

TITULO

EVALUACION DEL IMPACTO PRODUCIDO EN MEDIOS POROSOS POR EFECTO DE LOS METODOS DE EXPLORACION SISMICA

AUTOR

CARLOS ANDRÉS MARTÍNEZ BONILLA
Cod. 199517247

FECHA

JULIO, 2002.

RESUMEN

Los programas de exploración sísmica seguirán siendo desarrollados debido a la continua búsqueda de nuevas reservas de petróleo y/o gas natural. En su desarrollo, se evalúa el impacto causado en superficie, sin determinar en muchos casos el causado por las detonaciones en el subsuelo. El presente proyecto describe que ocurre cuando las detonaciones penetran los acuíferos superficiales (medios porosos), aplicando fundamentos teóricos y se determinan sus efectos sobre el subsuelo. Los resultados de pruebas piloto en campo son analizados con respecto a la teoría para un área del piedemonte en los Llanos Orientales Colombianos. Se define un modelo matemático que refleja las condiciones hidrogeológicas bajo las cuales podrían afectar las detonaciones y presenta una simulación numérica, evaluando tal impacto en forma semicuantitativa mediante el programa VMODFLOW, para los estados Pre y Posdetonación. Con el procesamiento de las variables hidrogeológicas que pueden influir en el comportamiento de flujo del agua subterránea en las arenas del área de estudio, los resultados registrados gráfica y numéricamente dejan percibir que el cambio es despreciable en los patrones de flujo subsuperficial por efecto de las detonaciones a profundidades someras.

DESCRIPTORES

Hidrogeología, impacto, sísmica, detonaciones, medios porosos, aguas subterráneas, modelación, vmodflow.

INTRODUCCIÓN

La detonación de cargas explosivas introducidas en el subsuelo, ha sido el procedimiento más comúnmente usado para generar la energía sísmica en los métodos de prospección. Para determinar la influencia de dichas detonaciones sobre el agua subterránea y los medios porosos que componen los acuíferos superficiales, fueron estudiadas las características físicas e hidráulicas de las formaciones geológicas influenciadas. El presente estudio recoge los datos obtenidos en pruebas piloto de campo realizadas en una zona del piedemonte llanero, jurisdicción del Municipio de Aguazul (Departamento del Casanare), con características geológicas e hidrogeológicas representativas.

El sistema de prueba está compuesto por dos pozos para detonación y una red de nueve pozos de monitoreo, ubicados radialmente desde uno de los dos puntos de detonación, siendo ejecutadas cuatro sesiones de pruebas analizando los parámetros hidráulicos y fisicoquímicos antes y después de las detonaciones. La cuantificación de las condiciones hidráulicas de los acuíferos (conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, niveles de

la tabla de agua) y la modificación de las condiciones fisicoquímicas de las aguas presentes, son las herramientas para determinar la existencia de cambios, los cuales alterarían el comportamiento hidráulico y calidades del recurso agua.

Partiendo de las principales variables que pueden influir sobre el comportamiento del flujo de agua subterránea, se definió un modelo matemático del área que refleja las condiciones bajo las cuales podría tener efecto las detonaciones, es decir que tuviera en cuenta los horizontes y el acuífero presente, la topografía, la geología, etc., con esta información se elaboró la simulación numérica para evaluar de forma semicuantitativa las direcciones de flujo de agua subterránea predominante, empleando el programa de computador VISUAL MODFLOW.

La metodología empleada para la realización de la presente investigación se basó en la revisión preliminar y compilación bibliográfica de la información existente a nivel de cartografía, geología, hidrogeología, climatología, etc., definiendo el alcance del trabajo y el área de estudio. Se elaboró un modelo hidrogeológico conceptual, teniendo como referencia en el área de estudio los límites de flujo, las corrientes de agua superficial, la topografía, la malla y capas del modelo, los parámetros geohidráulicos, la recarga y los pozos de observación, evaluando finalmente los resultados obtenidos por la simulación para los estados Pre y Posdetonación, involucrando complementariamente el elemento de la calidad de las aguas presentes.

Como antecedentes, las investigaciones que hacen referencia al efecto de las detonaciones utilizadas en los métodos de exploración sísmica en búsqueda de hidrocarburos sobre los acuíferos han sido limitadas, sin embargo se debe resaltar el aporte de los trabajos hechos por Bond, W.E. en 1995, por Vogwill, R.Y. en 1979, por Sarria, A. y por la compañía Hidrogeocol, Ltda., en 1996. [1], [2], [3] y [4].

INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA LA EVALUACIÓN

El soporte del estudio lo constituyen los resultados obtenidos en las pruebas de campo, estableciendo el comportamiento de los acuíferos y corrientes de agua superficial presentes en el área seleccionada, después de la detonación de cargas explosivas en condiciones típicas de los programas de prospección sísmica (perforación de los pozos, procedimientos, tipo y cantidad de explosivo). [2]

El montaje en campo para las pruebas se compone de dos pozos para detonación y nueve pozos de monitoreo, ubicados radialmente a partir de uno de los dos puntos de detonación. Tal montaje con el propósito de establecer las características físicas e hidráulicas de los acuíferos y las condiciones fisicoquímicas del agua antes y después de las detonaciones, generando los parámetros que cuantificarán y evaluarán el impacto de las detonaciones.

Para los pozos de monitoreo la profundidad de perforación varía entre 7 y 27 mts, dependiendo de la ubicación en subsuelo de las capas permeables, logrando así, cuantificar los parámetros hidráulicos y extraer las muestras de agua para los análisis fisicoquímicos para una misma capa permeable productora de agua. El diámetro del hueco perforado para los pozos de detonación es de 8.9 a 10.2 cm. aprox. y la profundidad de perforación es de 15 mts.

Una vez finalizada la etapa de limpieza y desarrollo de cada uno de los pozos de monitoreo, se presentan las condiciones para desarrollar las Pruebas de Conductividad Hidráulica y de Bombeo, realizadas en los pozos de monitoreo antes y después (Pre - Pos) de las dos sesiones de detonación y una campaña de monitoreo. El propósito final de estas pruebas es la determinación de las condiciones hidráulicas antes y después de las sesiones de detonación,

comparar cuantitativamente los resultados, determinando preliminarmente su efecto sobre el medio poroso que conforman los acuíferos.

Pozo de Monitoreo	Detonacion No.1 Ago. 1995		Detonacion No.2 Oct. 1995		Sesiones de Monitoreo					Promedio Pos.	
	Conductividad Hidraulica, K [mts/dia]										
	Pre.	Pos.	Pre.	Pos.	Pos.	Pos.	Pos.	Pos.	Pos.		
PM01	0.360	0.430	0.500	0.510	0.530	0.440	0.430	0.530	0.540	0.4888	
PM02	1.090	1.250	1.470	1.450	1.270	1.260	1.040	1.110	1.020	1.2338	
PM03	0.420	1.730	1.460	1.510	1.310	0.720	1.200	0.800	1.480	1.2763	
PM04	0.005	0.005	0.005	0.005	0.007	0.010	0.010	0.005	0.003	0.0063	
PM05	0.050	0.020	0.040	0.050	0.020	0.030	0.020	0.020	0.020	0.0275	
PM06	0.570	0.480	0.450	0.480	0.410	0.430	0.450	0.720	0.410	0.4788	
PM07	-	-	-	-	-	-	-	0.030	0.010	0.0050	
PM08	0.300	0.200	0.510	0.530	0.630	0.650	0.650	0.420	0.520	0.5138	
PM09	1.500	1.250	1.750	1.630	1.280	0.720	0.070	1.120	1.200	1.1275	
PM10	0.270	0.280	0.500	0.470	0.410	0.560	0.350	0.390	0.320	0.4100	

Tabla No. 1. Resultados de las pruebas de bombeo y conductividad hidráulica, K [mts/dia]. [2]

MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

En el área de estudio, se evidencia la presencia de coluviones, compuestos por bloques de areniscas cubiertos por una matriz de carácter areno-arcilloso y por sedimentos de la formación Guayabo medio, la cual esta constituida por arcillolitas y por niveles de areniscas con matriz arcillosa de poco espesor. Partiendo de esta información y del análisis litológico desarrollado durante cada uno de los pozos de monitoreo y de acuerdo con la litoestratigrafía encontrada, en el subsuelo del área del proyecto aparecen dos niveles permeables intercalados con niveles de arcillolitas de espesor variable, en lo cual se soporta la definición del modelo hidrogeológico conceptual. Este modelo se establece mediante la definición unidades hidroestratigráficas, referidas a unidades con las mismas características litoestratigráficas y propiedades geohidráulicas, que para el caso de estudio se definen como:

Capa 1, correlacionada litoestratigráficamente con un nivel de areniscas que aflora en la parte alta fuera de la zona de estudio. Con base en las características texturales, se le asignó una conductividad hidráulica de 0.3 m/d un coeficiente de almacenamiento 0.1 y una porosidad eficaz del 15%.

Capa 2, correlacionada con el lecho de la quebrada Vegana, afluente de La Cachiza, que pasa por al zona de estudio. Con base en las características texturales, se le asignó una conductividad hidráulica de 0.2 m/d, un coeficiente de almacenamiento 0.00001 y una porosidad eficaz del 6%.

Capa 3, correlacionada con los niveles de arcillas reportado en las perforaciones como primera y tercer horizonte litoestratigráficos. Con base en las características texturales y los datos reportados en las pruebas de conductividad hidráulica (Ver Tabla No. 1) se le asignó una conductividad hidráulica de 0.005 m/d, un coeficiente de almacenamiento $1e-7$ y una porosidad eficaz del 4%.

Capa 4, corresponde con el primer nivel de arenas reportado en todas las perforaciones realizadas. Con base en las características texturales y los datos reportados en las pruebas de conductividad hidráulica (Ver Tabla No. 1) se le asignó una conductividad hidráulica de 1.2 m/d, un coeficiente de almacenamiento 0.0001 y una porosidad eficaz del 12%.

DISCRETIZACION MATEMATICA

Una vez definido el modelo hidrogeológico conceptual y las principales variables que pueden influir sobre el comportamiento del flujo de agua subterránea en la zona de estudio a nivel regional, se procedió a definir un modelo matemático del área de estudio que reflejara las condiciones bajo las cuales podría tener efecto las detonaciones, es decir que tuviera en cuenta los horizontes y el acuífero presente, la topografía, la geología etc. Esta información permitirá elaborar una simulación numérica para evaluar de forma semicuantitativa las direcciones de flujo de agua subterránea predominante.

Para lo anterior se empleó el programa VISUAL MODFLOW, el cual utiliza el método de las diferencias finitas de malla centrada para el planteamiento de la red de flujo, y cuenta con varios sistemas de solución para las matrices de ecuaciones diferenciales de flujo planteadas. La discretización del modelo matemático se realizó mediante la definición de las siguientes variables de entrada:

Límites de Flujo, que corresponde a las fronteras de dominio de flujo del modelo, es decir el área de estudio dentro de la cual el programa calcula la distribución de cabezas.

Corriente de Agua Superficial, como fuente superficial que puede interactuar con el acuífero del área, se definieron los cauces de las Quebrada No. 1 y No. 2, influenciadas por las Quebradas La Vegana y La Cachiza, de la siguiente forma: Quebrada No. 1 con una conductancia entre 5 y 10 m²/día y una lámina de agua de 30 cms. y la Quebrada No. 2 con una conductancia entre 2.5 y 10 m²/día y una lámina de agua de 50 cms.

La Quebrada No. 1 que cruza el área de la red de monitoreo es de carácter intermitente por la poca área de drenaje de la cuenca y por las características de baja permeabilidad del suelo. Permanece seca en época de verano y aumenta su caudal en época de lluvias con variaciones horarias. Los registros puntuales fueron tomados durante el primer monitoreo variando entre 0.42 y 0.67 litros/seg. Por su parte, la Quebrada No. 2 es un cauce perenne y define el flujo base en la zona sur occidental del área de estudio.

Topografía, con el fin de tener una mejor precisión en el subsuelo del área de trabajo se generó un archivo digital de la superficie del área mediante interpolación, basados en el levantamiento topográfico y cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC - para esa zona. Con base en la superficie del terreno, y conociendo los espesores de las diferentes unidades litoestratigráficas se generó la topografía para cada una de estas unidades.

Malla, o grilla que corresponde al número total de filas y columnas empleado para la realización del modelo matemático y define el grado de aproximación o precisión de los resultados debido a que por cada nodo (cruce entre una fila y una columna) el programa da una solución para la ecuación de flujo generando un valor de cabeza hidráulica. Para este caso se definió una malla de 95 filas por 87 columnas, lo que permite obtener una precisión en los resultados de 2 metros en el área de interés y de 8 m fuera de esta.

Capas del Modelo, las capas definidas y su respectivo espesor se muestran en la Figura No. 1, las cuales fueron las mismas que las definidas en el modelo hidrogeológico conceptual.

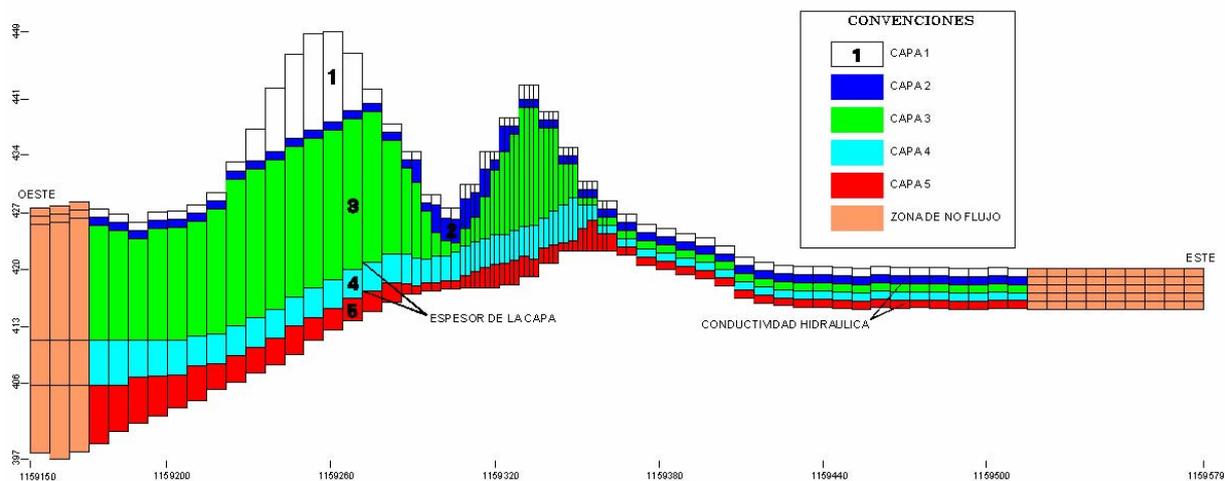


Figura No. 1. Capas litológicas empleadas en el modelo.

Parámetros Geohidráulicos, una de las variables más importantes dentro de un modelo hidrogeológico es la caracterización hidráulica de las unidades hidroestratigráficas definidas, la cual se basa en datos de pruebas de bombeo que se realizan por lo general antes de colocar los pozos en producción. Desafortunadamente estos parámetros son los menos conocidos debido a la falta de información, o debido a una mala metodología en la adquisición de los datos. Los principales parámetros geohidráulicos empleados para la realización de un modelo matemático son: *Conductividad Hidráulica (k)*, es la capacidad que tiene un medio de permitir el flujo de agua a través de él. *Coefficiente de Almacenamiento (S)*, es el volumen de agua que puede almacenar o aportar un medio poroso o acuífero por unidad de descenso o aumento de cabeza. *Porosidad Total*, es el volumen total de vacíos por unidad de volumen. *Porosidad Efectiva*, es la relación entre el volumen de vacíos interconectados y el volumen total de roca.

Para la simulación numérica a cada unidad hidroestratigráfica se le asignó un valor de conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y porosidad de acuerdo a los valores definidos previamente. Aún así durante el proceso de calibración de los modelos Pre y Pos Detonación, se evaluó la respuesta del modelo al cambio en estos parámetros, estableciendo la influencia de las detonaciones.

Capa	K (m/día)	S-Sy	ϕ_{ef}
A (1)	0.3	1e-6	0.15
B (2)	0.2	0.00001	0.06
C (3)	0.0005	1e-7	0.04
D (4)	0.4	0.0001	0.12
E (5)	0.0005	1e-7	0.04

Tabla No. 2. Parámetros geohidráulicos empleados para la realización del modelo matemático Pre-Detonación.

Capa	K (m/día)	S-Sy	ϕ_{ef}
A (1)	0.3	1e-6	0.15
B (2)	0.2	0.00001	0.06
C (3)	0.0005	1e-7	0.04
D (4)	1.2	0.0001	0.12
E (5)	0.0005	1e-7	0.04

Tabla No. 3. Parámetros geohidráulicos empleados para la realización del modelo matemático Pos-Detonación.

Recarga, teniendo en cuenta los valores regionales de precipitación para la zona se estableció un régimen bimodal donde los primeros ocho meses son de verano por lo que no se presenta una infiltración real sobre el área, mientras que los 4 meses de invierno se asume una infiltración efectiva de 15 mm/año.

Pozos de Observación, como forma de calibración del modelo matemático se incluyeron los valores de nivel estático obtenidos en campo de los diez (10) pozos de monitoreo construidos. La Tabla No. 5 muestra los valores empleados durante la calibración de la simulación numérica.

Pozo de Monitoreo	Longitud Total Revestida, [mts]	Detonacion No.1		Detonacion No.2		Sesiones de Monitoreo						
		Agosto 1995	Septiembre 1995	Octubre 1995	Noviembre 1995	Dic. 1995	Feb. 1996	Abr. 1996	Jun. 1996	Sep. 1996		
Nivel de Agua, [mts] - debajo de la tapa metálica												
PM01	15.20	6.640	5.199	4.864	5.51	6.235	6.230	7.085	7.090	7.570	5.205	4.875
PM02	9.20	5.108	3.612	3.281	3.866	4.650	4.650	5.500	5.505	5.980	3.620	3.280
PM03	12.20	6.758	5.343	5.002	5.602	6.365	6.375	7.210	7.220	7.710	5.340	5.000
PM04	5.30	4.565	4.249	2.905	4.058	3.370	2.880	4.130	3.440	3.390	1.580	1.360
PM05	26.50	17.110	9.135	7.257	8.266	8.535	8.470	9.515	9.290	9.770	7.500	7.200
PM06	14.20	6.159	5.600	5.511	5.652	6.475	6.240	7.120	7.270	7.850	5.360	4.890
PM07	23.70	Seco	Seco	Humedad	Humedad	5.900	5.200	5.520	5.590	4.380	3.730	3.370
PM08	12.00	5.445	4.834	4.728	4.898	5.680	5.460	6.340	6.500	7.090	4.645	4.100
PM09	11.20	7.710	7.623	7.613	7.635	7.805	7.755	8.570	8.560	9.000	7.590	7.560
PM10	15.20	13.278	13.090	12.954	13.115	13.575	13.545	14.430	14.450	14.635	12.995	12.190

Tabla No. 4. Valores de nivel estático utilizados para la calibración de la simulación numérica, [mts]. [2]

RESULTADOS PRE-POS DETONACION

A continuación se registran los resultados después de realizar el procesamiento de la información de campo y modelación de las condiciones Pre-detonación y Pos-detonación, estableciendo las características hidrogeológicas (Conductividad Hidráulica, Transmisividad y Coeficiente de almacenamiento) y características fisicoquímicas para evaluar cuantitativamente el efecto de las detonaciones sobre los acuíferos y corrientes de agua superficial en el área de estudio seleccionada.

Parámetros Hidrogeológicos

En las pruebas de conductividad hidráulica los valores obtenidos en campo oscilan en magnitudes muy cercanas a cero (0) m/día (zonas de muy baja permeabilidad) hasta magnitudes de seis (6) m/día (zonas de permeabilidades medias). En las tres sesiones de campo, las variaciones en la conductividad hidráulica después de las detonaciones son notorias solamente en los pozos de monitoreo más cercanos (No. 1 a 2 mts y No. 2 a 5 mts), sin embargo tienden a recuperar las condiciones hidráulicas iniciales.

En las pruebas de bombeo los valores de transmisividad obtenidos son bajos (menores de 1 m²/día), implicando conductividades hidráulicas menores que las arrojadas por la prueba. Los valores del coeficiente de almacenamiento también presentan valores bajos, del orden de 1e-6.

En la Figura No. 1 y No. 2 se muestra el resultado gráfico de la simulación numérica en la zona de estudio, sobre la capa 4 (arenas), para el estado predetonación y posdetonación, donde comparativamente la dirección sur-occidental hacia la quebrada la Vegana y la magnitud de flujo subterráneo es prácticamente despreciable.

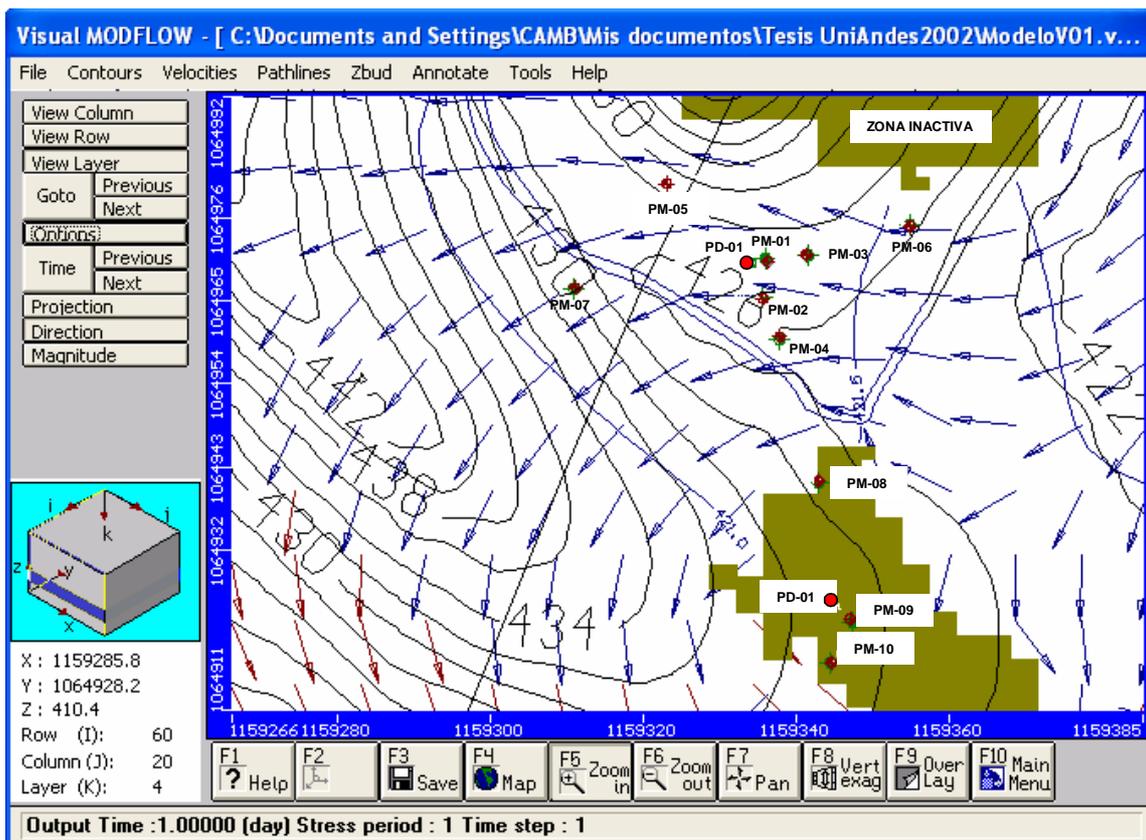


Figura No. 2. Detalle de los resultados de la simulación numérica en la capa 4 (arenas) – Predetonación.

La velocidad máxima de flujo obtenida para la simulación sobre la capa de arenas en el estado de Predetonación es de 0.1 mts/día con dirección suroeste hacia la quebrada La Vegana, con niveles de agua que varían entre 420.5 y 421.5 mts.

La velocidad máxima de flujo obtenida para la simulación sobre la capa de arenas en el estado de Posdetonación es de 0.14 mts/día, con niveles de agua que varían entre 421.0 y 422.0 mts.

Teniendo en cuenta que las variables hidrogeológicas que pueden influir en el comportamiento de flujo del agua subterránea en las arenas (medios porosos) del área de estudio, fueron involucradas en la simulación numérica realizada mediante VMODFLOW, es significativo el hecho que la información semicuantitativa registrada, se traduce en la ausencia de un cambio despreciable en los patrones de flujo subsuperficial por efecto de las detonaciones a estas profundidades.

Con las Figuras No. 3 y No. 4, se aprecia gráficamente la calibración de la modelación realizada para los estados de Predetonación y Posdetonación, mediante la relación de los niveles estáticos observados y calculados en [mts.], considerando un error medio para el primer estado de 0.59 y de 0.78 para el segundo.

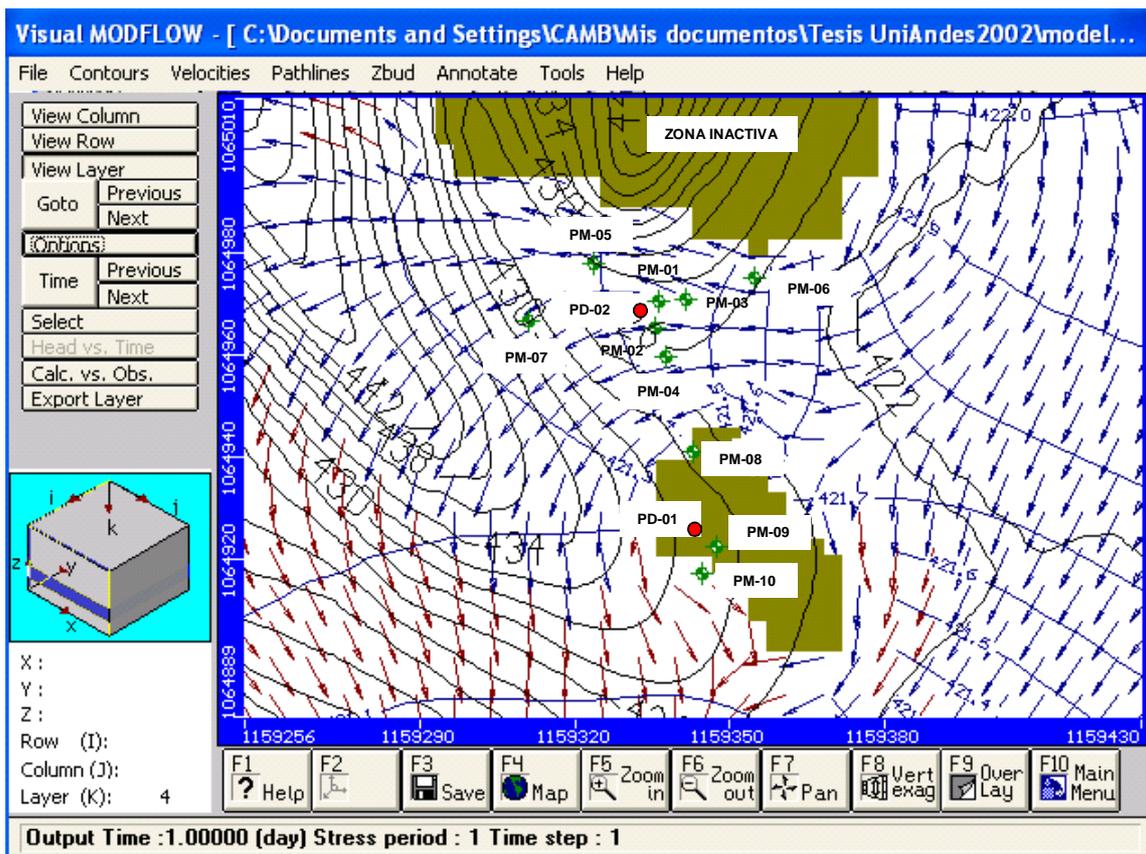


Figura No. 3. Detalle de los resultados de la simulación numérica en la capa 4 (arenas) – Posdetonación.

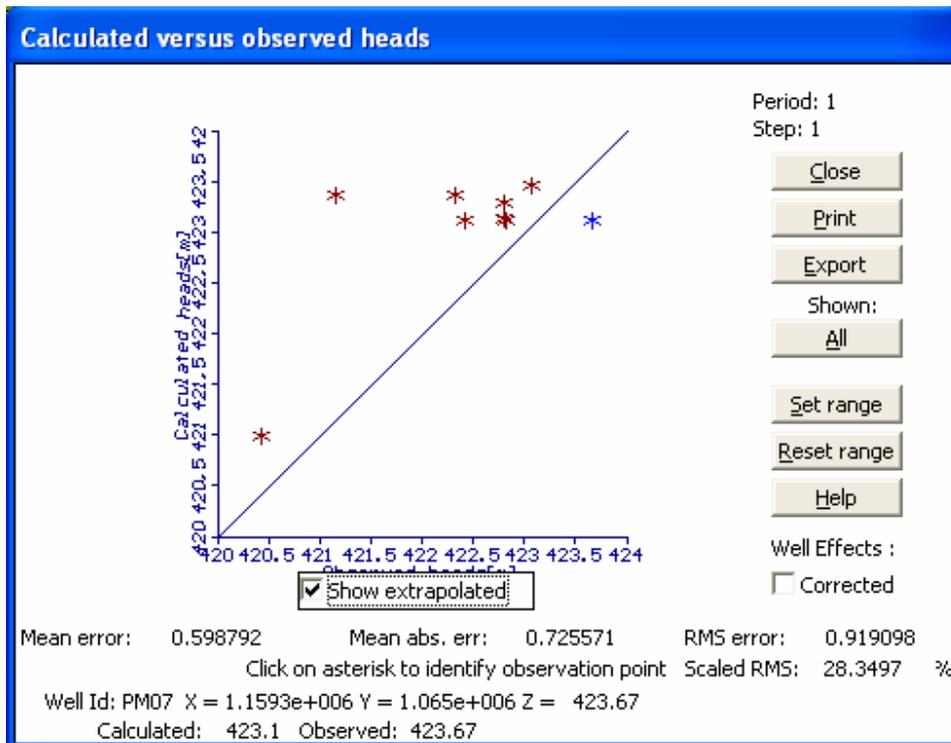


Figura No. 4. Calibración de la simulación numérica en Predetonación.

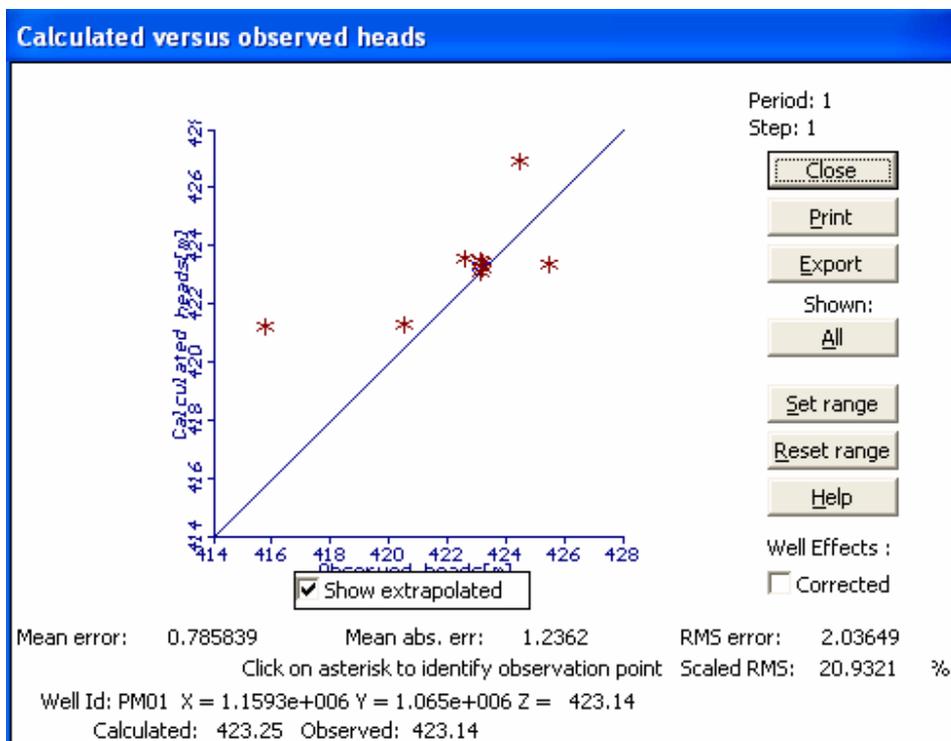


Figura No. 5. Calibración de la simulación numérica en Posdetonación.

Caracterización Físicoquímica

Como análisis complementario y con el fin de establecer una comparación y de esta forma evaluar el impacto o efecto de las detonaciones en la calidad físicoquímica del agua, se realizaron muestreos antes y después (Pre - Pos) de cada detonación [2]. Es así como se analizaron en laboratorio las muestras para determinar los principales parámetros de calidad, como siguen: sólidos disueltos, nitritos, nitratos, cloruros, hierro, magnesio, manganeso, sulfatos, calcio, carbonatos y bicarbonatos, sodio, potasio, sulfuros y fosfatos.

Para la primera detonación se realizaron cuatro muestreos, uno pre-detonación y tres pos-detonación. De otra parte, en la segunda sesión se tomaron cuatro muestras (dos Pre y dos Pos). De acuerdo con los resultados físico-químicos de las muestras de agua, las variaciones son despreciables entre la concentración de los parámetros Pre y Posdetonación, tal como representativamente lo muestran los resultados para el pozo de monitoreo No. 2.

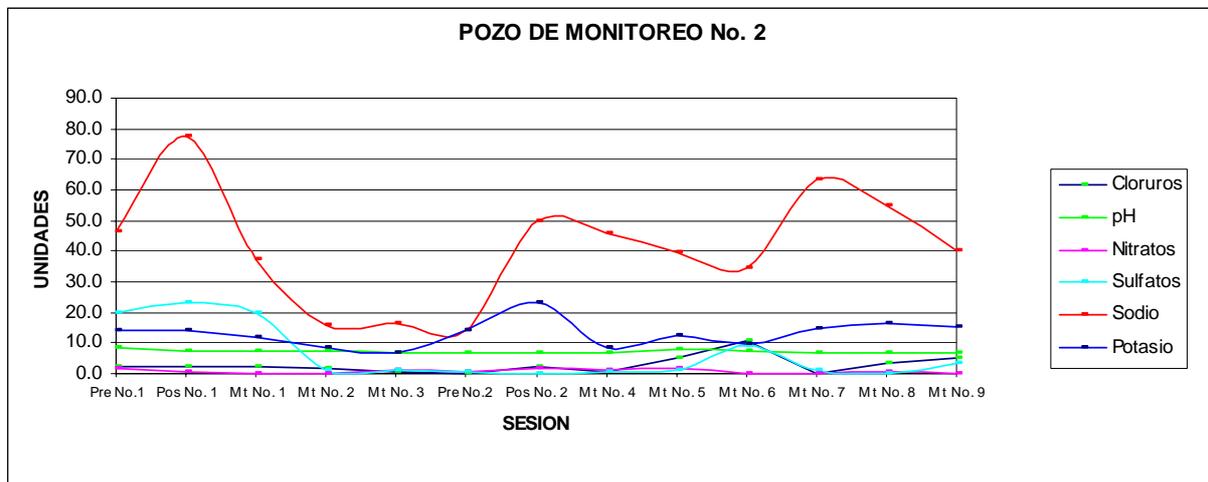


Figura No. 6. Presentación gráfica de los análisis físico-químicos de aguas Pre y Pos-Detonación. Pozo de Monitoreo No. 2.

CONCLUSIONES

Como resultado del estudio *Evaluación del Impacto Producido en Medios Porosos por Efecto de los Métodos de Exploración Sísmica*, se pueden emitir las siguientes conclusiones y recomendaciones :

El resultado gráfico de la simulación numérica en la zona de estudio, usando el sistema VMODFLOW para el estado predetonación y posdetonación, estableció comparativamente que el cambio en la dirección sur-occidental y la magnitud de flujo subterráneo es prácticamente despreciable. En los cortes norte-sur, la velocidad de flujo, la representación de la tabla de agua y los niveles piezométricos no tienen variación significativa.

La zona impactada por efecto de las detonaciones es menor a cinco metros, de acuerdo con los resultados de las pruebas de campo, teniendo en cuenta que el pozo de monitoreo No. 2, localizado a cinco metros del pozo de detonación no presentó ningún cambio hidráulico. Las características hidráulicas (Conductividad Hidráulica, Transmisividad y Coeficiente de

Almacenamiento) antes y después de las detonaciones (Pre - Pos) varían en forma despreciable, registrándose cambios menores en los niveles por el efecto de precipitaciones ocurridas en la época de realización de las pruebas.

En el pozo de monitoreo No. 1 ubicado a dos metros del pozo de detonación no sufrió impacto en su estructura física (revestimiento), sin embargo la conductividad hidráulica disminuyó después de realizada la detonación, efecto de la poca distancia entre los dos puntos y la compresión generada por la explosión. Por el misma causa, se presenta un incremento en los sólidos generando la liberación de sedimentos.

En la corriente de agua superficial cercana al área de estudio no se presentaron modificaciones físicas ni variaciones de consideración en su caudal por efecto de las detonaciones, de acuerdo con las pruebas de campo. Por su parte, de acuerdo con los resultados fisico-químicos de las muestras de agua tomadas en los pozos, las variaciones entre la concentración de los parámetros que determinan su calidad en los estados Pre y Posdetonación, es mínima.

Los resultados obtenidos mediante la definición de las variables que pueden influir sobre el comportamiento del flujo de agua subterránea, con el modelo matemático del área que refleja las condiciones bajo las cuales podría tener efecto las detonaciones y con la simulación numérica para evaluar de forma semicuantitativa las direcciones de flujo de agua subterránea predominante, empleando el programa de computador VISUAL MODFLOW, solo pueden ser válidos para las condiciones topográficas, geológicas y climáticas similares a las presentes en el área de estudio. Al existir variaciones en estas condiciones, la metodología seguida puede ser la base para establecer la influencia de las detonaciones en esta nueva área, donde se pretendería desarrollar actividades de exploración sísmica de hidrocarburos.

REFERENCIAS

Bond, E. W. *A Study of the influence of seismic shot holes on ground water and aquifers in eastern Montana*. Montana Bureau of Mines and Geology, State of Montana. Canada, 1975. [1]

Hidrogeocol Ltda. *Plan Piloto de Pozos de Monitoreo para Programas Sísmicos*, Informe Técnico presentado a BPX. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia 1996. [2]

Sarria, A. *Estudio de posibles efectos de cargas de dinamita para exploración geofísica, sobre nacederos de agua cercanos a las explosiones en la región de Palermo, departamento del Huila*". Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 1996. [3]

Vogwill, R. I. *The evaluation of the effects of seismic detonation on water wells*. Groundwater Division, Alberta Research Council. Canada, 1979. [4]