañan (costo, tiempo, etc.); mientras que por el contrario si se elige un valor elevado puede no llegar a modificarse en lo absoluto la red existente.

La metodología propuesta no impone restricciones sobre el kriging. Además, puede aplicarse al diseño de redes de monitoreo de cualquier variable que pueda considerarse regionalizada: campos de transmisividad, carga hidráulica, parámetros de calidad de agua, parámetros atmosféricos, química de suelos, etc.

El método puede fácilmente ampliarse a problemas multiobjetivos. Este puede ser el caso para puntos de medición (pozos o barrenos) con diferentes variables (medida de niveles, transmisividades y calidad de agua), o estimaciones simultáneas de valores promedio sobre diferentes subregiones. En el primer caso, cada vez que las funciones muestran correlación, se puede emplear el método de cokriging. En el caso de estimaciones simultáneas sobre diferentes subregiones, la correspondiente varianza de estimación define los objetivos, y pueden emplearse técnicas para resolver problemas de programación multiobjetivos.

Con los datos obtenidos a partir de las nuevas localizaciones de los puntos de medida, se pueden observar los efectos en las medidas de manejo del acuífero, de acuerdo con el ciclo de la cuenca donde se aloja y que requiere de un ciclo simultáneo de monitoreo y reporte.

Finalmente, la metodología presentada, no debe considerarse como sustituto del estudio cualitativo y cuantitativo, sino como una herramienta complementaria, y que puede ayudar en mucho a un mejor manejo de las situaciones que se estén analizando.

6. CONCLUSIONES

La mayoría de los pozos utilizados en el presente trabajo, se ubican dentro de la zona del acuífero, y son empleados para realizar mediciones de Elevación del Nivel Estático, además de la medición de otras variables como columna litológica, calidad del agua, transmisividad, etc. Los datos incluidos en este trabajo se consideran suficientes (se consideran una muestra pequeña, ya que se tiene conocimiento de que en la región existen más de 3500 pozos), pues se logró obtener a partir de ellos el modelo geoestadístico para la propiedad en estudio.

Del análisis geoestadístico efectuado a la variable “Elevación del Nivel Estático”, encontramos que para la muestra de 265 datos, sus estadísticos son cercanos a los de una distribución normal y no se pudo advertir la presencia de valores extraños en la muestra.

El semivariograma de la variable muestra un comportamiento acotado a nivel de la varianza por lo que consideramos a la variable como estacionaria o al menos intrínseca, y así se logró desarrollar el método de kriging ordinario.

La anisotropía expresada en el semivariograma a 45° no permite asegurar que se deba propiamente al comportamiento de la variable, ya que para ello necesitaríamos una mayor cantidad de datos. Posiblemente se deba a la insuficiente cantidad de datos, sobre todo en las partes al SW y E de la zona de trabajo que corresponden con la presencia y orientación de las Sierras.

Para la validación del modelo de semivariograma, si bien es cierto que los estadísticos de la distribución de los errores están alejados de los valores esperados, sobre todo la varianza, no podemos asegurar que exista tendencia en la variable, esto debido a la escasez de información en ciertas zonas del área y que influyen de manera importante en la obtención del modelo geoestadístico; sin lugar a dudas, un mejor modelo se obtendría si se dispusiera de una mayor cantidad de información.

El mapa de estimación de la variable Elevación del Nivel Estático, obtenido con kriging ordinario en bloque, muestra que existen ciertas zonas hacia el centro y sur del valle donde se tienen grandes deflexiones en el nivel (conos), las cuales corresponden con las zonas de mayor concentración de pozos (al sur), y los principales centros poblacionales de la región, se puede dar mayor atención a estas, con una pequeña modificación del método, en la que se establezca un valor de σ_c diferente para estas zonas.

El mapa de la distribución de la desviación estándar del error de estimación para la variable “Elevación del Nivel Estático”, muestra que los errores más grandes se tienen en las zonas más alejadas del área de estudio, las cuales corresponden a las zonas en donde existe insuficiencia de datos.

Para el caso de la primera red “A”, la precisión establecida fue de $\sigma_c = 10.8$ un 35.6% de la desviación estándar original; este valor se determinó después de realizar la estimación de la variable sobre toda el área utilizando las medidas proporcionadas por la red actual y, para compensar la desviación estándar del error de estimación, fue necesario agregar un total de 19 puntos nuevos a la red. Además, pudo eliminarse un total de 191 puntos de medición de la red actual (REPDA), que representan el 72.07% del total considerado, para llegar a la solución óptima, obteniendo con ello, la desviación estándar del error de estimación por debajo del valor prefijado.

En el caso de la segunda red considerada “B”, la precisión fue de $\sigma_c = 11.4$, valor que representa el 37.8% de la desviación estándar original, además se tenía contemplado la adición de un total de 123 puntos de medición auxiliares, además de los 265 considerados originalmente; una vez realizado el proceso de optimización, fue necesario incluir un total de 16 puntos nuevos de medición, considerados de acuerdo con la distribución de la desviación estándar del error de estimación y se tuvo una reducción de 195 pozos de los 265 originales, lo que representa un 73.58% menos, y de los 123 un total de 120 fueron eliminados (97.56%) de acuerdo con la distribución del error, y solo 3 fueron considerados dentro del diseño óptimo de la red.

Comparando ambos resultados, observamos que las dos redes propuestas, proporcionan aproximadamente la misma cantidad de pozos (74 en el primer caso y 70 para el segundo), sus diferencias en cuanto a sus estadísticos son cercanas entre si. En cuanto al número de puntos nuevos adicionales considerados en ambos casos, vimos que en el primer caso es necesario considerar 19, mientras que para el segundo, solamente 16 más 3 adicionales considerados al principio. Este hecho refleja una mejoría proporcionada por la segunda red, debido a una pequeña reducción en la cantidad de pozos nuevos considerados y una mejor distribución de los puntos adicionales contemplados en un inicio, que seguramente influyeron en los resultados. Sin lugar a dudas ambas redes proporcionaran una buena estimación de la variable, y el error de estimación se espera no sea muy diferente entre ambas redes, considerando lo robusta de la metodología.

La cantidad de puntos adicionales para conducir la red al óptimo o subóptimo es función del valor prefijado de σ_c y de la densidad de la malla, ya que si el valor prefijado es pequeño, se necesita incrementar de manera considerable la cantidad de puntos adicionales en la red para conducirla al óptimo o subóptimo, lo mismo sucede si el error considerado es alto, ya que, prácticamente no es necesario agregar más allá de 1 o 2 puntos de medición adicionales o posiblemente, la red no sufra modificación alguna.

Obtener un mapa de contornos de la estimación de la Elevación Nivel Estático o predecirla en cualquier punto sin medida, puede lograrse con la precisión establecida si se utiliza cualquiera de las redes propuestas, sabiendo que el Nivel Estático es un parámetro que varía con el tiempo y que requiere de medidas frecuentes.

En este trabajo se empleó esta metodología para el acuífero de La Laguna, pero el procedimiento puede emplearse en cualquier área y para cualquier tipo de variable regionalizada en estudio (química, suelos, atmosférica, etc.), y servir como guía de programas de monitoreo en cualquier región, para un manejo más adecuado de los recursos y los costos.

ANEXOS

ANEXO 1 REPDA

Clave de Estado	Clave de Acuífero	Número piloto_IGC	CLAVE CNA	Elev. del Brocal	FECHA DE MEDICION	PNE_2005	TEMPE (°C)	pH	C.E. (µs)	SALINIDAD (ppm)	ALTURA BROCAL (CM)	TIPO BOMBA	DESCARGA (")	ADEME (")	GASTO (LPS)	OBSERVACIONES
10	523	P-1	2475	1112.00	14/07/2005							VERTICAL	8			NO SE LE MIDIO EL NIVEL ESTÁTICO PORQUE TIENE POCO SIN OPERAR
5	523	P-10	1232	1150.00	11/07/2005	113.41						VERTICAL	8			POZO AGRICOLA
5	523	P-100	1521	1109.00	20/07/2005		30.4	7.21	2649	1328	25	VERTICAL	8			TIENE MANGUERA PARA SONDEARSE CON BOMBA NEUMÁTICA. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-101	2527	1120.00	20/07/2005	48.37					57	VERTICAL	6	12		ESTE POZO NO CUENTA CON MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-102	1331	1119.63	20/07/2005	52.38					N.T.	VERTICAL	6			
10	523	P-103	166	1110.00	18/07/2005		27.1	7.33	4000	2000		VERTICAL	8			
10	523	P-104	541	1115.00	18/07/2005											POZO SECO, DESEQUIPADO Y ABANDONADO
10	523	P-105	2746	1109.00	14/07/2005							SUMERGIBLE	2			NO SE PUDO MEDIR, PORQUE LA Sonda SE ATORO
10	523	P-106		1110.00	14/07/2005											POZO AZOLVADO Y ESTA DESEQUIPADO
10	523	P-107	568	1110.00	18/07/2005		31.8	7.31	2001	1001		SUMERGIBLE	8			POZO AGRICOLA OPERANDO. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-108		1124.00	18/07/2005	70.27										POZO ABANDONADO
	523	P-109	2884	1112.00	14/07/2005	100.84						SUMERGIBLE	4			POZO AVICOLA
5	523	P-11	841	1124.00	25/07/2005	101.40					29	VERTICAL	4	8		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-110		1110.00	14/07/2005	93.79										POZO AGRICOLA, DESEQUIPADO
10	523	P-111	2751	1108.50	14/07/2005		33	7.56	2539	1266		VERTICAL				NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-112		1120.00	09/07/2005	44.78						N.T.				POZO ABANDONADO Y DESEQUIPADO
10	523	P-113		1110.00	13/07/2005							SUMERGIBLE	4			NO SE TOMO MUESTRA DE AGUA PORQUE TIENE SISTEMA DE CLORACIÓN. EL POZO SE ENCONTRÓ OPERANDO
10	523	P-114	1898	1110.00	13/07/2005		30.5	7.82	500	249		VERTICAL	8		35	
10	523	P-115	1640	1113.00	13/07/2005		32.7	7.91	484	243		VERTICAL		8		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO TIENE CANDADO
10	523	P-116	596	1104.00	13/07/2005		34	8.02	2119	1058		VERTICAL	8			POZO OPERANDO. TIENE MEDIDOR PERO NO FUNCIONA CORRECTAMENTE
10	523	P-117	495	1111.00	13/07/2005											POZO SECO, DESEQUIPADO Y ABANDONADO
10	523	P-118	1502	1109.00	13/07/2005		32.48	8.28	364	182		VERTICAL	8		41.44	
10	523	P-119	646	1105.00	13/07/2005		33.9	8.46	295	145		VERTICAL	8			TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA CORRECTAMENTE.
10	523	P-12	TERESA	1127.00	26/07/2005											AZOLVADO, LA Sonda SALE LLENA DE LODO
10	523	P-120	670	1105.00	13/07/2005		33.2	8.24	376	188		VERTICAL	8		35	
10	523	P-121		1100.00	12/07/2005											POZO CLAUSURADO
5	523	P-122	885	1107.00	23/07/2005		31.8	7.6	925	466		VERTICAL	8			NO SE PUDO SONDEAR. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-123	884	1108.00	23/07/2005		31.4	8.23	706	354	N.T.	VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
5	523	P-124	889	1108.00	23/07/2005		28.2	7.3	2643	1326		VERTICAL	8		15	
5	523	P-125	2127	1109.50	23/07/2005	36.05						VERTICAL	8			TIENE MEDIDOR DE CAUDAL PERO ESTA CON CANDADO

5	523	P-126	4206	1108.00	21/07/2005		27.1	7.13	4000	2000		VERTICAL	6			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-127		1108.00	21/07/2005	85.67						VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-128	912	1104.00	21/07/2005		25.5	7.3	2302	1150		VERTICAL	8		55	
5	523	P-129	911	1100.26	21/07/2005	47.45							8			POZO EN MANTENIMIENTO. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-13	PIEZOM. STA TERESA	1123.00	25/07/2005	107.76										
5	523	P-130	1725	1112.00	21/07/2005		27.3	7.26	2633	1482	N.T.	VERTICAL	8		32.08	
5	523	P-131	1675	1099.60	23/07/2005							VERTICAL	8			TIENE ABEJAS Y NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-132	932	1100.00	21/07/2005	49.70						VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-133		1100.00	20/07/2005							VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-134	1056	1100.00	20/07/2005		28.5	8.06	1500	750		SUMERGIBLE	8		38	
10	523	P-135		1120.00	09/07/2005	101.69							32		16	POZO ABANDONADO Y DESEQUIPADO
10	523	P-136	1329	1148.00	18/07/2005	114.78					N.T.	VERTICAL	4			ESTE POZO TENIA UN DIA SIN OPERAR AL MOMENTO DE TOMAR EL DATO DE N.E.
10	523	P-137		1120.00	14/07/2005	83.02							40		16	POZO NUEVO, SIN EQUIPO INSTALADO.
5	523	P-138		1129.00	13/07/2005											ESTE POZO TIENE TRES MESES DE ESTAR CEGADO. HAY UN POZO A 3 METROS DE ESTE, SIN EMBARGO, TAMPOCO REGISTRO AGUA.
5	523	P-139	4074	1140.00	13/07/2005		26.8	7.51	1053	526	26	VERTICAL	6		12.86	SE OBSERVA EN LA DESCARGA LIBRE QUE BOQUEA. NO TIENE ESPACIO PARA INTRODUCIR LA SONDA.
10	523	P-14	TERESA	1118.00	09/07/2005	44.85										EN LA PLACA DICE PIEZOMETRO N. 96N
5	523	P-140	4189	1125.00	12/07/2005		25.8	7.91	353	175	63	VERTICAL	8		58.42	SE PUEDE MEDIR CON MANGUERA NEUMATICA
5	523	P-141	2486	1125.00	11/07/2005	158.25							SUMERGIBLE		8	TENIA 4 HORAS DE HABER SIDO PARADO, EL DATO DE NIVEL ESTÁTICO SE TOMO POR MEDIO DE UNA NEUMATICA QUE EL POZO YA TIENE INSTALADA. ESTE POZO ES CONOCIDO DENTRO DE LA PLANTA CON EL NO. 1
10	523	P-142	2889	1125.00	11/07/2005								SUMERGIBLE			TENIA 7 DIAS DE ESTAR PARADO EL POZO. EL DATO DE NIVEL ESTÁTICO SE TOMO POR MEDIO DE UNA NEUMATICA QUE EL POZO YA TIENE INSTALADA. ESTE POZO ES CONOCIDO DENTRO DE LA PLANTA CON EL NO. 3. LAS COORDENADAS SON APROXIMADAS
10	523	P-143	1733	1105.00	20/07/2005	126.67					19	VERTICAL	8	12	30	COMENZO A REGISTRAR AGUA A LOS 120 METROS.
10	523	P-144	520	1118.00	11/07/2005		26.2	7.43	278	139	20	VERTICAL	8	10	32	NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL. TIENE 15 DIAS OPERANDO.
10	523	P-145	457	1120.00	22/07/2005	97.52					N.T.	VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
10	523	P-146		1120.00	09/07/2005	155.43							13			NO TIENE MEDIDOR. EN LA PLACA TIENE MARCADO EL NUMERO 459
5	523	P-147	1104		21/07/2005	86.15										EL MEDIDOR ESTA DESTRUIDO
5	523	P-148	1882	1100.00	20/07/2005											TIENE ABEJAS
5	523	P-149	2434	1100.00	20/07/2005	116.41										
10	523	P-15	479	1118.00	11/07/2005		25.3	7.25	752	375		VERTICAL			80	NO TIENE POR DONDE MEDIRSE
5	523	P-150	410	1100.00	19/07/2005											POZO CLAUSURADO EL 28-04-2003
	523	P-151		0.00	22/07/2005		31	7.7	2467	1231	14	VERTICAL	8	10		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA.
	523	P-152	1917	0.00	22/07/2005		29.5	7.2	2354	1176	32	SUMERGIBLE	6	18	10	
10	523	P-153	2075	1150.00	18/07/2005	73.78							60		10	POZO ABANDONADO Y DESEQUIPADO
5	523	P-154	PIEZOM. LA CONCHA	1116.00	08/07/2005	113.36										
	523	P-155	436	0.00	25/07/2005											POZO SELLADO CON PLACA DE CONCRETO. SE SUSTITUYO CON EL P-320
5	523	P-156	743	1118.00	11/07/2005	103.75										
5	523	P-157	350	1100.00	08/07/2005	110.85							10			POZO PARADO DESDE HACE 2 ANOS, POR CAMBIO DE USO DE AGRICOLA A PUBLICO-URBANO. NO TIENE MEDIDOR DE GASTO

5	523	P-174	1809	1124.00	08/07/2005		26.9	7.15	1801	898		VERTICAL	8		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA BIEN.	
	523	P-175	1212	0.00	22/07/2005										POZO DESEQUIPADO Y AZOLVADO	
5	523	P-176		1125.00	08/07/2005		26	6.91	4000	2000		VERTICAL	6		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.	
5	523	P-177	1799	1117.40	08/07/2005	102.18										
5	523	P-178		1126.00	21/07/2005	123.27					N.T.	VERTICAL	6		ESTE POZO TIENE 35 CM DE DESCARGA DE 8" Y DESPUES SE REDUCE A 6" DIAM.	
	523	P-179		0.00	21/07/2005										POZO TAPADO CON PLACA DE CONCRETO.	
10	523	P-18	1339	1093.07	12/07/2005	48.60						VERTICAL			NO TIENE MEDIDOR DECAUDAL	
10	523	P-180	240	1129.00	12/07/2005	118.35						18	VERTICAL	8	ESTE POZO NO CUENTA CON MEDIDOR DE CAUDAL, SE REGISTRO ACEITE EN ESTE POZO A LOS 109 METROS APROXIMADAMENTE. AL MOMENTO DE TOMAR EL DATO DE NIVEL ESTÁTICO TIENE 2 DIAS SIN OPERAR.	
10	523	P-181	241	1128.00	13/07/2005	115.61						45	VERTICAL	8	10	EL MEDIDOR DE CAUDAL, NO FUNCIONA.
	523	P-182	3885	0.00	19/07/2005		26.2	7.66	1156	577			VERTICAL	6		POZO UBICADO DENTRO DE LA FABRICA DE HILOS
10	523	P-183	EXP-2	1124.00	11/07/2005	128.94						33			DESEQUIPADO	
10	523	P-184	315	1124.00	26/07/2005		25.8	7.55	1168	584			SUMERGIBLE	6		USO AVICOLA
5	523	P-185	1549	1123.00	08/07/2005		25.5	7.13	929	463	N.T.		VERTICAL	8	12	POZO OPERANDO Y NO SE PUEDE SONDEAR, MOTOR ASENTADO SOBRE DURMIENTES.
10	523	P-186	6 S/N	1126.70	18/07/2005	99.40							N.T.	4	15	POZO DESEQUIPADO Y ABANDONADO. A LOS 80 METROS COMENZO A REGISTRAR AGUA.
	523	P-187		0.00	21/07/2005		29.4	7.85	954	478	N.T.		VERTICAL	8	14	NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
10	523	P-188		1115.85	09/07/2005	91.52						43	VERTICAL	8		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL. LA SONDA COMENZO A REGISTRAR APORTACIÓN A LOS 80.00 METROS
10	523	P-189	280	1112.00	13/07/2005		29.4	7.83	607	300			VERTICAL	8		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL. NO TIENE ESPACIO PARA INTRODUCIR LA SONDA
10	523	P-19	2862	1097.84	12/07/2005	33.68										POZO ABANDONADO, SIN BOMBA Y SIN MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-190		1110.00	13/07/2005		29.5	7.84	493	247	N.T.		VERTICAL	8	12	NO FUNCIONA EL MEDIDOR DE CAUDAL
	523	P-191	1780	0.00	22/07/2005		30.5	8.05	338	170		30	VERTICAL	8	12	NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL. TIENE ESPACIO PARA SER SONDEADO.
10	523	P-192		1115.88	11/07/2005	86.01						28	VERTICAL	6	10	TIENE MEDIDOR, PERO NO FUNCIONA BIEN.
10	523	P-193	463	1119.12	09/07/2005		30.4	8.13	288	145		15	VERTICAL	8	10	POZO OPERANDO
	523	P-194		0.00	21/07/2005	67.42							N.T.	2	10	LA DESCARGA DE ESTE POZO ES DE MANGUERA. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
10	523	P-195		1115.30	13/07/2005		32.5	7.87	422	212			VERTICAL	8	12	NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-196	58	1117.53	13/07/2005		29.7	7.91	1071	535		23	VERTICAL	6	10	8
10	523	P-197	40	1122.00	13/07/2005	93.77										POZO DESEQUIPADO. COMENZO A REGISTRAR APORTACION A LOS 70 METROS. ESTE POZO SE SUSTITUYO PORQUE EL ORIGINAL (ESTE) YA NO DABA EL GASTO SUFICIENTE.
10	523	P-198	1545	1110.48	13/07/2005	83.51							N.T.	6	12	NO TIENE BOMBA
	523	P-199		0.00	21/07/2005	84.53							N.T.	8		
5	523	P-2	1464	1128.48	07/07/2005	106.97						26			16	DESEQUIPADO. ESTA MARCADO CON EL NUMERO EPM N. 104 Y P-2. COMIENZA A REGISTRAR UNA APORTACION A LOS 98 METROS, APROXIMADAMENTE.
10	523	P-20	PIEZOM. LA LUZ	1109.00	18/07/2005											PIEZOMETRO SECO A 47 METROS
10	523	P-200	3437	1109.21	14/07/2005		31	7.7	923	459			SUMERGIBLE	6	15	EL DATO DE GASTO FUE PROPORCIONADO POR EL ENCARGADO DE LA GRANJA. HAY UN POZO DESEQUIPADO A 15 METROS APROXIMADAMENTE DE ESTE POZO, PERO ESTA SECO.
5	523	P-201		1142.00	11/07/2005	103.62										POZO DESEQUIPADO Y SIN MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-202	JULIAN	1141.00	22/07/2005	112.31										
5	523	P-203	1238	1149.00	11/07/2005	105.47							VERTICAL	8		POZO DESCONECTADO, TIENE MEDIDOR DE CAUDAL Y ESTA ABANDONADO.
5	523	P-204	1379	1159.00	11/07/2005								SUMERGIBLE	2		POZO SIN MEDIDOR DE CAUDAL, POZO OPERANDO
5	523	P-205	2414	1159.91	11/07/2005		27.6	7.43	1174	587			VERTICAL	8	23	POZO AGRICOLA
5	523	P-206	3306	1140.57	09/07/2005	121.82										POZO DESEQUIPADO.
5	523	P-207	12 S/N	1141.00	11/07/2005	94.17										POZO ABANDONADO Y DESEQUIPADO
5	523	P-208		1120.00	09/07/2005	58.26										POZO DESEQUIPADO, TAPADO CON PLACA DE ACERO, PERO SE PUEDE SONDEAR.
5	523	P-209	1346	1134.42	09/07/2005	90.52										POZO DESEQUIPADO Y ABANDONADO
10	523	P-21	2450	1105.50	14/07/2005	73.81							VERTICAL	8		POZO SIN MEDIDOR DE CAUDAL
	523	P-210		0.00	22/07/2005											SELLADO
	523	P-211	2171	0.00	04/07/2005		34.2	8.99	886	441			VERTICAL	4		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-212	2129	1115.00	06/07/2005		40	8.56	389	195			VERTICAL	8	46.61	USO AGRICOLA. TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-213	1434	1115.00	06/07/2005		34.3	8.57	317	158			VERTICAL	8		TIENE MEDIDOR, PERO NO FUNCIONA.
5	523	P-214	2082	1114.74	09/07/2005	133.46										
	523	P-215	808	0.00	04/07/2005		31.1	8.44	389	194			VERTICAL		32.34	TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-216		1116.00	09/07/2005	10.50										DESEQUIPADO, TIENE UNA HERRAMIENTA A DENTRO
5	523	P-217	2735	1116.00	09/07/2005		27.5	7.88	436	218			VERTICAL	8	41	
5	523	P-218	1116	1116.00	09/07/2005	39.84							VERTICAL			POZO AGRICOLA, POCO USO PORQUE RIEGAN CON AGUA DEL RIO

5	523	P-255	2161	1125.00	12/07/2005		28.2	7.5	725	352	45	VERTICAL	8	30	TIENE MANGUERA PARA MEDIR EL NIVEL, PERO NO SIRVE (NEUMATICA). ESTE POZO ES EL NO. 5 DE SIMAS	
5	523	P-256	2376	1125.00	12/07/2005		26.2	7.63	576	288		VERTICAL	8	26	TIENE MEDIDOR, PERO NO FUNCIONA. LA MUESTRA DE AGUA QUE SE TOMO TIENE CLORO. ESTE ES EL POZO NO. 9 DE SIMAS	
5	523	P-257	336	1122.00	13/07/2005		26.8	7.72	666	333	40	VERTICAL	8	12	52.55	ESTE POZO TIENE MANGUERA PARA MEDIRSE CON BOMBA NEUMATICA
5	523	P-258	3387	1122.00	13/07/2005		26.3	7.53	975	487	27	VERTICAL	8	12	34.34	
5	523	P-259	3793	1125.00	12/07/2005		26	7.62	526	263	43	VERTICAL	8	12	26.59	ESTE ES EL POZO NO. 42 DE SIMAS. LA MUESTRA DE AGUA CONTIENE CLORO.
5	523	P-26	3480	1101.92	23/07/2005	92.17					7			14		POZO DESEQUIPADO DE SIMAS LERDO, FRENTE AL REBOMBEO
5	523	P-260	3904	1119.00	13/07/2005		26.4	7.78	600	298	52	VERTICAL	8	12	43.55	
5	523	P-261	3703	1120.00	12/07/2005		28.3	7.96	350	173	40	VERTICAL	8	12	53.5	
5	523	P-262	3477	1135.00	12/07/2005		28.3	7.66	605	303	37	VERTICAL	6	8	30.59	
5	523	P-263	3903	1124.00	12/07/2005		28.4	7.73	536	266	40	VERTICAL	8	12	26	
5	523	P-264	3702	1129.00	12/07/2005		25.6	7.62	1134	555	N.T.	VERTICAL	12	16	89	ESTE POZO TIENE MANGUERA PARA MEDIRSE CON BOMBA NEUMATICA.
		P-265	1252		12/07/2005	43.91								16		POZO QUE YA ESTA EN DESUSO PORQUE SE SECO, PERO SE TOMO EL N.E. Y MARCO A 43.91 MTS., PERO EL DATO NO ES CONFIABLE.
5	523	P-266	3906	1130.00	13/07/2005	142.55					N.T.			16		NO CUENTA CON MEDIDOR DE CAUDAL, ESTA DESEQUIPADO Y FUERA DE SERVICIO
5	523	P-267	3388	1130.00	13/07/2005		25.2	7.88	438	220	30	VERTICAL	8		42.38	TIENE MANGUERA PARA MEDIR CON BOMBA NEUMATICA
5	523	P-268	2676	1180.00	12/07/2005		24.7	7.49	830	417	26	VERTICAL	10		48	
10	523	P-269		1121.00	14/07/2005		29.1	7.36	2539	1269	N.T.	VERTICAL	6	10	16.49	
5	523	P-27	1082	1103.50	20/07/2005	54.12						VERTICAL				NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-270	PIEZOM SAN RAMON	1125.00	14/07/2005	103.49						13				ESTE PIEZOMETRO ES DE 4" DE DIAMETRO
10	523	P-271		1130.00	18/07/2005	136.02						34		12	20	ESTE POZO ES EL ORIGINAL, JUNTO A EL SE ENCUENTRA EL DE REPOSICION.
10	523	P-272		1127.00												
10	523	P-273	430	1128.50	18/07/2005	96.50										
10	523	P-274		1129.00	18/07/2005		26.6	7.39	1186	595	N.T.	VERTICAL	6		15	
10	523	P-275		1118.00	09/07/2005		31.4	7.85	316	158		VERTICAL	8		48	ESTE POZO NO SE LE PUEDE TOMAR DATO DE NIVEL ESTÁTICO PORQUE LA BOMBA ESTA ASENTADA EN EL BROCAL Y NO TIENE ESPACIO POR DONDE METER LA SONDA.
523	P-276			1118.00	09/07/2005		30.5	7.85	251	784	N.T.	VERTICAL	6		36	
10	523	P-277		1130.00	18/07/2005		28.9	7.36	1408	705		VERTICAL	6		8	POZO USO AGUA POTABLE
10	523	P-278		1160.00												
10	523	P-279		1123.00	19/07/2005	62.28					30			10		POZO DESEQUIPADO, TIENE DOS AÑOS DESEQUIPADO
5	523	P-28	1757	1102.18	20/07/2005											TIENE ABEJAS. NO TIENE BOMBA
10	523	P-280		1125.00	13/07/2005		27.2	7.23	1743	873	N.T.	VERTICAL	6			
10	523	P-281		1127.00	18/07/2005							35	SUMERGIBLE	6		NO PUEDE SER SONDEADO
10	523	P-282		1130.00	18/07/2005		26.3	7.62	657	329	40	VERTICAL	10	12		ESTE POZO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA. NO TIENE POR DONDE SER SONDEADO.
10	523	P-283		1145.00	18/07/2005		29.2	7.64	964	482	54	VERTICAL	12	110		A ESTE POZO SE PUEDE SONDEAR CON BOMBA NEUMATICA Y CON SONDA ELÉCTRICA.
10	523	P-284		1143.00	18/07/2005		28.7	7.77	971	482	50	VERTICAL	8	65		NO SE OBSERVO MEDIDOR DE CAUDAL, SI SE PUEDE SONDEAR.
5	523	P-285	2116	1115.00	06/07/2005		33.8	8.39	680	340		VERTICAL				

5	523	P-286		1115.50	06/07/2005	64.33														POZO ABANDONADO Y DESEQUIPADO
5	523	P-287	1325	1120.00	08/07/2005		31.3	7.82	1561	782										
5	523	P-288		1118.00	08/07/2005	100.63							VERTICAL							SIN MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-289	2107	1116.50	08/07/2005	150.52							VERTICAL	8						TIENE MEDIDOR DE CAUDAL. TIENE 10 DIAZ PARADO
5	523	P-29		1100.00	20/07/2005		35.4	7.91	1816	908			VERTICAL	8						38
5	523	P-290		1116.00	06/07/2005															POZO TAPADO
5	523	P-291	1125	1115.00	06/07/2005	136.65							SUMERGIBLE							TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
5	523	P-292		1117.00	06/07/2005								VERTICAL	8						POZO CON MEDIDOR DE CAUDAL. TIENE ABEJAS.
5	523	P-293	2103	1112.00	06/07/2005		32	8.41	412	207			VERTICAL	8						32.59
5	523	P-294	2108	1111.50	07/07/2005		31.9	8.47	398	200			VERTICAL	8						TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA CORRECTAMENTE.
5	523	P-295	696	1111.50	22/07/2005		31	7.9	1137	569			VERTICAL	6						12.15
10	523	P-296	1383	1130.00	15/07/2005	50.83						N.T.	VERTICAL	10						ESTE POZO NO OPERA PORQUE NO HAN PAGADO LA ELECTRICIDAD DEL POZO. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
10	523	P-297	1384	1130.00	15/07/2005	57.25						33	VERTICAL	6						ESTE POZO NO OPERA PORQUE NO HAN PAGADO LA ELECTRICIDAD DEL POZO.
																				A ESTE POZO NO SE LE PUEDE MEDIR EL NIVEL ESTÁTICO PORQUE ESTA ASENTADO EL CABEZAL SOBRE EL BROCAL Y NO HAY ESPACIO POR DONDE METER LA SONDA. EL ENCARGADO DE LOS POZOS NOS INDICA QUE ESTE POZO TIENE UN GASTO DE APROXIMADAMENTE 30 LPS. DENTRO DE LA PLANTA DE CFE ESTE POZO ES EL # 2.
10	523	P-298		1130.00	12/07/2005		27	7.5	569	282		60	VERTICAL	8						
10	523	P-299	2369	1130.00	12/07/2005							N.T.								18
5	523	P-3	3787	1120.00	11/07/2005	100.36							VERTICAL	7						9
5	523	P-30	1587	1099.00	20/07/2005	45.65						N.T.	VERTICAL	6						EL MEDIDOR DE CAUDAL ESTA DAÑADO
5	523	P-300		1200.00	11/07/2005		30	7.59	1159	579			VERTICAL	10						90
5	523	P-301		1220.00	11/07/2005								VERTICAL	8						NO TIENE POR DONDE SONDEARLO
5	523	P-302		1200.00	11/07/2005		27.9	7.67	1050	528			VERTICAL	8						37
5	523	P-303		1220.00	11/07/2005		30	7.69	1078	535			VERTICAL	10						50
5	523	P-304	1697	1100.00	19/07/2005	74.13							VERTICAL	8						
10	523	P-305		1117.00	14/07/2005							N.T.	VERTICAL	8						12
10	523	P-306	83	1110.00	14/07/2005							N.T.	SUMERGIBLE	4						NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL. NO SE PUEDE SONDEAR PORQUE NO TIENE ESPACIO PARA INTRODUCIR LA SONDA.
10	523	P-307	89	1110.00	14/07/2005	78.14	28.2	7.36	2424	1207		N.T.	VERTICAL	6						
10	523	P-308	122	1126.00	14/07/2005		30.8	7.78	2055	1028		N.T.	SUMERGIBLE	6						NO CUENTA CON MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-31		1099.00	19/07/2005	50.56														POZO DESEQUIPADO
5	523	P-32	2649	1097.50	19/07/2005															POZO SIN BOMBA.
5	523	P-33	2654	1095.64	19/07/2005	63.79														DESEQUIPADO
5	523	P-34	159	1110.00	20/07/2005	106.83						13	VERTICAL	8						12
5	523	P-35	625	1105.00	23/07/2005		29.9	8.38	411	204		N.T.	VERTICAL	8						12
	523	P-36	1053	0.00	23/07/2005		29.3	7.97	552	275		15	VERTICAL	8						12
5	523	P-37	1041	1101.00	19/07/2005		32.4	8.52	403	203			VERTICAL	8						TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
	523	P-38	705	0.00	20/07/2005		29.6	7.69	432	215		20	VERTICAL	8						12
																				ESTE POZO NO CUENTA CON MEDIDOR

5	523	P-39	5 (S/N)	1108.26	23/07/2005		25.6	7.32	1124	573	N.T.	VERTICAL	8	14	32	TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA. TIENE DESCARGA LIBRE, CON LO CUAL SE ESTIMA EL GASTO DE ESTE POZO.
5	523	P-4	1247	1142.00	11/07/2005	81.86						VERTICAL	4			TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
5	523	P-40		1109.08	23/07/2005						N.T.	VERTICAL	8			
5	523	P-41	990	1104.16	19/07/2005											POZO SELLADO
5	523	P-42	3744	1107.00	19/07/2005		26.4	7.43	1885	944		VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-43	1058	1105.00	23/07/2005	39.63					30	VERTICAL	8	10		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA.
5	523	P-44	1017	1103.65	20/07/2005	90.52						VERTICAL	8			TIENE MEDIDOR MAL INSTALADO.
5	523	P-45	977	1101.91	19/07/2005		29.9	8.17	1250	624		VERTICAL	6		18.75	
5	523	P-46	989	1108.00	19/07/2005		33.3	8.59	316	158		VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-47	645	1104.00	19/07/2005											SELLADO EL 28-01-2003
5	523	P-48	948	1100.00	19/07/2005		32.6	7.97	1937	964		VERTICAL	8		10.69	POZO AGRICOLA
5	523	P-49	909	1100.00	21/07/2005	57.21					N.T.	VERTICAL	8			TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-5	342	1119.48	08/07/2005		30.6	6.97	924	462		VERTICAL	8	20	8	POZO QUE OPERA 24 HORAS. NO FUNCIONA EL MEDIDOR
5	523	P-50	1316	1100.00	21/07/2005		24.5	7.11	3958	1971		SUMERGIBLE	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
5	523	P-51	1108	1100.00	20/07/2005		28.2	7.64	2708	1354		VERTICAL	8		30	
5	523	P-52	2064	1098.20	20/07/2005		30.2	8.06	1607	803		VERTICAL	8		38.77	
5	523	P-53	3049	1099.00	20/07/2005	52.07						VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL. EN EL TREN DE DESCARGA TIENE MARCADO EL NUMERO CNA2630
10	523	P-54	1478	1108.00	14/07/2005	34.27										DESEQUIPADO
10	523	P-55	2509	1115.00	14/07/2005		31.7	7.61	3995	1998		VERTICAL	8			EL MEDIDOR DE CAUDAL ESTA ROTO
10	523	P-56	1721	1110.38	14/07/2005	92.67										POZO ABANDONADO Y SIN EQUIPO
10	523	P-57	1599	1110.00	18/07/2005	79.45										POZO ABANDONADO Y SIN EQUIPO
10	523	P-58	1976	1109.87	18/07/2005	60.16										POZO ABANDONADO
10	523	P-59	2983	1105.00	18/07/2005		31.4	7.49	2786	1390		VERTICAL				POZO AGRICOLA OPERANDO. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-6		1126.80	11/07/2005	96.44					30			16		POZO DESEQUIPADO, SEGUN INFORMES NUNCA HA SIDO EQUIPADO.
10	523	P-60	581	1103.79	15/07/2005		30.8	7.61	3620	1810		VERTICAL	10			NO FUNCIONA EL MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-61	1612	1138.92	18/07/2005		29.3	7.22	3059	1528		SUMERGIBLE	6			
10	523	P-62	1754	1113.50	18/07/2005		25.9	7.27	4000	2000			6		13.02	POZO CON ABEJAS
10	523	P-63	4179	1114.00	18/07/2005		28.3	7.44	2305	1150		VERTICAL	6			TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA BIEN
10	523	P-64	163	1108.56	18/07/2005	70.43						SUMERGIBLE	8			TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
	523	P-65	168	0.00	25/07/2005		29	7.64	1889	940	N.T.	VERTICAL	8			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
10	523	P-66	1879	1106.00	18/07/2005	23.72										POZO ABANDONADO, DURANTE LA VISITA SE ROMPIO EL ADEME Y SE FUE UNA GRAN CANTIDAD DE GRAVA ADENTRO DEL POZO
	523	P-67	2140	0.00	25/07/2005											CLAUSURADO
10	523	P-68	PIEZM ARCINAS	1109.40	13/07/2005											PIEZOMETRO TAPADO Y LLENO DE PIEDRAS.
10	523	P-69	PIEZM ARCINAS	1110.00	25/07/2005	57.74										
5	523	P-7	431	1125.00	08/07/2005											ESTE POZO ESTA SELLADO, YA NO SE PUEDE TOMAR DATOS DE NIVEL ESTÁTICO

10	523	P-70	2345	1098.97	13/07/2005		33.1	8.14	428	214	VERTICAL	8		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO TIENE CANDADO.		
10	523	P-71	2074	1109.00	13/07/2005		35.2	8.39	328	164	VERTICAL			TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO TIENE CANDADO.		
10	523	P-72	654	1109.00	13/07/2005		33.9	8.04	634	317	VERTICAL	8	13			
	523	P-73	2087	0.00	25/07/2005									POZO CLAUSURADO		
	523	P-74	4127	0.00	25/07/2005						VERTICAL	8		TIENE ABEJAS		
10	523	P-75	1893	1103.72	13/07/2005	107.81						8		POZO DESEQUIPADO, PERO AUN SE ENCUENTRA COLOCADO EL TREN DE DESCARGA.		
10	523	P-76	507	1112.00	11/07/2005		32.7	8.12	238	119	N.T	VERTICAL	8	12	OPERANDO	
	523	P-77	1006	0.00	25/07/2005		32.6	8.15	2242	1121		VERTICAL	8		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA CORRECTAMENTE	
	523	P-78	3132	1099.82	13/07/2005							VERTICAL	4		POZO AGRICOLA, TIENE MEDIDOR DE CAUDA Y ESTA SIN OPERAR	
10	523	P-79	608	1100.00	12/07/2005		30.1	7.76	2270	1138	N.T	VERTICAL	8		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, POZO DE USO AGRICOLA	
10	523	P-8	2335	1107.00	13/07/2005	54.91								POZO DESEQUIPADO. A LOS 40 METROS COMENZO A REGISTRAR APORTACIONES DE AGUA. TIENE APROXIMADAMENTE 20 AÑOS QUE NO LO UTILIZAN.		
10	523	P-80	2910	1098.77	12/07/2005	71.06						VERTICAL	10	18	POZO USO AGRICOLA, SIN MEDIDOR DE CAUDAL	
10	523	P-81	582	1099.54	12/07/2005	75.18						VERTICAL	8		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, ESTA SIN OPERAR Y ES DE USO AGRICOLA	
10	523	P-82	2737	1098.00	12/07/2005	70.32						VERTICAL			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL Y ES DE USO AGRICOLA	
10	523	P-83 P-84	2741 2472	1095.55 0.00	12/07/2005 23/07/2005		28.1	8.13	1344	672		VERTICAL	6		POZO CLAUSURADO DESDE HACE 4 AÑOS	
10	523	P-85	3043	1095.13	12/07/2005		29.9	8.06	1790	895	N.T	VERTICAL	4		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA CORRECTAMENTE. POZO DE USO AGRICOLA	
5	523	P-86		1107.00	07/07/2005										ABANDONADO	
5	523	P-87		1114.00	07/07/2005										POZO SELLADO	
5	523	P-88		1113.00	07/07/2005	50.27									POZO ABANDONADO. ES DE AGUA POTABLE	
5	523	P-89	1990	1110.00	07/07/2005							VERTICAL	8		NO SE PUDO SONDEAR. ESTA LLENO DE ACEITE Y TIERRA, LOS NIVELES NO SON REPRESENTATIVOS	
	523	P-9	1532	x	26/07/2005										YA NO EXISTE	
5	523	P-90		1115.00	06/07/2005	99.51									POZO SIN EQUIPO	
5	523	P-91	2114	1118.00	06/07/2005	55.32	32.9	7.2	3588	1794			8		POZO AGRICOLA Y OPERANDO, NO TIENE MEDIDOR.	
5	523	P-92	1564	1117.50	04/07/2005		31.8	9.21	276	138		VERTICAL		27.68		
5	523	P-93	824	1117.00	06/07/2005	128.03									DESEQUIPADO PORQUE EL ADEME ESTA DANADO. USO AGRICOLA	
5	523	P-94	783	1116.00	06/07/2005		29.8	8.1	370	183		VERTICAL	8		NO LE FUNCIONA EL MEDIDOR Y TIENE UN GASTO DE APROXIMADAMENTE 15 LPS	
5	523	P-95	684	1116.00	06/07/2005	135.47						25	VERTICAL	8	16	AL MOMENTO DE TOMAR EL DATO EL POZO TENIA 5 HORAS PARADO, PORQUE SE DESCOMPUSO LA CAJA DE CONTROLES.
5	523	P-96	768	1112.00	06/07/2005	138.00						20	VERTICAL	8	12	POZO QUE SE USA DE VEZ EN CUANDO, PERO AUN ESTA EQUIPADO CON BOMBA VERTICAL. CAJA DE CONTROL DESMONTADA TOTALMENTE, DESCARGABA A UN ESTANQUE. TIENE MARCADO EN LA CAJA DE CONTROLES EL # 768 SARH
5	523	P-97	8532	1114.00	06/07/2005	117.40						VERTICAL	8	10	NO TIENE MEDIDOR. ESTE POZO TIENE PARADO APROXIMADAMENTE 2 MESES	
5	523	P-98	747	1117.00	06/07/2005		27.5	7.15	1437	722	N.T.		8		POZO OPERANDO Y NO CUENTA CON MEDIDOR	
5	523	P-99	2334	1108.00	20/07/2005		30	7.32	3645	1821	N.T.	VERTICAL	8	14	33.85	
					06-Jul-05		31	7.8	1606	802			8		37.43	USO AGRICOLA, OPERANDO
			3775		11/07/2005		26.4	7.76	413	206		SUMERGIBLE	8		35	POZO QUE TENIA UNA HORA OPERANDO AL MOMENTO DE LA VISITA. ESTE POZO ES CONOCIDO DENTRO DE LA PLANTA CON EL NO. 2. LAS COORDENADAS DE ESTE POZO SON APROXIMADAS DEBIDO A QUE SE ENCUENTRA DENTRO DE UNA NAVE Y EL GPS NO TIENE SEÑAL SUFICIENTE
	P-265-A				12/07/2005		25.3	7.63	680	341		VERTICAL	8	16	18	LOS DATOS DE GASTO, SON INFORMES DEL ING. RAMIRO VELAZQUEZ (SIMAS).

5	523	P-7-A	431-A	1125.00	08/07/2005													ESTE POZO NO FUNCIONA PORQUE EL DUENO DICE QUE EL MEDIDOR DESDE HACE 7 MESES NO FUNCIONA. NO SE PUDO TOMAR EL NE PORQUE SE ATORA LA SONDA.
			2176		13/07/2005	29.2	7.55	927	463		VERTICAL	8	14					ESTE POZO SE ENCUENTRA CERCA DEL P-190
					13/07/2005	78.45												POZO ABANDONADO Y SE UBICA CERCA DEL POZO CNA 280. COMIENZA A REGISTRAR AGUA A LOS 50 METROS.
		P-197-A	40-A		13/07/2005						VERTICAL	8	12	22				ESTE POZO SE ENCUENTRA DENTRO DEL RANCHO MAGUEYES.
		P-308-A	122-A		14/07/2005	30.72												LA SONDA SALIO CON MUCHO LODO.
				3872	15/07/2005	24.9	7.73	505	253	60		8		40				POZO DE 5 DE MAYO DE SIDEAPA.
				3459	15/07/2005	24.1	7.46	560	293	60	VERTICAL	6						NO TIENE ESPACIO PARA SER SONDEADO
				3459	15/07/2005	24.5	7.56	660	328	20	SUMERGIBLE	6	20	20				
					15/07/2005	24.9	7.83	436	218	60	VERTICAL	10		112				POZO OPERANDO, NO TIENE ESPACIO PARA SER SONDEADO.
					12/07/2005	27	7.49	765	378	44	VERTICAL	8	12	20				ESTE POZO TIENE EL # 13 DE SIDEAPA. LA MUESTRA DE AGUA SE TOMO CLORADA.
					18/07/2005	100.94								20				POZO DESEQUIPADO.
					18/07/2005	28	7.31	1433	720	50	SUMERGIBLE	8						JUNTO A ESTE POZO SE ENCUENTRA EL POZO 22-A, QUE ES EL TITULAR, ES DECIR, SIEMPRE TRABAJA. EL POZO 22 AVECES TRABAJA.
					18/07/2005	84.25				49				18				POZO DESEQUIPADO.
					19/07/2005	28.6	8.15	324	170	24	VERTICAL	6		10				EL DATO DE VOL. ACUMULADO NO ES CONFIABLE, YA QUE NO SE OBSERVO QUE CAMBIARÁ LA NUMERACION Y EL POZO ESTABA OPERANDO.
					20/07/2005	28.3	7.38	4000	2000	N.T.	VERTICAL	8		20				POZO QUE NO ES PILOTO, SOLO SE TOMO MUESTRA DE AGUA. DENTRO DE LA PROPIEDAD DE BETA SANTA MONICA
		P-182-A	3885-A		22/07/2005	30.3	7.43	603	297	N.T.	VERTICAL	10		80				ESTE POZO CUENTA CON UNA DESCARGA DE 1METRO DE 8" DE DIAM., Y LO DEMAS DE 10" DIAM.
		P-320	436-A		25/07/2005	101.23					10	VERTICAL	8	12				
				2012	25/07/2005	154.71					20	SUMERGIBLE	6					NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
		P-240	PIEZOM LA PERLA		26/07/2005	8.74												
				1774	04/07/2005	25.2	6.83	1896	948	N.T.	VERTICAL	8	16	60				NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO TIENE DESCARGA LIBRE Y EL TUBO SALE A MAS DE LA MITAD DE LLENO.
					04/07/2005	27.4	6.69	1778	888	N.T.	VERTICAL	8	12	32.4				
				1999	04/07/2005	26.5	6.91	1667	840	44	VERTICAL	8	12	47				EN CAMPO TIENE MARCADO EL NUMERO 775 DE SARH
				2232	04/07/2005													POZO TAPADO CON PLACA DE CONCRETO
				2232-2	04/07/2005	32.8	7.78	255	130	30	VERTICAL	8	16					NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO TIENE DESCARGA LIBRE.
					04/07/2005	27.2	8.07	4000	2000									
				221	04/07/2005	30.1	9.29	433	220									
					04/07/2005	104.71												POZO EN MANTENIMIENTO, SIN BOMBA.
					04/07/2005	27.7	9.44	1212	608		VERTICAL	8		64.37				
				4591	04/07/2005													POZO SELLADO
				2128	04/07/2005	34.7	9.13	464	333		VERTICAL	8		44.12				USO AGRICOLA
				2264	04/07/2005	36	8.94	355	177		VERTICAL	8		38.77				USO AGRICOLA
				1137	04/07/2005	31.6	8.95	253	128		VERTICAL	8						
		S/N			06/07/2005	31.2	8.28	898	449									
				2088	06/07/2005	36.1	8.82	477	238		VERTICAL	8						NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
					06/07/2005	34.3	8.56	344	172					8				DESEQUIPADO. SIN MEDIDOR DE CAUDAL.
				1372	06/07/2005	30.6	8.5	344	172					6				POZO OPERANDO, NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.

	07/07/2005	28.9	7.4	2503	1254	VERTICAL	8	25.8	
	08/07/2005	28.4	8.11	666	332				
	08/07/2005	30.1	8.08	925	463				
	08/07/2005	93.70							
1140	09/07/2005	30.3	7.78	1947	971	VERTICAL			POZO AGRICOLA. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
S/N	12/07/2005	29.6	8.19	3999	2000				
	12/07/2005	32.4	7.93	2184	1093		8	26	ES DE USO AGRICOLA
121-A	12/07/2005	37.24							POZO DESEQUIPADO
	13/07/2005	30.2	8.39	732	365	VERTICAL	8		POZO USO AGRICOLA. OPERANDO. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
1885	13/07/2005	8.37	33.9	568	287		8		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA BIEN
666	13/07/2005					VERTICAL	8		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL.
671	13/07/2005								TIENE TANQUE ELEVADO CON GUIMBALETE. POZO SECO
2194	13/07/2005								POZO SECO
269	13/07/2005	30.8	7.69	640	316	VERTICAL	8		EL MEDIDOR DE CAUDAL ESTA MAL INSTALADO Y NO FUNCIONA BIEN
2758	14/07/2005	30.5	7.62	3663	1831	VERTICAL	8	25.4	
2757	14/07/2005	29.3	7.74	3534	1764	VERTICAL	8		TIENE MEDIDOR, PERO NO FUNCIONA CORRECTAMENTE
140	14/07/2005	38.96							DESEQUIPADO Y ABANDONADO
1574	14/07/2005	31.7	7.34	3284	1635	SUMERGIBLE	6		EL MEDIDOR DE CAUDAL NO FUNCIONA CORRECTAMENTE
P-309	15/07/2005	31.6	7.69	2769	1384	PAPALOTE			
561	15/07/2005	30.1	7.48	2217	1111	SUMERGIBLE			NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
2984	18/07/2005	29.1	7.66	4000	2000	VERTICAL	6		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
2244	18/07/2005	35.5	7.56	4000	2000	VERTICAL	8	23.42	
2208	18/07/2005	28.9	7.24	3252	1623	VERTICAL	8		NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
254	18/07/2005	29.6	7.41	2123	1060	VERTICAL	6	21.1	
1308	18/07/2005	30.5	7.54	2983	1489	VERTICAL	6	20.8	POZO AGRICOLA OPERANDO
2327	18/07/2005	29.9	7.58	2572	1278	VERTICAL	8		EL MEDIDOR DE CAUDAL, NO FUNCIONA CORRECTAMENTE
P-25-A	18/07/2005	39.89							POZO DESEQUIPADO Y ABANDONADO
2229	19/07/2005	30.3	8.34	567	282	VERTICAL	6	18.82	
2511	19/07/2005	26.6	8.15	1879	940	VERTICAL	6		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA BIEN. TIENE MUCHO ARSENICO
P-150-A	19/07/2005	28.5	8.17	1020	510	VERTICAL	8	20	ESTE POZO ES REPOSICIÓN DEL P-150 CNA 410
P-47-A	19/07/2005	61.37				SUMERGIBLE			LA BOMBA NO FUNCIONA. NO TIENE MEDIDOR DE CAUDAL
1000	19/07/2005	36.1	8.4	827	413	VERTICAL	8	32.08	
2252	19/07/2005	32.5	8.39	416	207	VERTICAL	8	30	
2433	20/07/2005	31.2	8.29	480	240	VERTICAL	8		TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA BIEN.
1538	20/07/2005	44.12							DESEQUIPADO PORQUE ESTA EN MANTENIMIENTO.

	931	21/07/2005	29.2	7.6	3259	1627	SUMERGIBLE	8	
	1156	22/07/2005	27.2	7.46	1266	633	VERTICAL	8	TIENE MEDIDOR CON TORNILLO, CERRADO
	1555	22/07/2005	153.93						DESEQUIPADO
P-160		22/07/2005	112.31						
	1179	22/07/2005	27.8	7.72	1784	890	VERTICAL	6	TIENE MEDIDOR DE CAUDAL, PERO NO FUNCIONA BIEN
	930	23/07/2005	30.3	7.75	3155	1576	VERTICAL	8	40.11
	4128	25/07/2005	64.34					6	ESTE POZO ESTA EN MANTENIMIENTO
P-310		25/07/2005	36.74						POZO ABANDONADO Y DESEQUIPADO
	2553	26/07/2005					SUMERGIBLE	6	
S/N		26/07/2005	26.1	7.31	1242	616	SUMERGIBLE		30
P-156-A		11/07/2005	28.9	7.97	334	168	VERTICAL	8	CERCANIA CON EL POZO P-156 QUE SE LOCALIZA FUERA DE ESTE PREDIO.

ANEXO 2 Red "A" Grupos de Pozos

Grupo 1

P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-10	P-11	P-12	P-13	P-14	P-15	P-17	P-18	P-19	P-20	P-21
P-22	P-23	P-25	P-26	P-27	P-28	P-29	P-30	P-31	P-32	P-33	P-34	P-35	P-37	P-39	P-40	P-41	P-42	P-43
P-44	P-45	P-46	P-47	P-48	P-49	P-50	P-51	P-52	P-53	P-54	P-55	P-56	P-57	P-58	P-59	P-60	P-61	P-62
P-63	P-64	P-66	P-68	P-69	P-70	P-71	P-72	P-75	P-76	P-79	P-80	P-81	P-82	P-83	P-85	P-86	P-87	P-88
P-89	P-90	P-91	P-92	P-93	P-94	P-95	P-96	P-97	P-98	P-99	P-100	P-101	P-102	P-103	P-104	P-105	P-106	P-107
P-108	P-109	P-110	P-111	P-112	P-113	P-114	P-115	P-116	P-117	P-118	P-119	P-120	P-121	P-122	P-123	P-124	P-125	P-126
P-127	P-128	P-129	P-130	P-131	P-132	P-133	P-134	P-135	P-136	P-137	P-138	P-139	P-140	P-141	P-142	P-143	P-144	P-145
P-146	P-147	P-148	P-149	P-150	P-153	P-154	P-156	P-157	P-158	P-160	P-162	P-163	P-164	P-165	P-166	P-167	P-168	P-169
P-170	P-171	P-172	P-173	P-174	P-176	P-177	P-178	P-180	P-181	P-183	P-184	P-185	P-186	P-188	P-189	P-190	P-192	P-193
P-195	P-196	P-197	P-198	P-200	P-201	P-203	P-204	P-205	P-206	P-207	P-208	P-209	P-212	P-213	P-214	P-216	P-217	P-218
P-219	P-221	P-222	P-224	P-225	P-226	P-227	P-229	P-231	P-234	P-235	P-238	P-239	P-241	P-242	P-244	P-245	P-246	P-247
P-250	P-252	P-253	P-254	P-255	P-256	P-257	P-258	P-259	P-260	P-261	P-262	P-263	P-264	P-265	P-266	P-267	P-268	P-269
P-270	P-271	P-273	P-274	P-275	P-276	P-277	P-279	P-280	P-281	P-282	P-283	P-284	P-285	P-286	P-287	P-288	P-289	P-290
P-291	P-292	P-293	P-294	P-295	P-296	P-297	P-298	P-299	P-300	P-301	P-302	P-303	P-304	P-305	P-306	P-307	P-308	

Grupo 2

P-2	P-3	P-4	P-5	P-7	P-8	P-10	P-12	P-13	P-14	P-15	P-17	P-18	P-19	P-20	P-21	P-22	P-23	P-25
P-26	P-27	P-28	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-39	P-40	P-43	P-44	P-45	P-46	P-47	P-48	P-50
P-51	P-52	P-53	P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-62	P-64	P-66	P-68	P-69	P-70	P-72	P-75	P-76	P-80	P-81
P-82	P-83	P-85	P-86	P-87	P-88	P-89	P-90	P-91	P-92	P-93	P-94	P-95	P-96	P-98	P-100	P-102	P-104	P-105
P-107	P-111	P-112	P-113	P-114	P-116	P-117	P-118	P-119	P-120	P-121	P-123	P-124	P-127	P-128	P-130	P-131	P-132	P-133
P-134	P-135	P-136	P-137	P-139	P-141	P-143	P-144	P-146	P-147	P-148	P-149	P-150	P-154	P-157	P-160	P-162	P-163	P-164
P-165	P-166	P-167	P-170	P-171	P-172	P-173	P-174	P-176	P-178	P-180	P-184	P-185	P-186	P-188	P-189	P-190	P-192	P-193
P-195	P-196	P-197	P-198	P-200	P-201	P-203	P-204	P-205	P-206	P-208	P-209	P-212	P-214	P-217	P-218	P-219	P-221	P-222
P-224	P-225	P-226	P-227	P-229	P-231	P-235	P-238	P-239	P-241	P-242	P-244	P-245	P-246	P-247	P-250	P-252	P-254	P-255
P-258	P-260	P-261	P-262	P-263	P-264	P-265	P-266	P-268	P-270	P-271	P-273	P-274	P-275	P-277	P-279	P-280	P-281	P-282
P-283	P-284	P-285	P-286	P-287	P-288	P-290	P-292	P-293	P-295	P-296	P-298	P-303	P-304	P-305	P-306	P-308	1a	2a
3a	4a	5a																

Grupo 3

P-2	P-3	P-5	P-8	P-13	P-17	P-18	P-19	P-20	P-21	P-22	P-23	P-25	P-27	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34
P-35	P-37	P-39	P-40	P-44	P-47	P-48	P-50	P-51	P-52	P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-62	P-64	P-66	P-68
P-69	P-70	P-72	P-75	P-76	P-81	P-82	P-83	P-85	P-86	P-88	P-89	P-91	P-92	P-93	P-94	P-96	P-98	P-100
P-102	P-104	P-107	P-111	P-113	P-116	P-117	P-118	P-120	P-121	P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-139	P-141	P-143	P-144
P-146	P-147	P-150	P-154	P-162	P-165	P-166	P-170	P-171	P-173	P-176	P-184	P-186	P-188	P-190	P-193	P-195	P-197	P-201
P-203	P-205	P-206	P-208	P-209	P-217	P-219	P-221	P-222	P-224	P-225	P-226	P-227	P-229	P-231	P-235	P-238	P-239	P-242
P-245	P-246	P-247	P-250	P-252	P-260	P-261	P-262	P-263	P-264	P-265	P-268	P-270	P-273	P-274	P-275	P-277	P-281	P-282
P-287	P-292	P-295	P-296	P-303	P-304	P-305	P-306	1a	2a	3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a		

Grupo 4

P-2	P-5	P-8	P-13	P-17	P-18	P-19	P-21	P-22	P-23	P-25	P-27	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37
P-39	P-40	P-44	P-47	P-48	P-50	P-52	P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86
P-89	P-91	P-92	P-93	P-94	P-98	P-100	P-102	P-107	P-111	P-116	P-120	P-121	P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-139
P-143	P-147	P-150	P-154	P-162	P-165	P-166	P-170	P-171	P-173	P-186	P-190	P-195	P-205	P-209	P-217	P-219	P-224	P-225
P-226	P-229	P-238	P-239	P-242	P-245	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-273	P-275	P-277	P-281	P-292	P-295
P-296	P-303	P-304	P-305	P-306	1a	2a	3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a				

Grupo 5

P-2	P-8	P-13	P-17	P-18	P-19	P-21	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-39	P-40
P-44	P-47	P-48	P-50	P-52	P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-89	P-91
P-93	P-94	P-98	P-100	P-102	P-107	P-111	P-116	P-120	P-121	P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-150	P-164
P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-209	P-217	P-219	P-224	P-225	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-247
P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-295	P-296	P-303	P-305	P-306	1a	2a	3a	4a	5a	8a
6a	10a	7a	11a															

Grupo 6

P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-39	P-40	P-44	P-47	P-48
P-52	P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-94	P-98	P-100	P-102
P-107	P-116	P-120	P-121	P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205
P-207	P-209	P-217	P-219	P-224	P-225	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277
P-281	P-296	P-303	P-305	P-306	1a	2a	3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a	13a	15a		

Grupo 7

P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-100	P-102	P-116	P-120	P-121
P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-209	P-219	P-224
P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306	1a
2a	3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a	13a	15a	16a	17a						

Grupo 8

P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-100	P-102	P-116	P-120	P-121
P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-208	P-209	P-219
P-224	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306
1a	2a	3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a	13a	15a	16a	17a	18a	19a	20a		

Grupo 9

P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-100	P-102	P-116	P-120	P-121
P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-208	P-209	P-219
P-224	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306
1a	2a	3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a	13a	15a	17a	19a	20a	21a	22a	23a	

Grupo 10

P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-86	P-91	P-92	P-94	P-98	P-102	P-116	P-120	P-121	P-123
P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-208	P-209	P-219	P-224
P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306	1a
2a	3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a	13a	15a	17a	19a	20a	21a	22a	23a	24a	

Grupo 11

P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-86	P-91	P-92	P-94	P-98	P-102	P-116	P-120	P-121	P-123
P-131	P-132	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-174	P-190	P-195	P-205	P-207	P-209	P-219	P-224	P-226
P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306	1a	2a
3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a	13a	15a	17a	19a	20a	21a	22a	24a	25a		

Grupo 12

P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-86	P-91	P-92	P-94	P-98	P-102	P-116	P-120	P-121	P-123
P-131	P-132	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-174	P-190	P-195	P-205	P-207	P-209	P-219	P-224	P-226
P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306	1a	2a
3a	4a	5a	8a	6a	10a	7a	11a	13a	17a	19a	20a	21a	22a	24a	25a	26a		

ANEXO 3 Red "B" Grupos de Pozos

Grupo 1

P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-10	P-11	P-12	P-13	P-14	P-15	P-17	P-18	P-19	P-20	P-21
P-22	P-23	P-25	P-26	P-27	P-28	P-29	P-30	P-31	P-32	P-33	P-34	P-35	P-37	P-39	P-40	P-41	P-42	P-43
P-44	P-45	P-46	P-47	P-48	P-49	P-50	P-51	P-52	P-53	P-54	P-55	P-56	P-57	P-58	P-59	P-60	P-61	P-62
P-63	P-64	P-66	P-68	P-69	P-70	P-71	P-72	P-75	P-76	P-79	P-80	P-81	P-82	P-83	P-85	P-86	P-87	P-88
P-89	P-90	P-91	P-92	P-93	P-94	P-95	P-96	P-97	P-98	P-99	P-100	P-101	P-102	P-103	P-104	P-105	P-106	P-107
P-108	P-109	P-110	P-111	P-112	P-113	P-114	P-115	P-116	P-117	P-118	P-119	P-120	P-121	P-122	P-123	P-124	P-125	P-126
P-127	P-128	P-129	P-130	P-131	P-132	P-133	P-134	P-135	P-136	P-137	P-138	P-139	P-140	P-141	P-142	P-143	P-144	P-145
P-146	P-147	P-148	P-149	P-150	P-153	P-154	P-156	P-157	P-158	P-160	P-162	P-163	P-164	P-165	P-166	P-167	P-168	P-169
P-170	P-171	P-172	P-173	P-174	P-176	P-177	P-178	P-180	P-181	P-183	P-184	P-185	P-186	P-188	P-189	P-190	P-192	P-193
P-195	P-196	P-197	P-198	P-200	P-201	P-203	P-204	P-205	P-206	P-207	P-208	P-209	P-212	P-213	P-214	P-216	P-217	P-218
P-219	P-221	P-222	P-224	P-225	P-226	P-227	P-229	P-231	P-234	P-235	P-238	P-239	P-241	P-242	P-244	P-245	P-246	P-247
P-250	P-252	P-253	P-254	P-255	P-256	P-257	P-258	P-259	P-260	P-261	P-262	P-263	P-264	P-265	P-266	P-267	P-268	P-269
P-270	P-271	P-273	P-274	P-275	P-276	P-277	P-279	P-280	P-281	P-282	P-283	P-284	P-285	P-286	P-287	P-288	P-289	P-290
P-291	P-292	P-293	P-294	P-295	P-296	P-297	P-298	P-299	P-300	P-301	P-302	P-303	P-304	P-305	P-306	P-307	P-308	P-9
P-16	P-24	P-36	P-38	P-65	P-67	P-73	P-74	P-77	P-78	P-84	P-151	P-152	P-155	P-159	P-161	P-175	P-179	P-182
P-187	P-191	P-194	P-199	P-210	P-211	P-215	P-220	P-223	P-230	P-232	P-233	P-236	P-237	P-240	P-243	P-248	P-249	P-309
P-310	P-7-A	P-25-A	P-47-A	P-150-A	P-156-A	PN-73	P-182-A	P-197-A	PN-225-A	PN1	PN2	P-265-A	PN3	PN4	P-308-A	PN5	PN6	PN8
PN9	PN10	PN11	PN12	PN13	PN14	PN15	P-320	PN16	PN17	PN18	PN19	PN20	PN21	PN22	PN23	PN24	PN25	PN26
PN27	PN28	PN29	PN30	PN31	PN32	PN33	PN34	PN35	PN36	PN37	PN38	PN39	PN40	PN41	PN42	PN43	PN44	PN45
PN46	PN47	PN48	PN49	PN50	PN51	PN52	PN53	PN54	PN55	PN56	PN57	PN58	PN59	PN60	PN61	PN62	PN63	PN64
PN65	PN66	PN67	PN68	PN69	PN70	PN71	PN72											

Grupo 2

P-2	P-3	P-4	P-5	P-7	P-8	P-10	P-12	P-13	P-14	P-15	P-17	P-18	P-19	P-20	P-21	P-22	P-23	P-25
P-26	P-27	P-28	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-39	P-40	P-43	P-44	P-45	P-46	P-47	P-48	P-50
P-51	P-52	P-53	P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-62	P-64	P-66	P-68	P-69	P-70	P-72	P-75	P-76	P-80	P-81
P-82	P-83	P-85	P-86	P-87	P-88	P-89	P-90	P-91	P-92	P-93	P-94	P-95	P-96	P-98	P-100	P-102	P-104	P-105
P-107	P-111	P-112	P-113	P-114	P-116	P-117	P-118	P-119	P-120	P-121	P-123	P-124	P-127	P-128	P-130	P-131	P-132	P-133
P-134	P-135	P-136	P-137	P-139	P-141	P-143	P-144	P-146	P-147	P-148	P-149	P-150	P-154	P-157	P-160	P-162	P-163	P-164
P-165	P-166	P-167	P-170	P-171	P-172	P-173	P-174	P-176	P-178	P-180	P-184	P-185	P-186	P-188	P-189	P-190	P-192	P-193
P-195	P-196	P-197	P-198	P-200	P-201	P-203	P-204	P-205	P-206	P-208	P-209	P-212	P-214	P-217	P-218	P-219	P-221	P-222
P-224	P-225	P-226	P-227	P-229	P-231	P-235	P-238	P-239	P-241	P-242	P-244	P-245	P-246	P-247	P-250	P-252	P-254	P-255
P-258	P-260	P-261	P-262	P-263	P-264	P-265	P-266	P-268	P-270	P-271	P-273	P-274	P-275	P-277	P-279	P-280	P-281	P-282
P-283	P-284	P-285	P-286	P-287	P-288	P-290	P-292	P-293	P-295	P-296	P-298	P-303	P-304	P-305	P-306	P-308	P-9	P-16
P-24	P-36	P-65	P-67	P-73	P-77	P-78	P-84	P-151	P-152	P-155	P-159	P-161	P-175	P-187	P-194	P-199	P-210	P-215
P-220	P-230	P-232	P-233	P-237	P-240	P-243	P-248	P-249	P-309	P-310	P-47-A	P-156-A	P-182-A	P-197-A	PN-225-A	PN1	P-265-A	PN3
P-308-A	PN5	PN8	PN9	PN10	PN11	PN12	PN13	PN14	PN15	PN16	PN19	PN21	PN22	PN24	PN25	PN26	PN29	PN30

PN31	PN32	PN33	PN34	PN35	PN36	PN37	PN38	PN39	PN40	PN42	PN43	PN44	PN46	PN47	PN49	PN50	PN51	PN52
PN53	PN54	PN55	PN58	PN59	PN60	PN61	PN62	PN63	PN65	PN66	PN67	PN69	PN70	PN71	1a	2a	3a	4a
5a																		

Grupo 3

P-2	P-3	P-5	P-8	P-13	P-17	P-18	P-19	P-20	P-21	P-22	P-23	P-25	P-27	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34
P-35	P-37	P-39	P-40	P-44	P-47	P-48	P-50	P-51	P-52	P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-62	P-64	P-66	P-68
P-69	P-70	P-72	P-75	P-76	P-81	P-82	P-83	P-85	P-86	P-88	P-89	P-91	P-92	P-93	P-94	P-96	P-98	P-100
P-102	P-104	P-107	P-111	P-113	P-116	P-117	P-118	P-120	P-121	P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-139	P-141	P-143	P-144
P-146	P-147	P-150	P-154	P-162	P-165	P-166	P-170	P-171	P-173	P-176	P-184	P-186	P-188	P-190	P-193	P-195	P-197	P-201
P-203	P-205	P-206	P-208	P-209	P-217	P-219	P-221	P-222	P-224	P-225	P-226	P-227	P-229	P-231	P-235	P-238	P-239	P-242
P-245	P-246	P-247	P-250	P-252	P-260	P-261	P-262	P-263	P-264	P-265	P-268	P-270	P-273	P-274	P-275	P-277	P-281	P-282
P-287	P-292	P-295	P-296	P-303	P-304	P-305	P-306	P-9	P-24	P-36	P-65	P-67	P-73	P-78	P-84	P-151	P-152	P-155
P-159	P-161	P-175	P-199	P-210	P-215	P-220	P-230	P-233	P-240	P-243	P-248	P-309	P-310	P-156-A	P-182-A	P-197-A	PN-225-A	PN1
P-265-A	PN3	P-308-A	PN5	PN10	PN12	PN13	PN16	PN21	PN22	PN25	PN26	PN32	PN33	PN34	PN35	PN36	PN37	PN38
PN39	PN40	PN42	PN43	PN44	PN46	PN47	PN49	PN51	PN52	PN53	PN54	PN55	PN58	PN60	PN62	PN66	PN67	PN69
PN70	PN71	1a	2a	3a	4a	5a	8a	9a	18a									

Grupo 4

P-8	P-13	P-17	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52
P-54	P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-111	P-116	P-120
P-121	P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-162	P-165	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-209	P-217
P-219	P-224	P-225	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-295
P-296	P-303	P-305	P-306	P-9	P-24	P-65	P-67	P-73	P-78	P-84	P-151	P-152	P-155	P-159	P-161	P-175	P-199	P-210
P-230	P-233	P-240	P-243	P-248	P-309	P-310	P-156-A	P-182-A	P-197-A	PN-225-A	PN1	P-265-A	PN3	P-308-A	PN13	PN16	PN21	PN22
PN26	PN33	PN34	PN35	PN38	PN39	PN42	PN43	PN46	PN51	PN52	PN53	PN54	PN55	PN60	PN62	PN67	PN69	PN70
1a	2a	3a	4a	5a	8a	9a	18a	12a	14a	15a								

Grupo 5

P-8	P-13	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-111	P-116	P-120	P-121
P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-162	P-165	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-209	P-217	P-219
P-224	P-225	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-295	P-296
P-303	P-305	P-306	P-24	P-65	P-67	P-73	P-78	P-84	P-159	P-161	P-199	P-210	P-230	P-233	P-240	P-243	P-309	P-156-A
P-	PN1	PN3	PN16	PN26	PN34	PN43	PN54	1a	2a	3a	4a	5a	8a	9a	18a	12a	14a	15a

182-A																		
6a	19a																	

Grupo 6

P-8	P-13	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-111	P-116	P-120	P-121
P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-162	P-165	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-209	P-217	P-219
P-224	P-225	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-295	P-296
P-303	P-305	P-306	P-65	P-67	P-78	P-161	P-199	P-210	P-230	P-233	P-240	P-243	P-309	P-156-A	P-182-A	PN1	PN16	PN34
1a	2a	3a	4a	5a	8a	9a	18a	12a	14a	15a	6a	19a	7a					

Grupo 7

P-8	P-13	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-111	P-116	P-120	P-121
P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-162	P-165	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-209	P-217	P-219
P-224	P-225	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-295	P-296
P-303	P-305	P-306	P-65	P-67	P-78	P-161	P-199	P-210	P-230	P-233	P-240	P-243	P-309	P-156-A	P-182-A	PN1	PN16	PN34
1a	2a	3a	4a	5a	8a	9a	18a	12a	14a	15a	6a	19a	7a	10a				

Grupo 8

P-8	P-13	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-111	P-116	P-120	P-121
P-123	P-131	P-132	P-133	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-209	P-217	P-219
P-224	P-225	P-226	P-229	P-238	P-239	P-245	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-295	P-296
P-303	P-305	P-306	P-65	P-67	P-78	P-161	P-199	P-230	P-233	P-243	P-156-A	P-182-A	PN42	1a	2a	3a	4a	5a
8a	9a	18a	12a	14a	15a	6a	19a	7a	10a	20a								

Grupo 9

P-8	P-13	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54
P-57	P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-116	P-120	P-121	P-123
P-131	P-132	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-209	P-219	P-224	P-226	P-229
P-238	P-239	P-245	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-295	P-296	P-303	P-305	P-306	P-65
P-78	P-199	P-243	P-182-A	PN42	1a	2a	3a	4a	5a	8a	9a	18a	14a	15a	6a	19a	7a	10a
20a	11a	21a	22a															

Grupo 10

P-13	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54	P-57
P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-85	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-116	P-120	P-121	P-123	P-131
P-132	P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-209	P-219	P-224	P-226	P-229	P-238
P-239	P-246	P-247	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306	P-161	P-182-A	PN42	1a
2a	3a	4a	5a	8a	9a	18a	14a	15a	6a	19a	7a	10a	20a	11a	21a	22a	23a	24a
25a																		

Grupo 11

P-13	P-18	P-19	P-22	P-23	P-25	P-29	P-30	P-31	P-32	P-34	P-35	P-37	P-44	P-47	P-48	P-52	P-54	P-57
P-58	P-60	P-61	P-64	P-69	P-70	P-82	P-83	P-86	P-91	P-93	P-98	P-102	P-116	P-120	P-121	P-123	P-131	P-132
P-136	P-143	P-147	P-164	P-166	P-170	P-171	P-173	P-190	P-195	P-205	P-207	P-209	P-219	P-224	P-226	P-229	P-238	P-239
P-246	P-252	P-260	P-262	P-264	P-270	P-275	P-277	P-281	P-296	P-303	P-305	P-306	P-161	P-182-A	PN42	4a	5a	8a
9a	14a	6a	19a	7a	20a	11a	21a	22a	23a	24a	25a	26a						

BIBLIOGRAFIA

1. Ahmed, S. and Gupta, C.P., 1996, Optimization of data collection network based on pre-set kriging variance, en Abstract Volume (3 de 3) 30th International Geological Congress, Beijing, China, Abstract No. 19-5-1503711 3243, 497 p.
2. Ahmed, S., 2004, Geostatistical Estimation Variance Approach to Optimizing an Air Temperature Monitoring Network, *Water, Air and Soil Pollution*, v. 158, 387-399.
3. Andricevic, R. and Georgiou, E.F., 1991, A transfer function approach to sampling network design for ground water contamination, *Water Resources Research* v.27 no.10, 2759–2769.
4. Aspie, D. and Barnes, R.J., 1990, Infill sampling design and the cost of classification errors, *Mathematical Geology* v. 22 no.8, 915–932.
5. Barnes R. J., 1989, Sample design for geologic site characterization, M. Armstrong (ed.), *Geostatistics*, Vol. 2, pp. 809-822, Kluwer Academic Publishers.
6. Bastin, G., Lorent, B., Duque, C. and Gevers, M., 1984, Optimal estimation of the average areal rainfall and optimal selection of rain gauge locations, *Water Resources Research* v. 20 no.4, 463–470.
7. Bogárdi I., Bárdossy A. and Duckstein L., 1985, Multicriterion Network Design Using Geostatistics, *Water Resources. Research*, v. 21, no. 2, 199-208.
8. Bras, R. L. and Rodriguez-Iturbe, I., 1976, Network design for the estimation of areal mean of rainfall events. *Water Resources Research* 12, 1185-1195.
9. Byrkit, Donald R., 1987, *Statistics Today*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, New York.
10. Cameron, K., and Hunter, P., 2000, Optimization of LTM networks using GTS: Statistical approaches to spatial and temporal redundancy, Air Force Center for Environmental Excellence, Brooks AFB, TX. (Online at <http://www.afcee.brooks.af.mil/er/rpo/GTSOptPeper.pdf>).
11. Carrera J. and Szidarovszky F., 1985, Numerical Comparison of Network Design Algorithms for Regionalized Variables, *Applied Mathematics and Computation*, 14, 189-202.
12. Carrera J., Usunoff E. and Szidarovszky F., 1984, A Method for Optimal Network Design for Groundwater Management, *Journal of Hydrology*, 73, 147-163.
13. Chilès, J. P. and Delfiner, P., 1999, *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*, Wiley, New York.
14. Christakos, G., 1992, *Random Field Models in Earth Sciences*, Academic Press, London.
15. CNA, 1992a, Estudio de exploración Geofísica y actividades geohidrológicas complementarias en el acuífero de la Laguna, Estado de Coahuila y Durango, 43 p.
16. CNA, 1992b, Actualización del estudio geohidrológico de la Comarca Lagunera, Coah-Dgo
17. CNA, 1997, Integración hidrogeológica del acuífero principal del Comarca Lagunera, Coahuila-Durango.
18. CNA, 1999, Estudio de Simulación Hidrodinámica de los acuíferos de la Comarca Lagunera, Coahuila y Cuenca alta del río Aguanaval Zacatecas, Contrato No. GAS-002-PRO-99.

19. CNA., 2002, Estudio de actualización continua del conocimiento del acuífero piloto, principal, Región Lagunera, Coah-Dgo Contrato No. SGT-GRCCN02030CE13 Moro Ingeniería S.C.
20. CNA., 2003, Estudio Geohidrológico en el acuífero somero de la Comarca Lagunera, Coah-Dgo Contrato No. GAS-004-PRO003 Servicios de Ingeniería e Investigación del Medio Ambiente, S.C.206 p.
21. Cressie, N., 1991, Statistics for spatial data, John Wiley and Sons, New York.
22. Conwell, P.M., Silliman, S.E., Zheng, L., 1997, Design of a piometer network for estimation of the sample variogram of the hydraulic gradient: The role of the instrument, *Water Resources Research*. v. 33 no. 11, 2489–2494.
23. Criminisi, A., Tucciarelli, T., Karatzas, G.P., 1997, A methodology to determine optimal transmissivity measurement locations in groundwater quality management models with scarce field information, *Water Resources Research*. v. 33 no. 6, 1265–1274.
24. Custodio, E., Llamas, M. R., 1983, *Hidrología Subterránea*, 2ª ed. Editorial Omega, Barcelona.
25. David, M., 1977, *Geostatistical Ore Reserve estimation*, Elsevier, Amsterdam.
26. David, M., 1988, *Handbook of applied geostatistical ore reserve estimation*, Elsevier, Amsterdam.
27. Dawdy, D. R., 1979, The worth of hydrologic data, *Water Resources Research*, v.15 no 6, 1726-1732.
28. Deutsch, C.V., 2002, *Geostatistical Reservoir Modeling*, Oxford University Press, New York.
29. Deutsch, C. V and A. G. Journel, 1992. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press, Oxford, 340 p.
30. Duckstein, L. and Kisiel, C.C., 1971, Efficiency of hydrologic data collection systems: Role of type I and type II errors, *Water Resources Research* v. 7 no. 3, 592–604.
31. Eguiliuz, A. S., Aranda G. M., y Marret, R., 2000, *Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México*, *Bol. Soc. Geol. Mex.*, v. 53, p. 1-26.
32. Gao H, Wang J, Zhao P., 1996, The update Kriging variance and optimal sampling design. *Mathematical Geology* v.28 no.3, 295–313.
33. Herrera, G., Júnez, H., González, L., y Cardona, A., 2004, *Diseño de una red de monitoreo de la calidad del agua para el acuífero Irapuato-Valle*, Guanajuato, AMH XVIII Congreso Nacional de Hidráulica San Luis Potosí, S.L.P.
34. Hsu, S. K., 1998, Plan for a groundwater-monitoring network in Taiwan, *Hydrogeol. J.*, v.6 no. 3, 405-415.
35. Hughes, J. P. and Lettenmaier D. P., 1981, Data Requirements for Kriging: Estimation and Network Design, *Water Resources. Research*. v.17 no.6, 1641-1650.
36. Hudak, P. F. and Loaiciga, H. A., 1993, An optimization method for monitoring network design in multilayered Groundwater flow system, *Water Resources Research* v. 29 no. 8, 2835–2845.
37. Hudak, P. F., 1998, A method for design configuration of nested monitoring wells near landfills, *Hydrogeol. J.*, v. 6 no. 3, 341-348.

38. Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989, An Introduction to applied geostatistics, Oxford University Press, New York.
39. IGRAC, (2006), Guideline on: Groundwater monitoring for general reference purposes, G. Jousma (Ed.), IGRAC, Report nr. GP2006-I
40. Jardine, K., Smith, L. and Clemo, T., 1996, Monitoring networks in fractured rocks: A decision analysis approach, *Ground Water*, v. 34 no. 3, 504–518.
41. Jones, D. A., Gurney, R. J. and O'Connell, P. E., 1979, Network design using optimal estimation procedures, *Water Resour. Res.* v. 15 no. 6, 1801–1812.
42. Journel, A.G., 1989, Fundamentals of geostatistics in five lessons, American Geophysical Union, U.S.A.
43. Journel, A.G. and Huijbregts, C. J., 1978, Mining geostatistics, Academic Press, London.
44. Kitanidis, P. K., 1997, Introduction to geostatistics: Applications to Hydrogeology, Cambridge University Press, Cambridge.
45. Langbein, W.B., 1979, Overview of conference on hydrologic data networks, *Water Resources Research* v. 15 no. 6, 1867.
46. Lettenmaier, D.P., 1979, Dimensionality problems in water quality network design, *Water Resour. Res.* v. 15 no 6, 1692–1700.
47. Loaiciga Hugo A., 1989, An Optimization Approach for Groundwater Quality Monitoring Network Design, *Water Resources Research.*, v. 25, no. 8, pp. 1771-1782.
48. Loaiciga, H. A., and Charbeneau, R.J., 1992 Review of groundwater quality monitoring network design, *J. Hydraul. Eng.* V. 118 no. 1, 11-37.
49. Molyka, J., 1998, A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks, illustrated by examples from Poland, *Hydrogeol. J.* v. 6 no. 4, 469-482.
50. Moss, M. E., 1979, Some basic considerations in the design of hydrologic data networks, *Water Resources Research* v 15 no. 6, 1673-1676.
51. Olea, Ricardo A., 1984, Sampling Design Optimization for Spatial Functions: *Mathematical Geology*, v 16, no. 4, 369-392
52. Olea, Ricardo A., 1999, *Geostatistics for engineers and earth scientists*, Kluwer Academic Publishers, 303 p.
53. Organización Meteorológica Mundial (OMM No.-168)., 1994, *Guía de Prácticas Hidrológicas*, 5ª Ed.
54. Rouhani, S., 1985, Variance reduction analysis, *Water Resources Research* v. 21 no.6, 837–846.
55. Rouhani, S., Hall T.J., 1988, Geostatistical schemes for groundwater sampling: *Journal of Hydrology*, v.103, 85–102.
56. Samper, F.J. y Carrera, J., 1990, *Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología subterránea*, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona.

57. Sinclair, J. y Blackwell, G., 2002, Applied Mineral Inventory Estimation, Cambridge University Press, Cambridge.
58. Sophocleous, M., Paschetto, E. and Olea, R.A., 1982, Groundwater network design for Northwest Kansas, using the theory of regionalized variables, Groundwater v. 20 no 1, 48–58.
59. Storck, P., Wayland, J. E., Valocchi, A. J., 1997, A method for the optimal location of monitoring wells for detection of groundwater contamination in three dimensional heterogeneous aquifers, Water Resources Research, v. 33, no. 9, 2081-2088.
60. Switzer, P., 1979, Statistical considerations in network design, Water Resources Research, v.15 no 6, 1712-1716.
61. Taylor, C. J., Alley, W.A., Ground-Water-Level Monitoring and the Importance of Long-Term Water-Level Data, U.S. Geological Survey circular ; 1217, 68 p.
62. Virdee, T. S. and Kottegoda, N. T., 1984, A brief review of kriging and its applications to optimal interpolation and observation well selection, Hydrogeol. J., v. 29 no. 4, 367-387.
63. Zaidi, F. K., Ahmed, S., Dewandel, B., 2007, Optimizing a piezometric network in the estimation of the groundwater budget: a case study from a crystalline-rock watershed in southern India, Hydrogeology Journal v. 15, 1131-1145.