

MODELADO GEOESTADÍSTICO TRIDIMENSIONAL DE CUERPOS FLUVIALES Y COMPORTAMIENTO DE LOS RESERVORIOS, YACIMIENTO DIADEMA, CUENCA DEL GOLFO SAN JORGE, ARGENTINA

Larriestra Claudio¹, Gomez Hugo² y Curia David¹

¹Larriestra, Curia y Asociados

²Compañías Asociadas Petroleras S.A.

Resumen

El reservorio analizado corresponde al miembro Lower Garnet Zone A, Upper Complex (LGZA uc) de la formación Comodoro Rivadavia, compuesto en su mejor expresión por cinco arenas, siendo el objeto de este estudio el tope de la secuencia, donde se esta desarrollando un plan de recuperación secundaria que ha resultado uno de los de mejor producción del yacimiento.

Esta arena corresponde a un cuerpo de rumbo aproximado N-S interpretándose como un sistema de canales tipo *braided* a meandriforme con depósitos de desbordamiento hacia el oeste. Este depósito multiepisódico se ve truncado en su continuidad hidráulica al norte y al sur por fallas gravitacionales mientras que los límites E-O aun no se han alcanzado.

A partir de información petrofísica de pozo compuesta por perfiles eléctricos se construyó un modelo del reservorio utilizando kriging en tres dimensiones. Los perfiles empleados fueron SP y porosidad de la densidad estadísticamente normalizados mediante la técnica de *normal scoring*, a los efectos de otorgarles proporcionalidad en su respuesta ya que pertenecían a diferentes generaciones tecnológicas.

La importante cantidad de pozos empleados y su distribución equiareal permitió la estimación de un variograma tridimensional apoyado en un elipsoide de anisotropía de rumbo N-S en su eje mayor y de inclinación subhorizontal coincidentes con las direcciones de los cuerpos sedimentarios. Los límites del modelo tridimensional calculado fueron niveles guía continuos y el esquema de correlación interna fue el mas probable establecido a partir de la función de correlación espacial o variograma.

El modelo espacial de las arenas y las zonas con mejores condiciones petrofísicas no coincidían con los datos de producción acumulada. La continuidad y forma del modelo conjuntamente con otros estudios de ingeniería de reservorio concluyeron en reparaciones exitosas que incrementaron la producción de las arenas del complejo LGZA uc. Además se pudo predecir con bastante exactitud los espesores de capas y el comportamiento de perfiles (curvas de SP y porosidad) en pozos infill y de avanzada perforados con posterioridad.

Introducción

El objetivo del presente estudio fue confeccionar un modelo tridimensional de los reservorios involucrados en la secuencia Lower Garnet Zone A upper complex (LGZAuc), de la formación Comodoro Rivadavia, en una parte del Yacimiento Diadema Argentina, Comodoro Rivadavia, Provincia de Chubut (figura 1). El objetivo específico fue analizar en detalle la distribución espacial de las propiedades petrofísicas, a los efectos de inferir el posible comportamiento hidrodinámico de las distintas arenas en su respuesta a la inyección de fluidos. Los datos empleados en la construcción del modelo fueron los derivados de perfiles de pozo del tipo eléctrico y de porosidad. La cantidad de pozos empleados en este estudio (81) y su distribución aproximadamente equiareal, convertían al área en cuestión en una oportunidad favorable para realizar un análisis geoestadístico exhaustivo, por lo que se pudieron confeccionar modelos de variogramas lo suficientemente robustos a los efectos de aplicar la técnica de Kriging tridimensional en las estimaciones (Gomez y Larriestra, 1999).

Metodología

La **geoestadística** es la estadística de las *variables regionalizadas*, es decir todas aquellas series de datos (espaciales y/o temporales) cuyos valores individuales están relacionados entre sí por la distancia que los separa. Por ejemplo, el espesor de un reservorio de petróleo es una variable regionalizada y se encuentra espacialmente autocorrelacionada, de manera que si existen dos puntos cercanos serán probablemente mas parecidos entre sí que si estuvieran mas separados. Es decir, la similitud de los mismos varía con la distancia y muchas veces lo hace simultáneamente con la dirección. Esta hipótesis de autocorrelación es el corazón de cualquier algoritmo de estimación espacial, inclusive en la estimación manual (confección manual de mapas). En el presente estudio la estimación en un plano (“mapeo”) será reemplazada por la estimación en tres dimensiones (espacial).

La metodología empleada para el modelado tridimensional de la secuencia LGZAuc estuvo compuesta de los siguientes pasos:

- *Captura de Datos (Perfiles de Pozo)*
- *Normalización Estadística de Perfiles*
- *Análisis Estructural de los Datos (Variograma tridimensional)*
- *Grillado Tridimensional*
- *Análisis del Modelo*

Captura de Datos

Los datos generados en la operación de perfilaje fueron convertidos a formato digital bajo normas standard (Log Ascii Standard) de almacenamiento y escalas, incluyendo las correcciones ambientales correspondientes. Los perfiles utilizados fueron el potencial espontáneo y la porosidad derivada la densidad, debido al objetivo del trabajo (construir un modelo sedimentario-petrofísico) y a que la cantidad de perfiles disponibles fuera lo suficientemente importante como para aplicar las técnicas de estimación geoestadística. Además, como es indispensable tener definidas correctamente las condiciones de contorno del modelado (constituidos en este caso por el tope y la base del evento sedimentario), se definieron los límites superior e inferior siguiendo un criterio cronoestratigráfico, evitando involucrar secuencias vecinas que al participar de la interpolación tridimensional producirían un modelo espurio (Bashore et al, 1994).

Normalización Estadística de Perfiles

Si bien la mayoría de los perfiles pertenecen a una misma generación tecnológica, la presencia de pozos con perfiles más antiguos obligó a efectuar una normalización estadística (*normal scoring* ,

Deutsch y Journel, 1997) a los efectos de darle proporcionalidad a las respuestas, ya que valores anómalos (outsiders) podrían afectar el análisis variográfico y la interpolación posterior.

La técnica empleada consistió en la confección de histogramas para cada una de las propiedades y gráficos de dispersión entre pozos vecinos en la zona del reservorio, como paso previo a la normalización estadística. A manera de ejemplo de este proceso se muestra la traza de corte involucrando pozos (figura 2) cuyos datos de SP para el LGZA uc son normalizados geométricamente a una escala de 0 a 1.

Una vez que todas las curvas son llevadas a una misma escala y presentan una línea de base (arcillas) común, se procede a la comparación estadística de los pozos involucrados en el corte versus los valores del resto de los pozos. En la figura 3 se observan dos histogramas con la distribución de los valores de SP normalizados, en donde el histograma gris claro corresponde a la totalidad de los datos para el LGZA uc y en trazo continuo el histograma correspondiente a los pozos involucrados en el corte.

De esta manera se investigó la respuesta de cada pozo respecto al conjunto, a los efectos de que los posibles problemas de registro y/o digitalización no fueran trasladados al modelo tridimensional.

Como resultado de esta etapa se eliminaron sectores espurios de los perfiles que presentaban valores

constantes o anómalos y que diferían en gran medida del comportamiento normal de las curvas en el área.

Análisis Estructural de los Datos y modelización del Variograma

Consiste en la definición del modelo de variograma teórico que permitirá establecer la ley de variabilidad espacial de los datos y que será utilizada en la estimación geoestadística. Si se define por ejemplo, $Z(x)$ como el espesor de la formación en el punto $x=(x_1, x_2)$ y $Z(x+h)$ como la misma propiedad en el punto situado a h unidades de x , el *semivariograma* (llamado de aquí en mas variograma) queda establecido como sigue:

$$g(h) = \frac{1}{2n} \sum_S [Z(x) - Z(x+h)]^2$$

donde S es el soporte de definición, es decir todas las muestras separadas a una distancia h y $n=\#S$ (cardinal de S). Si los puntos de control están sobre una grilla regular el variograma se puede calcular directamente. En la práctica esto no sucede y los puntos de control tienen una distribución irregular en un plano o en el espacio. En estos casos para calcular un variograma es necesario definir el soporte con una tolerancia sobre el modulo y la dirección de h , de acuerdo a:

$$S = \{x, y : h - h/2 \leq \text{dist}(x, y) \leq h + h/2 \cap a(h) - \Delta a \leq a(h) \leq a(h) + \Delta a\}$$

Los variogramas tienen un conjunto de elementos que definen su comportamiento, estos son:

- Comportamiento en el origen: Se supone que si la distancia h es lo suficientemente pequeña, cada dato se parece a sí mismo y la cantidad es cercana a cero por lo que la función comienza a crecer desde el origen. Si por el contrario la mencionada es mayor que cero se esta en presencia de un efecto pepita (nugget effect). Este efecto es originado por fenómenos de regionalización de rango menor a la mínima distancia entre muestras, por errores de medición en la variable analizada o por comportamientos muy diferentes de la distribución normal gaussiana.
- Meseta (sill): valor al que alcanza el variograma y que se mantiene aproximadamente constante aunque aumente la distancia entre los datos y equivale a la varianza de los mismos.
- Rango: distancia a la cual se alcanza la meseta y que limita el fenómeno de regionalización, es decir la máxima distancia en la que se evidencia la influencia entre los datos.

En términos generales el procedimiento de ajustar un modelo de semivariograma consiste en la comparación del variograma experimental con un conjunto de modelos teóricos (combinados o no) que corresponden a funciones definidas positivas. Esta última condición asegura que 1) existe solución para la matriz del kriging, 2) que esta solución es única y 3) que la varianza de cualquier combinación lineal de los datos será siempre positiva (Isaacks y Srivastava, 1989; Deutsch y Journel, 1997).

La comparación entre ambos tipos de variogramas (experimental y teórico) se realiza en forma manual, (prueba y error) y está relacionado directamente con el tipo de variable, la cantidad de datos disponibles, su distribución espacial y la experiencia del investigador. La figura 4a ilustra variogramas experimentales (puntos aislados) y los correspondientes variogramas teóricos (línea llena) que mejor se ajustan a los valores de la curva SP y que serán utilizados en la estimación por Kriging. Los modelos teóricos ajustados son del tipo esférico con meseta 0.042 y rango de 510 y 420 metros respectivamente, representando la variabilidad direccional dentro del evento analizado, como se verá a continuación.

Anisotropía:

Una variable es anisótropa cuando su patrón de variabilidad espacial cambia con la dirección en que se consideran los datos. La anisotropía queda definida por una elipse (en dos dimensiones) o un elipsoide (en tres dimensiones) cuyos ejes mayor y menor se corresponden con las direcciones de mayor o menor continuidad de la variable y los mismos son proporcionales a los rangos de los variogramas en dichas direcciones. Existen dos tipos básicos de anisotropía, a saber: a) anisotropía geométrica donde los variogramas presentan la misma meseta pero el rango varía según las direcciones (por ejemplo valores de espesor en paleocanales) y b) anisotropía zonal o estratigráfica donde rango y meseta varían según las direcciones preferenciales.

Este último caso es bastante común cuando se modelan cuerpos sedimentarios a partir de perfiles de pozo como el caso que motiva este trabajo. En las figuras 4a y 4b se observan los variogramas del SP según el plano XY con su respectiva anisotropía areal y según el plano vertical respectivamente, donde se refleja el fenómeno mencionado de la anisotropía zonal. La meseta del variograma areal representa la variabilidad detectada dentro de las capas, mientras que la diferencia entre las mesetas del variograma vertical y el variograma areal representa la variabilidad entre los niveles estratigráficos (Kupfersberger y Deutsch, 1999).

Por otra parte la relación entre el máximo rango horizontal y el rango vertical define la razón de anisotropía y sus valores están relacionados al tipo de ambiente donde se generan los depósitos. Por último cabe señalar que en la mayoría de las aplicaciones de kriging tridimensional es necesario realizar una conversión de las coordenadas cartesianas originales a un sistema que se denomina coordenadas estratigráficas (Journel y Gomez-Hernandez, 1993), a los efectos de evitar anisotropías que no pertenecen al evento sedimentario analizado y que puedan deberse a causas externas (buzamiento regional, plegamientos, etc.). Esta conversión se realiza mediante la expresión:

$$Z'(x, y) = \frac{Z(x, y) - \text{tope}(x, y)}{\text{espesor}(x, y)} \in [0, 1]$$

Donde x e y son las coordenadas cartesianas en el plano, Z la profundidad del dato y Z' la nueva profundidad en coordenadas estratigráficas.

En un reservorio clástico implicaría que aunque el espesor sea variable, dicha variación (tasa de sedimentación) es proporcional y que no hay efectos marcados de acúñamiento o truncamiento por erosión, como se presume que es el caso en estudio. El análisis estructural de los datos (variogramas) y las estimaciones posteriores (kriging) son realizadas en este sistema estratigráfico y luego los resultados finales son reconvertidos al sistema cartesiano original (Chu, et. al. 1994).

Variograma del SP

En el gráfico de la figura 4a se puede apreciar que en el plano el variograma tiene un rango de 510 metros (en la dirección de mayor continuidad) mientras que en profundidad el rango es de 5 metros. Esta relación aproximadamente 100 veces menor entre los rangos horizontal y vertical es razonable para este tipo de ambiente (fluvial y planicie de inundación) como se verá mas adelante. Los variogramas horizontales muestran un efecto pepita de alrededor del 10% de la meseta, dando una idea de la incertidumbre originada por el espaciamiento entre pozos.

En la parte superior derecha de la misma figura se encuentra la elipse de anisotropía (geométrica) para el variograma areal (según el plano XY) con la dirección de menor variación de rumbo N-S a NNW-SSE aproximadamente. El sentido de esta variación está íntimamente relacionado a la dirección de los canales debido a que la mayor continuidad de facies detectada por el SP, se da en la dirección de mayor continuidad y la de mayor variabilidad se ubica generalmente a 90 grados de aquella.

En la recopilación de Kupfersberger y Deutsch (op. cit.) se señalan como rangos de variación posible para la razón de anisotropía en un ambiente fluvial, desde un mínimo de 3.75 (fluvial a marino somero, Stalkup 1986) a un máximo de 318 (fluvial alta montaña, Hufschmied, 1986) en diversas investigaciones relacionadas fundamentalmente a la permeabilidad. En el caso que nos ocupa la propiedad analizada (potencial espontáneo) solo esta relacionada parcialmente con la permeabilidad, pero la razón de anisotropía calculada se encuentra en una posición intermedia a los extremos citados, por lo que su valor es bastante razonable.

Variograma de la Porosidad

En las figuras 5a y 5b se observan los variogramas esféricos estimados para los planos horizontal y vertical de las arenas respectivamente. En el plano el variograma tiene un rango mayor de 320 metros (con efecto pepita del 17% con respecto a la meseta) mientras que en profundidad el rango es de 4 metros. Al igual que en la figura 4, en la parte superior derecha se muestra la elipse de anisotropía geométrica con la dirección de menor variación de rumbo N-S. El sentido de esta variación coincidiría con la dirección de los canales por lo que se podría afirmar que la porosidad estaría controlada en general por la arquitectura de aquellos. Esta afirmación estaría corroborada por testigos corona extraídos en el área (Gomez, H. com. pers.). La anisotropía zonal evidenciada en ambos variogramas, es decir distinta meseta según las direcciones vertical y la horizontal, se debe a la estratificación de los cuerpos captadas por el registro de pozo.

Grillado Tridimensional

Una vez elegido el modelo de variograma, se está en condiciones de proceder a la estimación por Kriging. A partir de puntos espacialmente dispersos (pozos) se calculan valores en los nodos de una grilla regular, mediante promedios pesados de dichos puntos de control vecinos. La estimación se efectúa con:

$$Z_{est} = \sum_{j \in S} W_j * Z_j$$

donde W_j son los pesos que se calculan resolviendo un sistema de ecuaciones lineales formulado a los efectos de minimizar la varianza de estimación. La magnitud de los pesos depende de la distancia y la distribución espacial de los puntos de control. Desde el punto de vista estadístico, el Kriging es el mejor (en el sentido de varianza mínima) estimador lineal insesgado (el error promedio de estimación es cero).

Utilizando una grilla de 50 x 50 metros según el plano y 0.3 metros en la dirección vertical se efectuaron los cálculos de las variaciones espaciales de esta propiedad a partir del modelo de variograma 3D mostrado mas arriba, alcanzando la construcción de una grilla tridimensional de 870000 nodos. La interpolación fue guiada en un sentido paralelo a la base del complejo analizado respetando la secuencia de depositación original, siguiendo de esta forma la sucesión de eventos geológicos que ocurrieron en el sector analizado.

De esta manera se obtuvieron grillas que representan esquemáticamente la variación más probable de la litología observada a partir de los perfiles de SP y de la petrofísica a partir de los perfiles de porosidad. Luego este modelo tridimensional fue analizado mediante cortes a los efectos de establecer su arquitectura geológico-sedimentaria.

Resultados

Análisis del Modelo

Potencial Espontáneo

La grilla calculada para el SP fue analizada mediante cortes transversales y longitudinales al rumbo de los cuerpos psamíticos y mediante graficado tridimensional de valores de esta propiedad que respondan al rango de arenas. La figura 6a es un corte estratigráfico longitudinal de rumbo norte-sur que atraviesa la parte central del modelo, donde se pueden apreciar las arenas que comprenden el complejo analizado y la variada continuidad de las mismas. El cuerpo superior es el mas continuo, de mayor espesor y que revista el mayor interés desde el punto de vista productivo. Hacia el sur, a partir del pozo f-114 y subsiguientes, comienza el desarrollo de lo que podría un nuevo canal con desarrollo hacia el SW en una actitud de corte y relleno sobre el principal. Esta tendencia se manifiesta de una manera más importante en el esquema tridimensional, como se ilustra más adelante.

La figura 6b es un corte normal al anterior donde se aprecia el carácter definido del canal que originó la sedimentación de la arena superior, con probables depósitos de desbordamiento hacia el oeste. El resto de las arenas son lentiformes en general y de espesor variable pareciendo ser el producto de sedimentación por flujos no canalizados, probablemente de desbordamiento.

La figura 7a muestra un panorama tridimensional visto desde el SE con un ángulo de visión de 45 grados donde se han graficado los valores de SP normalizados menores a 0.4 (involucrando arenas arcillosas y arenas limpias), pudiéndose apreciar la forma del canal del cuerpo superior, y los probables depósitos de desbordamiento. Hacia el SW aparece un nuevo canal del que el modelo solo involucra una porción y que posiblemente halla erosionado al principal en cuestión.

En la figura 7b se observa al modelo desde el mismo cuadrante anterior, pero con un ángulo de vista sub-horizontal, donde se aprecia que los cuerpos se encuentran desconectados verticalmente para este nivel de corte del SP. Además se puede concluir que el cuerpo superior tiene continuidad hacia el NE (bien definida) y hacia el sur con mas dudas donde aparecerían otros canales probablemente desvinculados.

Porosidad

El modelo de la porosidad posee mas incertidumbre que el anterior debido a la menor cantidad de pozos que poseen este registro, pero que con buen criterio el operador ha distribuido su ubicación homogéneamente en el área. El modelo tridimensional muestra que los valores mayores de porosidad se distribuyen geográficamente siguiendo las formas de los canales como se mencionara previamente en el estudio de los variogramas respectivos. La figura 8a es un corte transversal a la grilla de la porosidad incluyendo las curvas de SP de los pozos, donde el cuerpo canalizado de la primera arena presenta los mejores valores de la misma, observándose un detrimento de las condiciones petrofísicas hacia el oeste coincidiendo con lo que se interpreta como el comienzo de la zona de desbordamiento.

En la arena de la base del complejo también se puede observar el comportamiento variable de la porosidad, que aunque presente buena correlación a partir del SP no implica necesariamente que se puedan esperar los mejores valores de porosidad.

Ajuste y Poder de Predicción del Modelo.

El modelo bien ajustado es una herramienta que sirve para predecir el comportamiento de futuros pozos *infill* y de *avanzada*, no solamente en las cotas estructurales y espesores sino también en la forma más probable que tendrán los perfiles a registrar. El ajuste de un modelo se compone de dos

etapas, a saber: una *a priori* que se denomina *validación cruzada*, que consiste extraer un pozo conocido y reestimarlos con el modelo constituyendo en método iterativo que sirve para perfeccionar el mismo, y una etapa *a posteriori* que consiste en la comparación de pozos perforados después de la confección del modelo con los estimados para la misma ubicación. En la figura 9a se muestran el SP real y el estimado en un pozo infill al modelo donde las arenas señaladas con las letras A y B, no fueron estimadas por el modelo para la posición del nuevo pozo y coincidentemente no fueron registradas por el mismo. En la figura 9b se comparan los SP en un pozo de avanzada cerca de los límites del modelo.

En el corte de la figura 10a la curva SP estimada no detecta la arena señalada con la letra A del pozo a la derecha y nuevamente no fue detectada por el pozo. Por último en la figura 10b se ilustra un corte con la predicción de la porosidad efectiva estimada versus la calculada a partir del perfil de la densidad. En todos los casos el ajuste del modelo fue muy satisfactorio a la luz de las comparaciones *a posteriori* indicando que el complejo analizado (LGZA uc) tiene un comportamiento bastante predecible.

Conclusiones

El complejo LGZA uc fue depositado en un ambiente fluvial *braided* a meandriforme con depósitos de punta de barra y desbordamiento para el cuerpo superior, mientras que en las arenas inferiores predominarían cuerpos depositados bajo condiciones de flujos menos canalizados y que en su mayoría podrían ser del tipo *crevasse splays*. Los mejores valores de porosidad son esperados en las zonas de mayor espesor, especialmente en los canales, aunque no sea demostrable una linealidad entre estos dos parámetros, debido a que efectos post-sedimentarios podrían haber afectado a las propiedades petrofísicas iniciales confiriéndole al conjunto una incertidumbre adicional.

Además la Geoestadística tridimensional ha probado ser una herramienta eficiente de integración de datos de pozo en el espacio. Su bajo costo de implementación y el hecho de que para este tipo de estudios solamente son necesarios los datos existentes en la compañía (es decir no es necesario nueva registración), convierten a esta técnica en un método inmejorable para la confección de modelos geológicos mas aproximados a la realidad. El presente caso no es una excepción y conjuntamente con el resultado del análisis de ingeniería de reservorio, contribuyó al incremento de la producción del proyecto de recuperación secundaria que involucra a los pozos del complejo LGZA uc. Por otro lado, la metodología empleada en el análisis estadístico de los perfiles, demostró ser suficiente como para contemplar los diferentes tipos de datos, su normalización e integración al modelo tridimensional.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento a la firma CAPSA por la autorización a publicar estos resultados y especialmente a los Drs Miguel Cassina y Pedro Palacios por el apoyo brindado.

Bibliografía citada en el texto

- Bashore, W., Araktingi, U., Levy, M. y Schweller, W., 1994 "Importance of Geological Framework and Seismic Data Integration for Reservoir Modeling and Subsequent Fluid-Flow Predictions", Stochastic Modeling and Geoestistics, Yaros J. y Chambers R. Eds., Computers Applications in Geology, AAPG, 3, 379 pgs.
- Chu, J., Xu, W. y Journel, A., 1994 "3-D Implementation of Geoestistical Analyses-The Amoco Case Study", Stochastic Modeling and Geoestistics, Yaros J. y Chambers R. Eds., Computers Applications in Geology, AAPG, 3, 379 p.
- Deutsch, C. y Journel, A., 1997 "GSLIB: geostatistical software library and user's guide", Oxford University Press, 340 p.
- Gomez, H. y Larriestra, C., 1999 "Modelado Geoestadístico Tridimensional de Reservorio y su implicancia en la Producción: Yacimiento Daidema, Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina", IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Argentina, 1, p. 907-908

Hufschmied, P., 1986, "Estimation of three dimensional statistically anisotropic hydraulic conductivity field by means of single well pumping tests combined with flowmeter measurements", *Hydrogeologie*, v. 2, p. 163-174.

Isaacks, E. y Srivastava, M., 1989 "An introduction to applied geostatistics", Oxford University Press, 561 p.

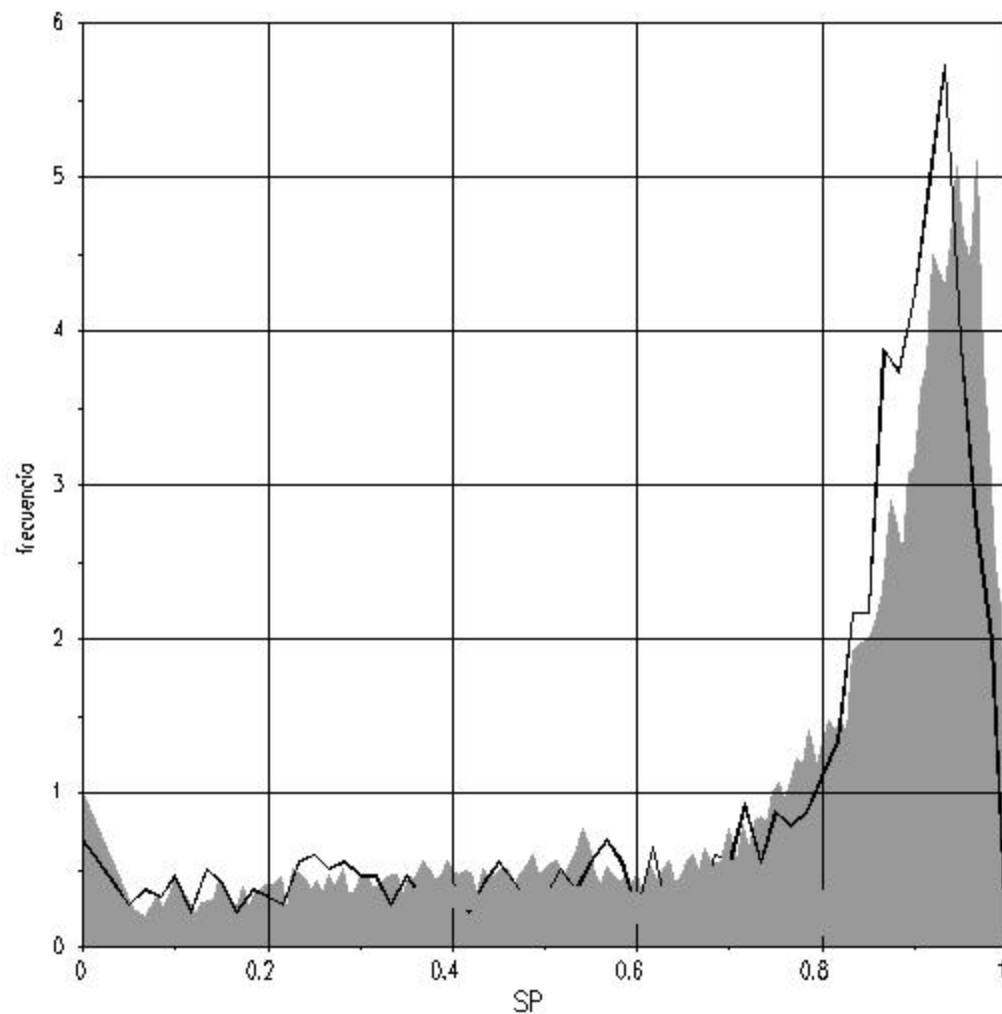
Kupfersberger, H. y Deutsch, C., 1999 "Methodology for Integrating Analog Geologic Data in 3-D Variogram Modeling", *AAPG Bulletin*, v. 83, Nro. 8, p. 1262-1278.

Stalkup, F., 1986 "Permeability variations observed at the faces of crossbedded sandstone outcrops", *Reservoir Characterization II*, Carroll, H. Y Wesson, T. Eds., Orlando, Florida, Academic Press, p. 141-175.



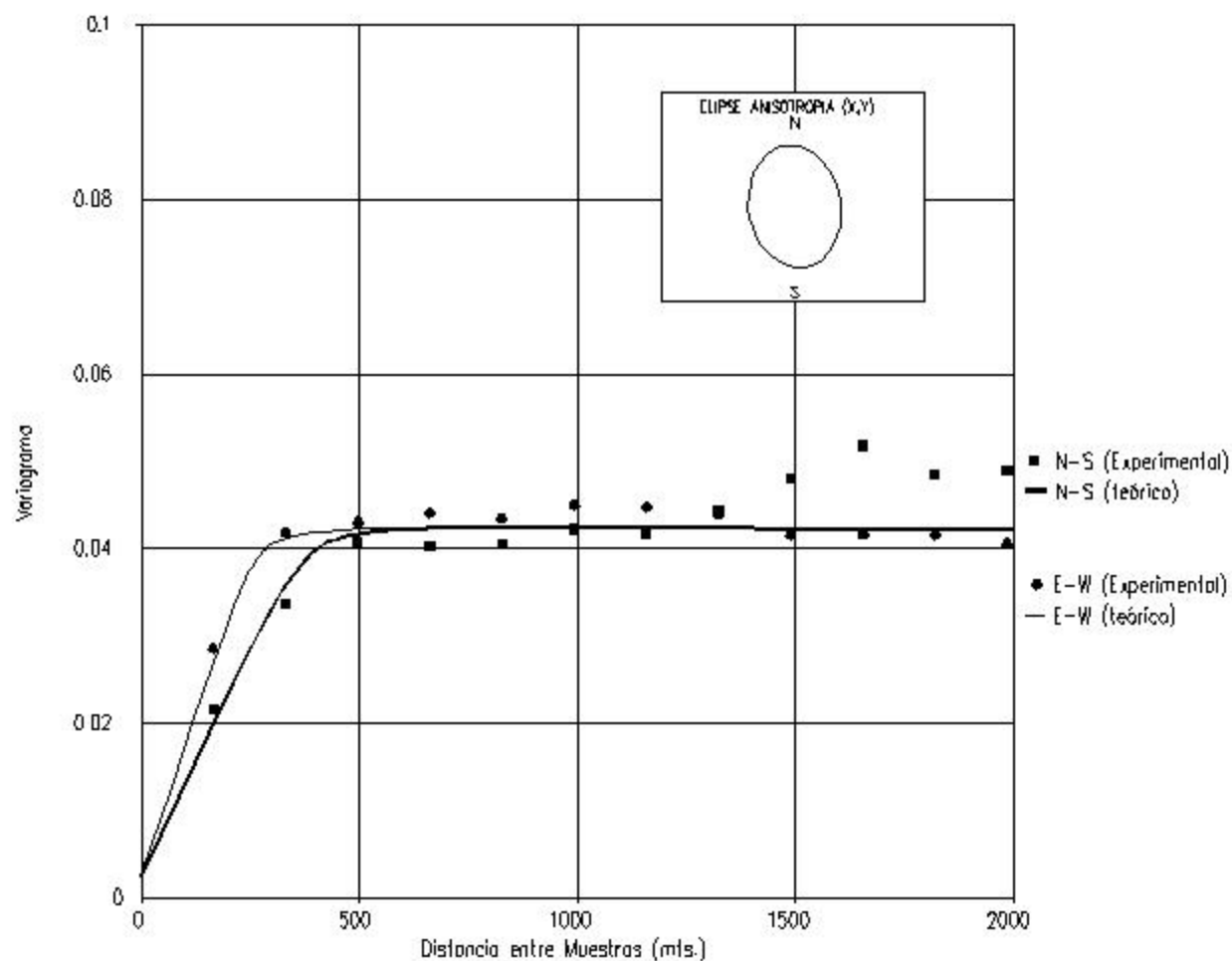
FIGURA 1

FIGURA 2



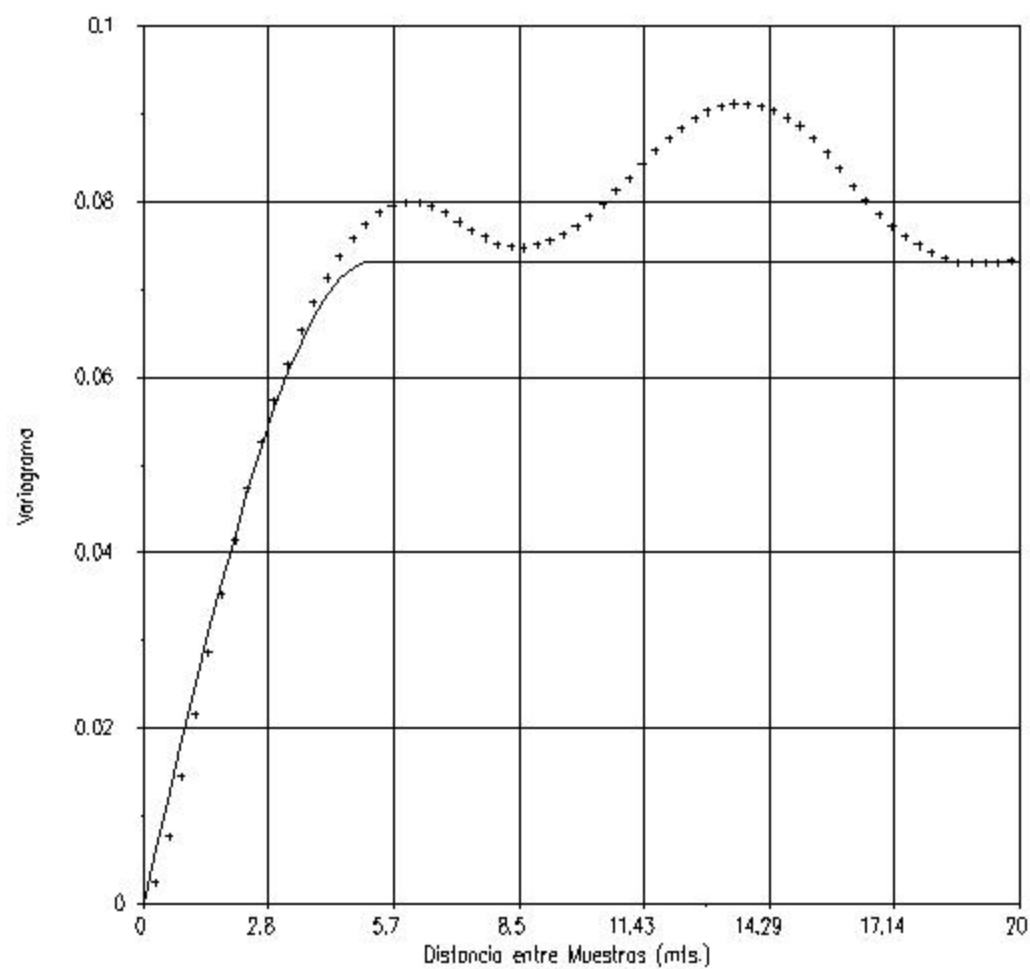
— HISTOGRAMA de pozos del corte
■ HISTOGRAMA del resto de los pozos

FIGURA 3



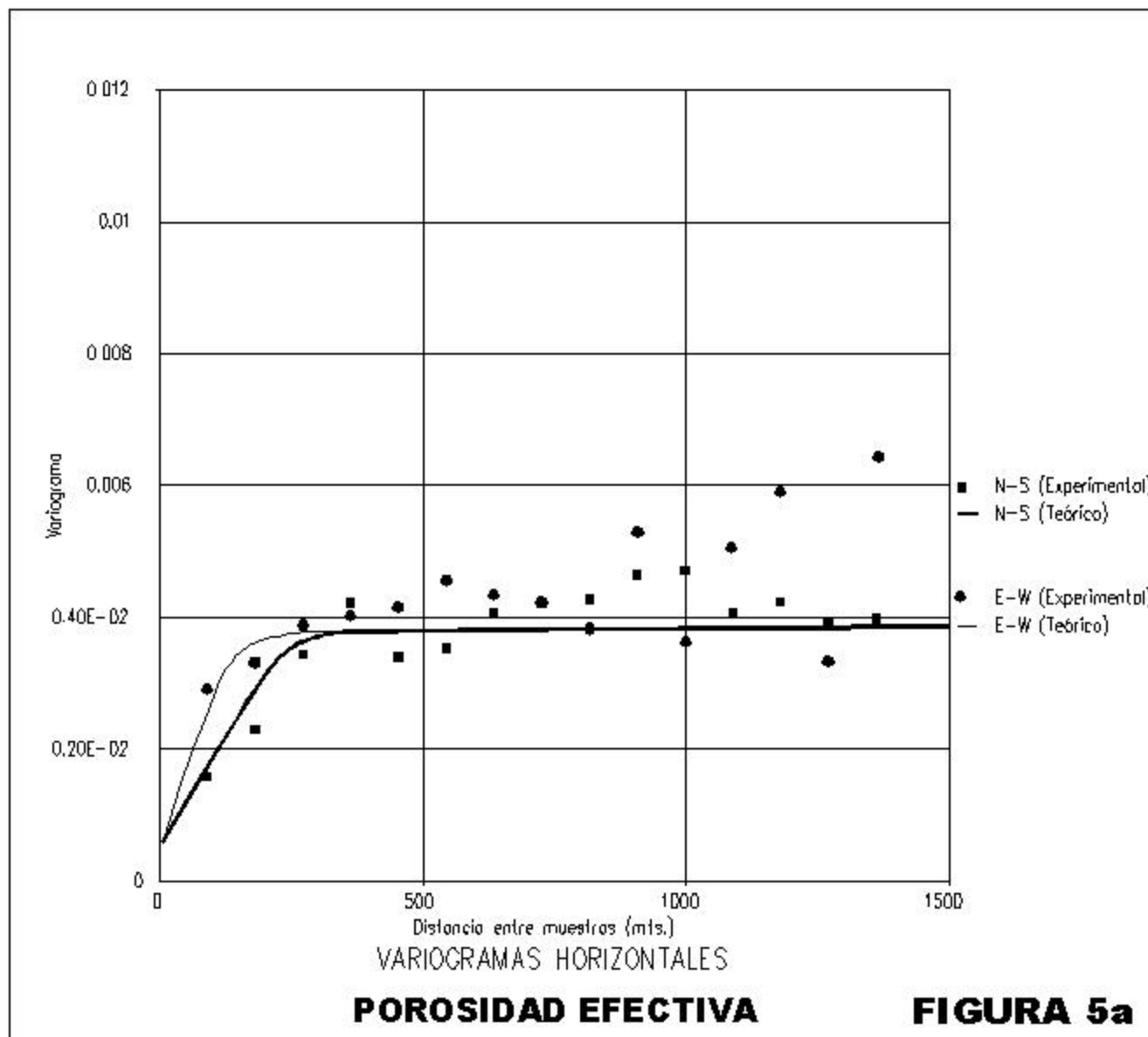
POTENCIAL ESPONTANEO

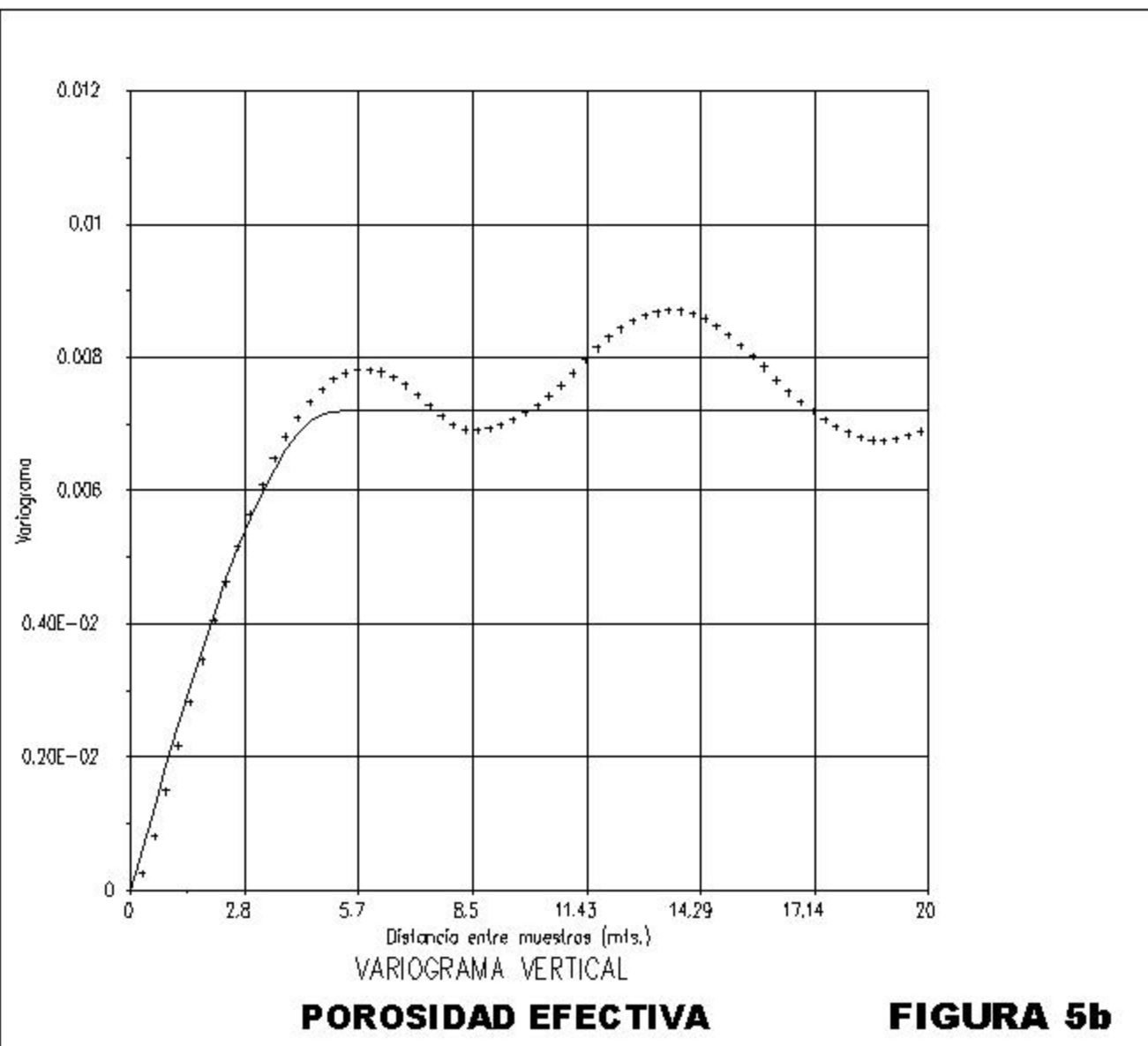
FIGURA 4a



POTENCIAL ESPONTANEO

FIGURA 4b





MODELO 3D - POTENCIAL ESPONTANEO
CORTE ESTRATIGRAFICO LONGITUDINAL

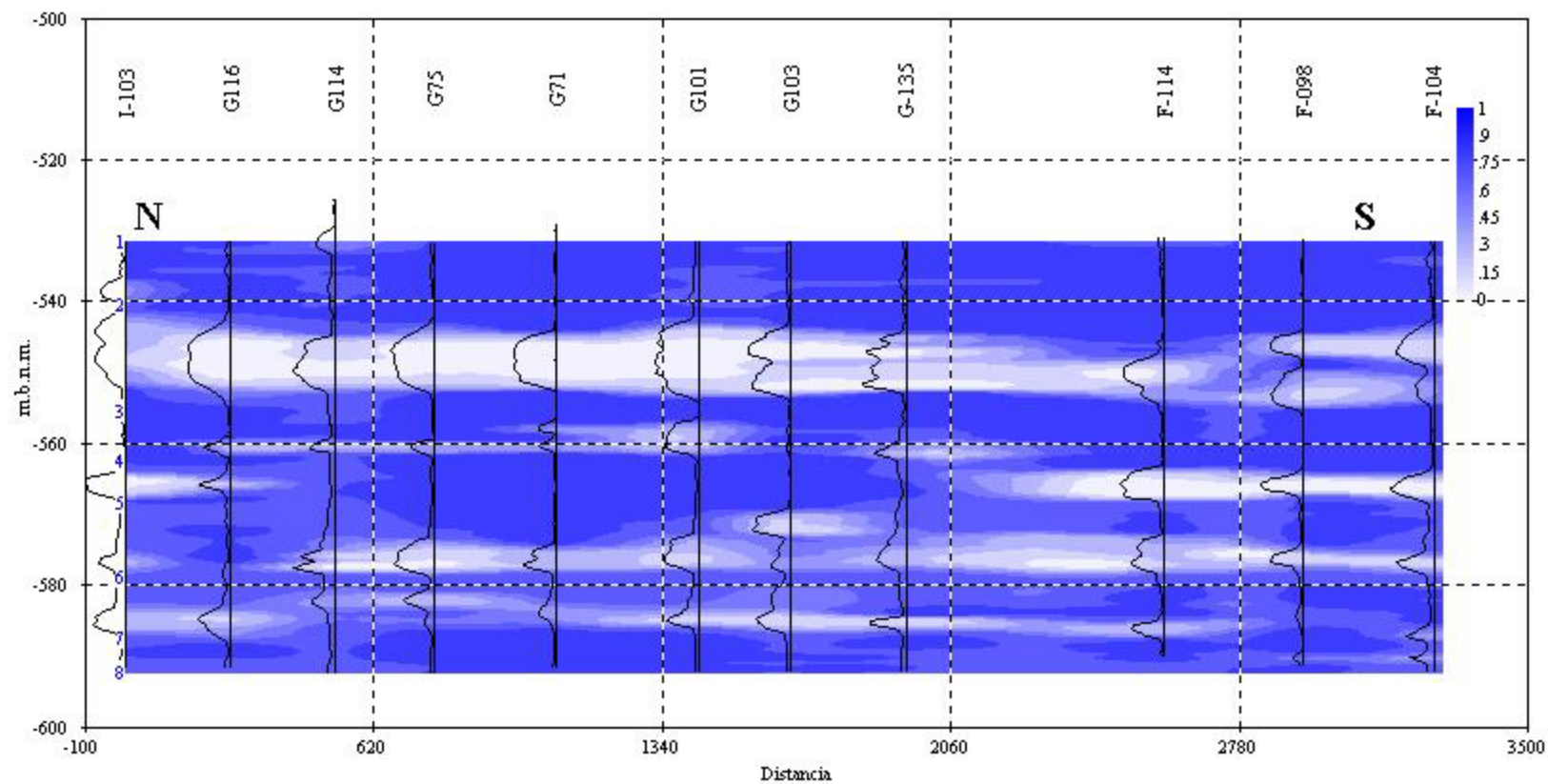


FIGURA 6a

MODELO 3D - POTENCIAL ESPONTANEO
CORTE ESTRATIGRAFICO TRANSVERSAL

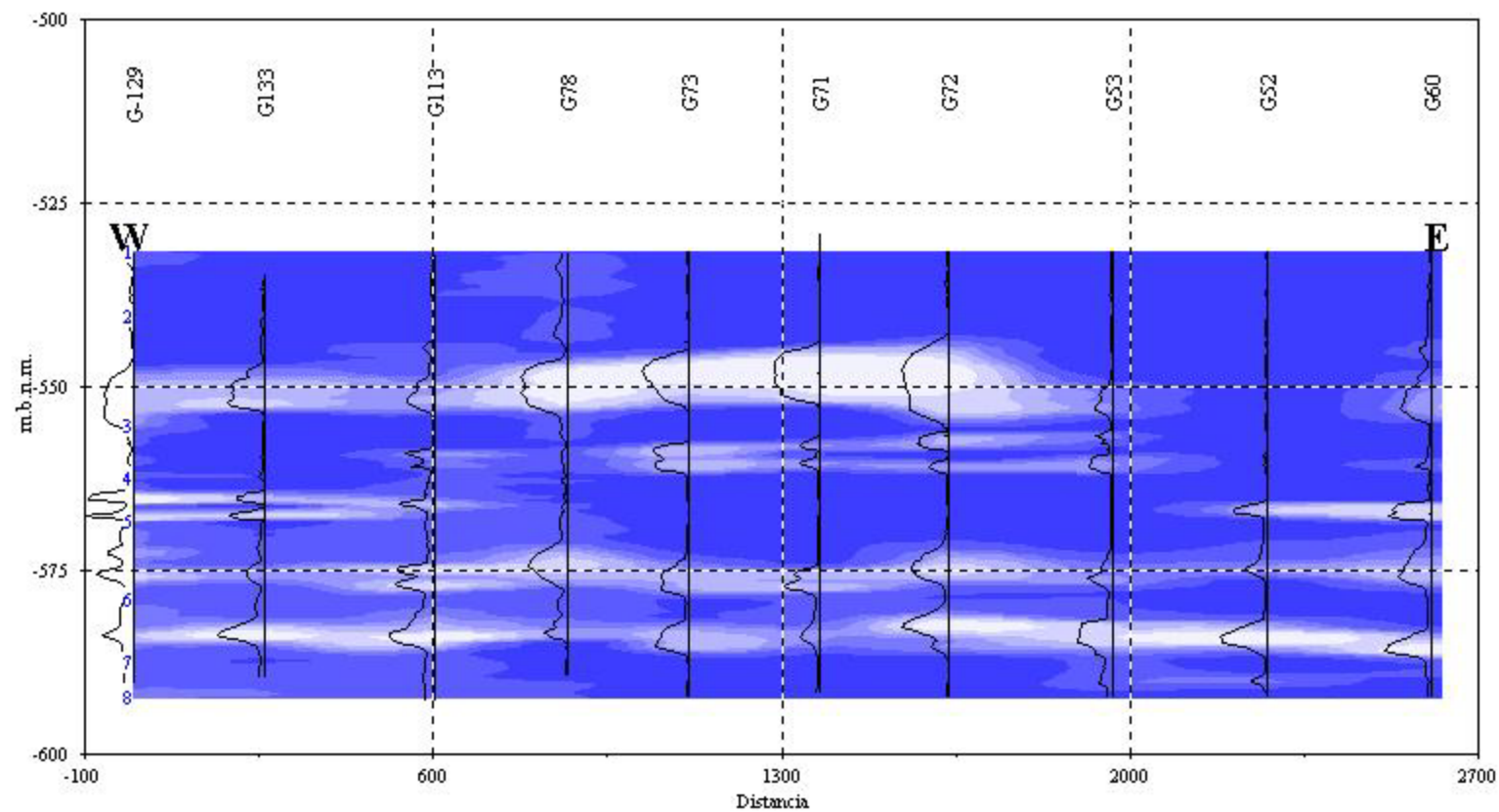


FIGURA 6b

MODELO 3D del SP de la ARENA SUPERIOR

Valores de SP Normalizado menores a 0.40 (Arenas limpias a arcillosas)

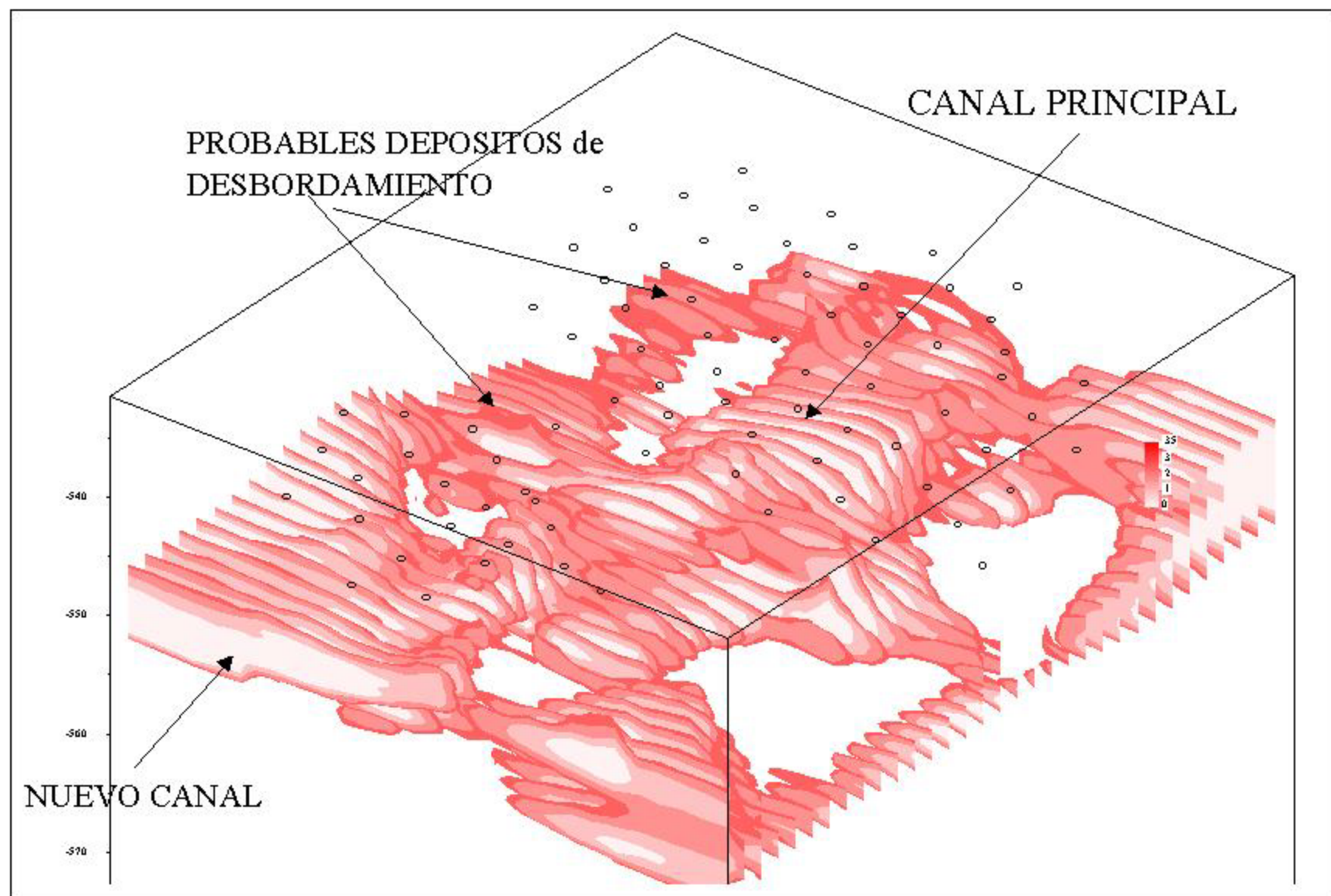


FIGURA 7a

MODELO 3D del SP
Valores de SP normalizado menores a 0.40

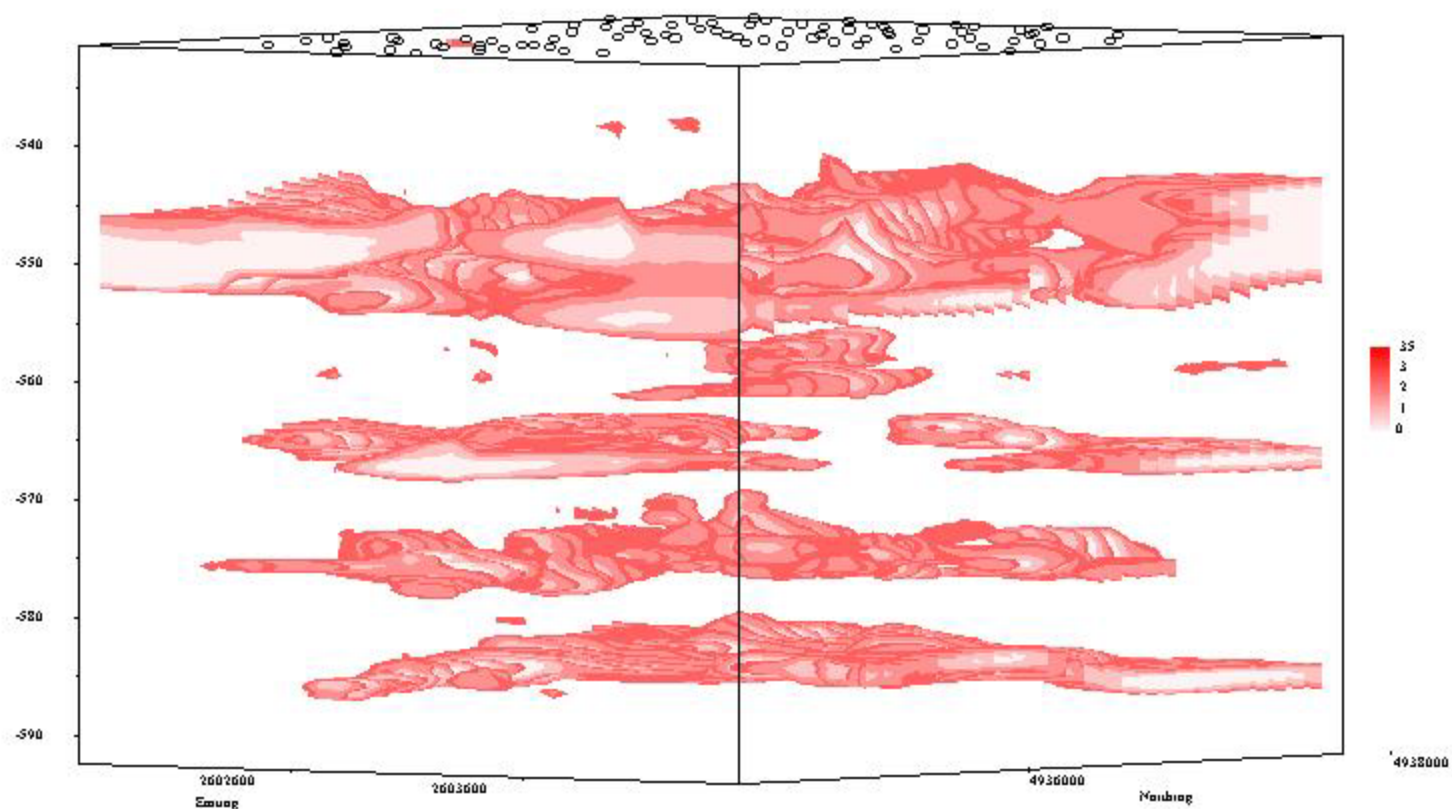


FIGURA 7b

MODELO 3D - POROSIDAD EFECTIVA
CORTE TRANSVERSAL

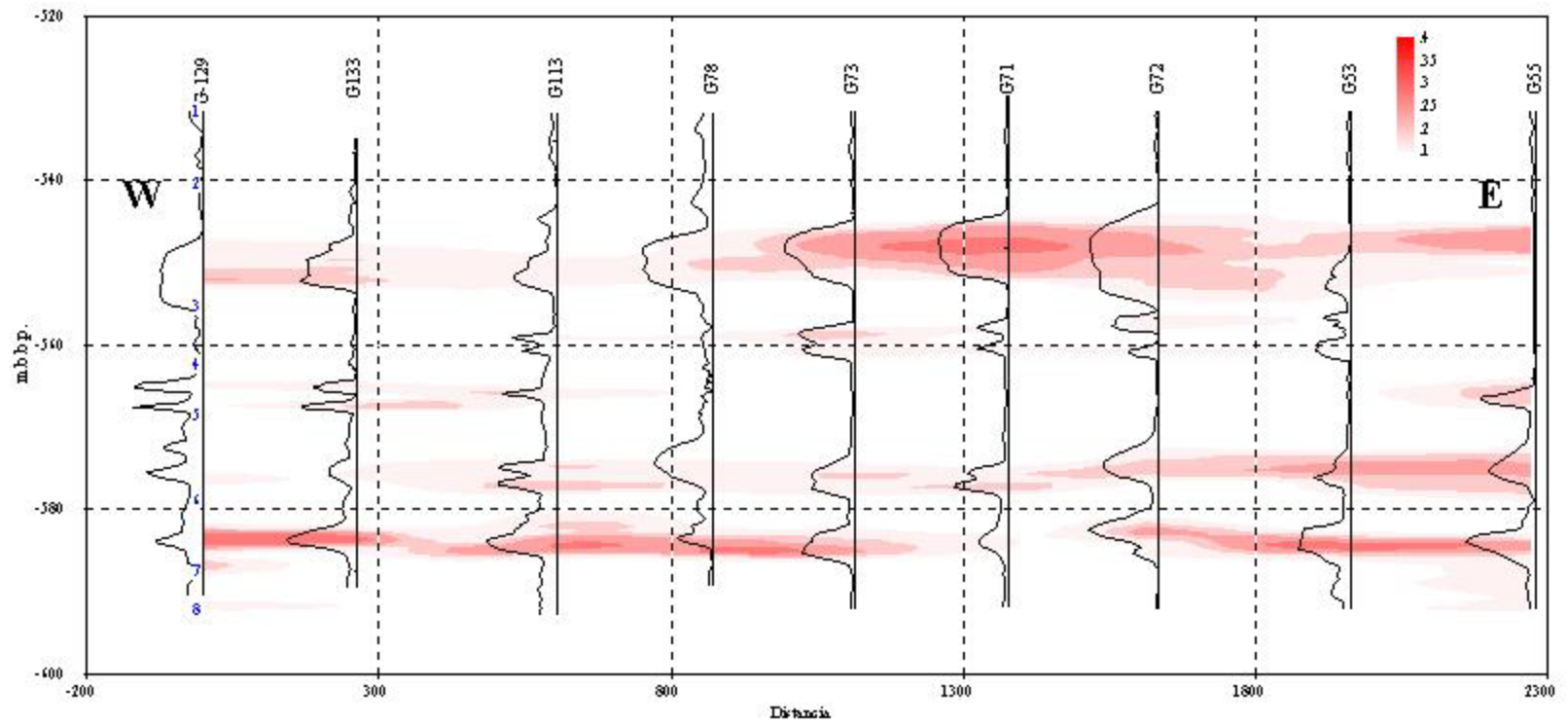


FIGURA 8a

MODELO 3D - POROSIDAD EFECTIVA

CORTE LONGITUDINAL

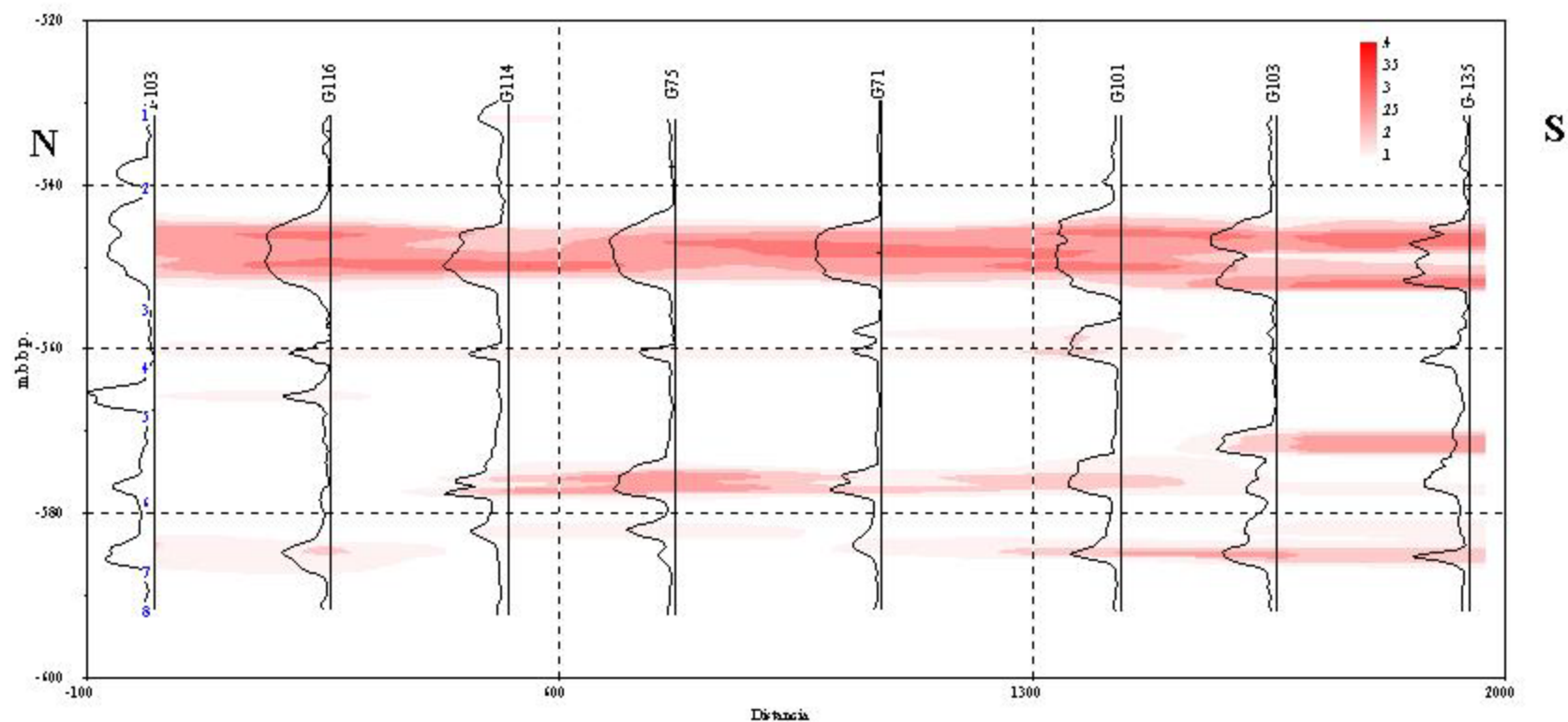
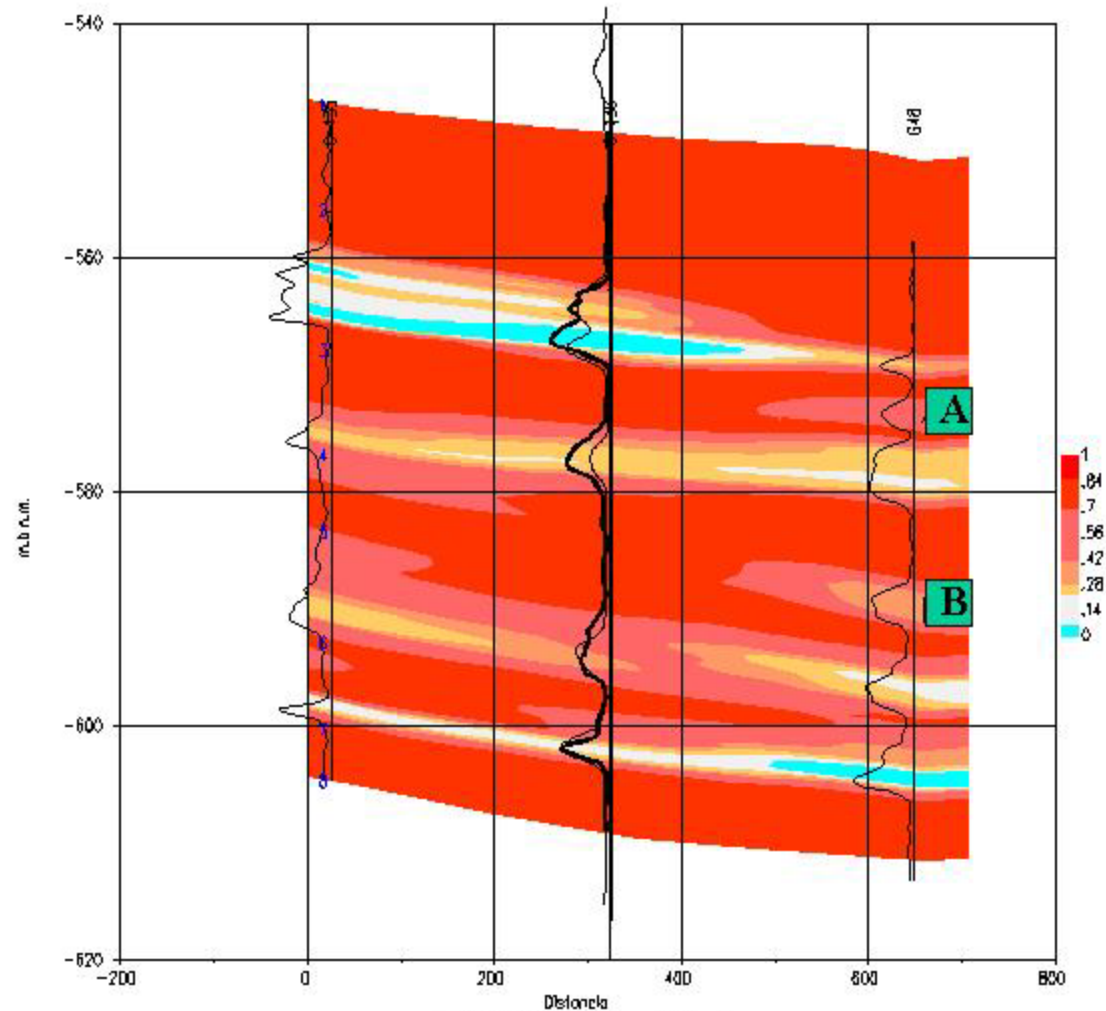


FIGURA 8b



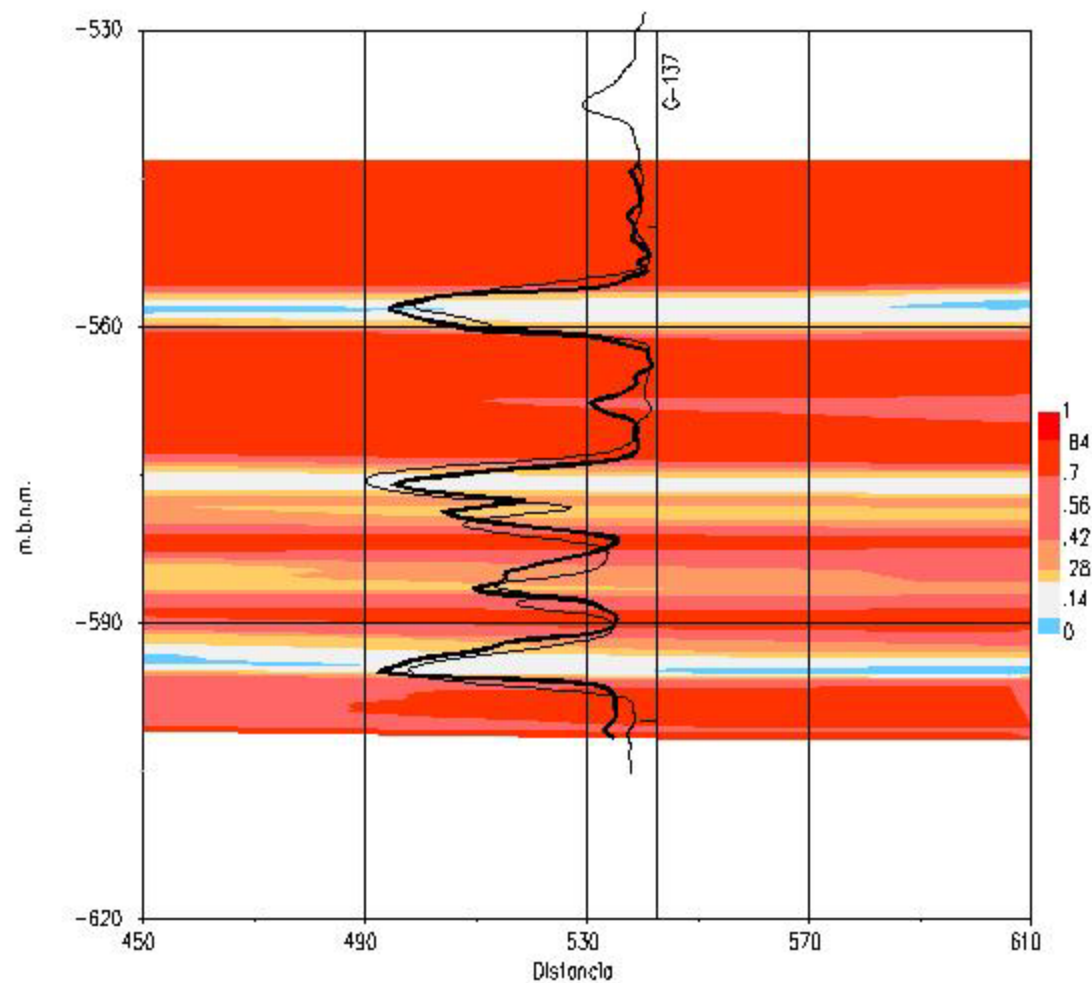
POZO IN FILL

— SP estimado

- - - SP registrado

las arenas A y B no fueron esimadas ni fueron encontradas con el pozo

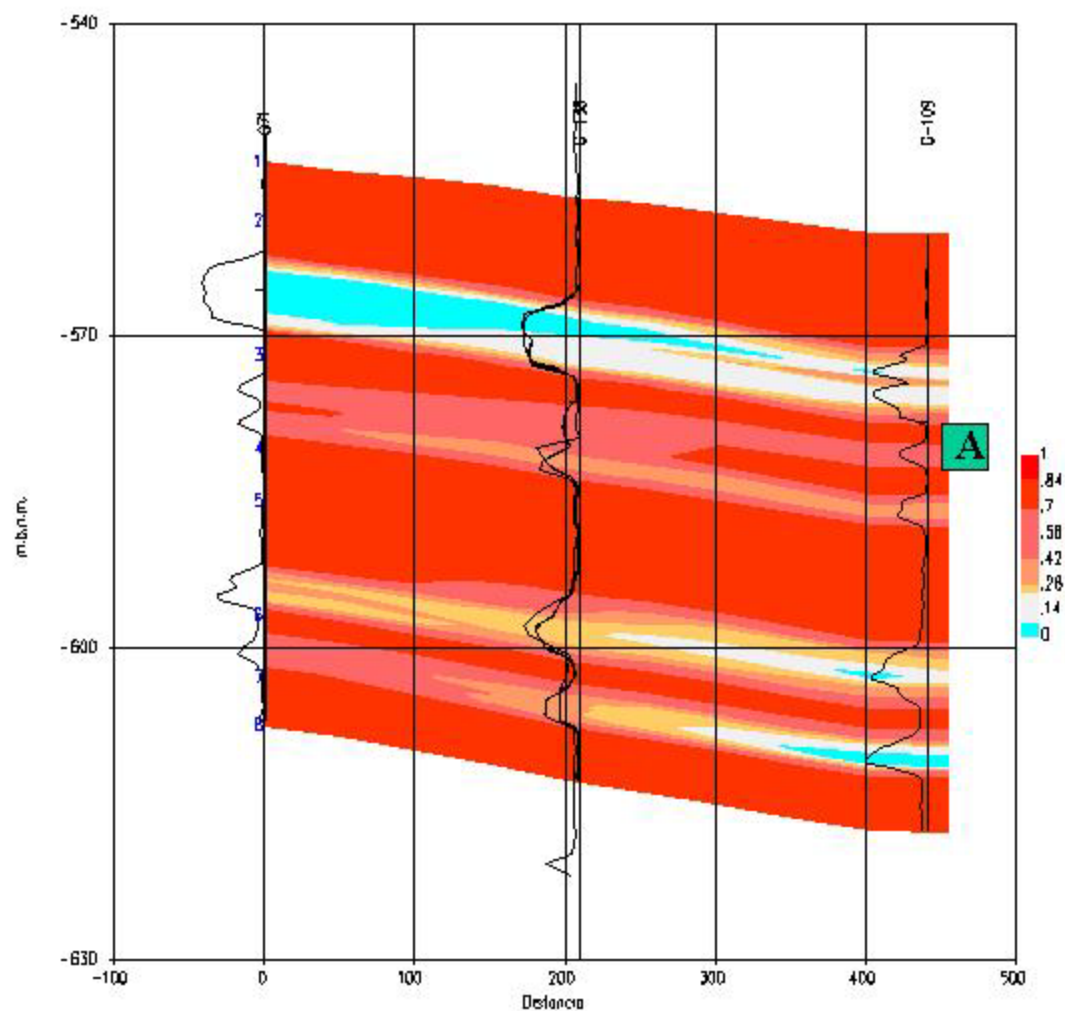
FIGURA 9a



POZO de AVANZADA

— SP perfil estimado
— SP perfil registrado

FIGURA 9b



POZO INFILL

- SP estimado
- SP registrado

(La arena A no fue pronosticada y no fue registrada por el pozo)

FIGURA 10a

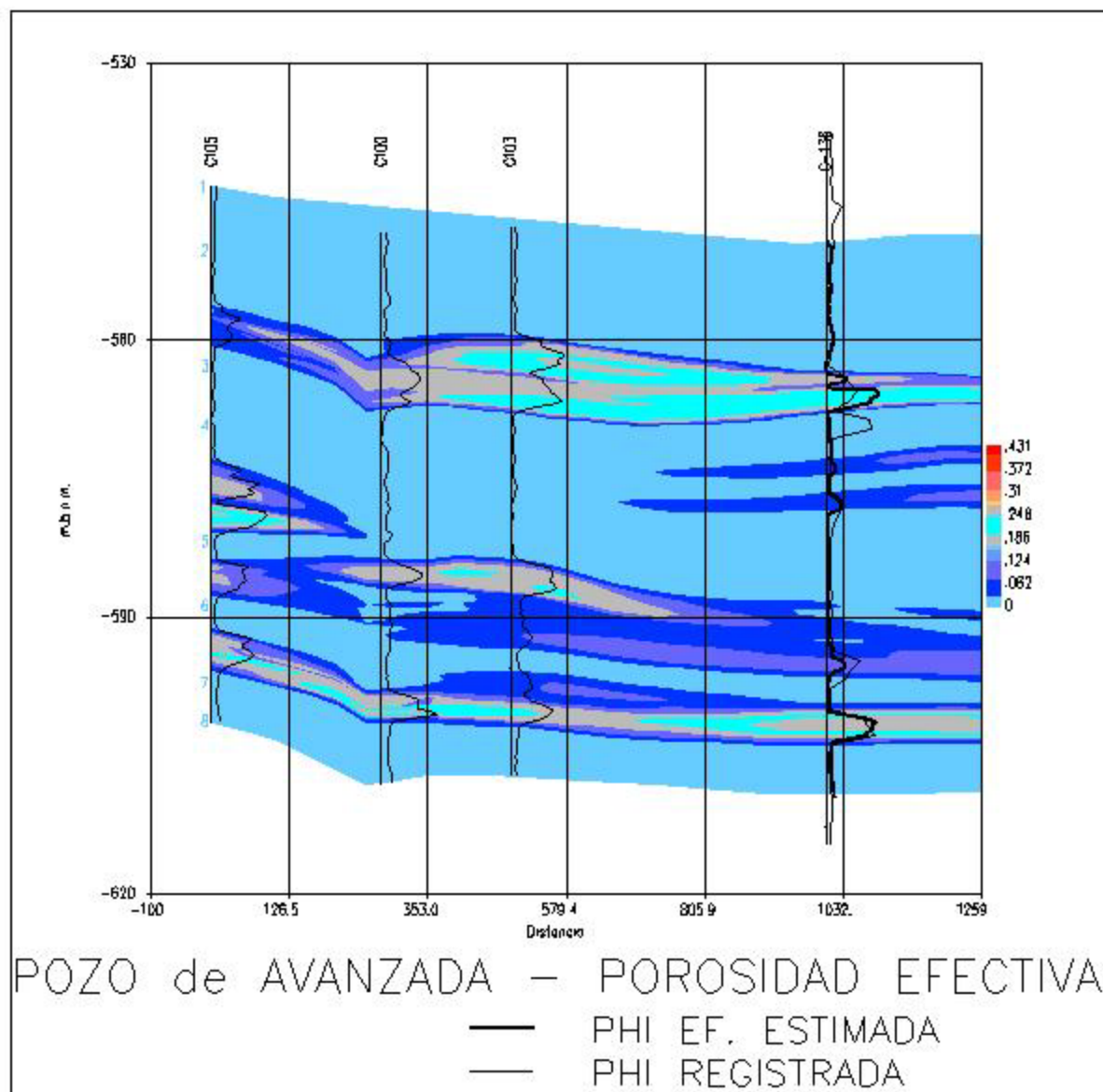


FIGURA 10b