

MODELADO DE RESERVORIOS: LOS AFLORAMIENTOS COMO MODELO BASE A UTILIZAR EN SUBSUELO, EJEMPLO EN SEDIMENTOS EÓLICOS DE LA FM. TORDILLO

Hernán Maretto¹ y Carlos Zavala²

¹Repsol-YPF exploración – Talero 360 Non. hmmarettof@repsolypf.com

²Universidad Nacional del Sur -Instituto Argentino de Oceanografía - CONICET
Camino de la Carrindanga km 7,5. 8000 Bahía Blanca. czavala@criba.edu.ar

Keywords: Fm. Tordillo – eólico –Loma La Lata – afloramientos – modelo geocelular

Abstract: Reservoir modeling: outcrop studies as a key for understanding the subsurface. An example from aeolian deposits.

Facies models derived from outcrop studies are considered crucial to support sedimentological and reservoir modeling in the subsurface. In some situations, the more useful field examples are only available from the literature, and often refer to depositional units having sedimentological and stratigraphic characteristics that strongly depart respect to the unit under study. Only outcrop studies (if any) of the considered unit, integrated with core, logging and seismic data could offer the high resolution required for building a more reliable and robust reservoir modeling. The present contribution provides an example of a reservoir modeling applied to the main gas-bearing field of Argentina: The Loma La Lata field in the Neuquén Basin. The producing unit comprises Jurassic aeolian deposits (Tordillo Formation) which crops out with similar facies at the Quebrada del Sapo locality. Field studies were oriented to understand the possible control in flow parameters by the hierarchy of aeolian surfaces. Linedrawing over oblique photographs allowed the distinction of four hierarchical orders of depositional surfaces. Rocks containing different surfaces were sampled, and their directional petrophysical properties were measured. The study shows that 3rd and 4th order surfaces (bedset and super-surfaces) are the only effective as a barrier for gas transmissibility. Field studies show that 3rd order surface bound sedimentary bodies up to 6 meters thick, and extended up to 150 meters wide. These parameters allowed to define for modeling proposes simulation cells of 200x200x5 meters each. As the reservoir is wedge shaped in large scale, a top conformity layering procedure was chosen.

1.Introducción

Es de práctica común en las ciencias geológicas, que cualquier modelo de distribución de procesos sedimentarios, facies, o ambientes de sedimentación se basen principalmente en estudios de afloramientos.

De allí provienen los modelos conceptuales que hemos usado en la industria, ya sea para darle lógica o consistencia geológica a nuestros mapas de subsuelo, o para la programación de los modelos booleanos / probabilísticos, tan promocionados y fuertemente empaquetados en diversos programas disponibles para la industria.

Sin embargo, principalmente en la geología de desarrollo, cuántos de nosotros utilizamos modelos propios desarrollados en afloramientos vecinos dentro de la misma cuenca?.

En la simulación de reservorios, el *input* de los parámetros físicos utilizados en el modelo dinámico proviene de los modelos geológicos “estáticos”. Estos modelos geológicos son de mayor detalle y tratan de representar, precisamente, las condiciones geológicas del campo para luego ser llevados a escala de simulación.

Esto implica la generación de un modelo geocelular 3D y su posterior escalado, donde adquiere relevancia el fundamento geológico que permita determinar el tamaño y forma de la celda de simulación, para que puede representar lo más fielmente posible las condiciones geológicas sin pérdida significativa de información en el proceso.

La presente contribución, representa un ejemplo de cómo a partir de una tarea integrada con estudio de afloramientos, coronas y demás datos de subsuelo disponibles; se obtuvo información que diera respuestas y respaldo geológico concreto al desarrollo del modelo de simulación del yacimiento de gas en producción más grande de la Argentina: Loma La Lata.

2. Problemática

La mineralización del yacimiento Loma La Lata, ubicado en la región del engolfamiento de la cuenca neuquina (Fig.1), se emplaza dentro de las facies permeables de la Fm. Tordillo; conocida en subsuelo como Fm. Sierras Blancas. (Fig.2).

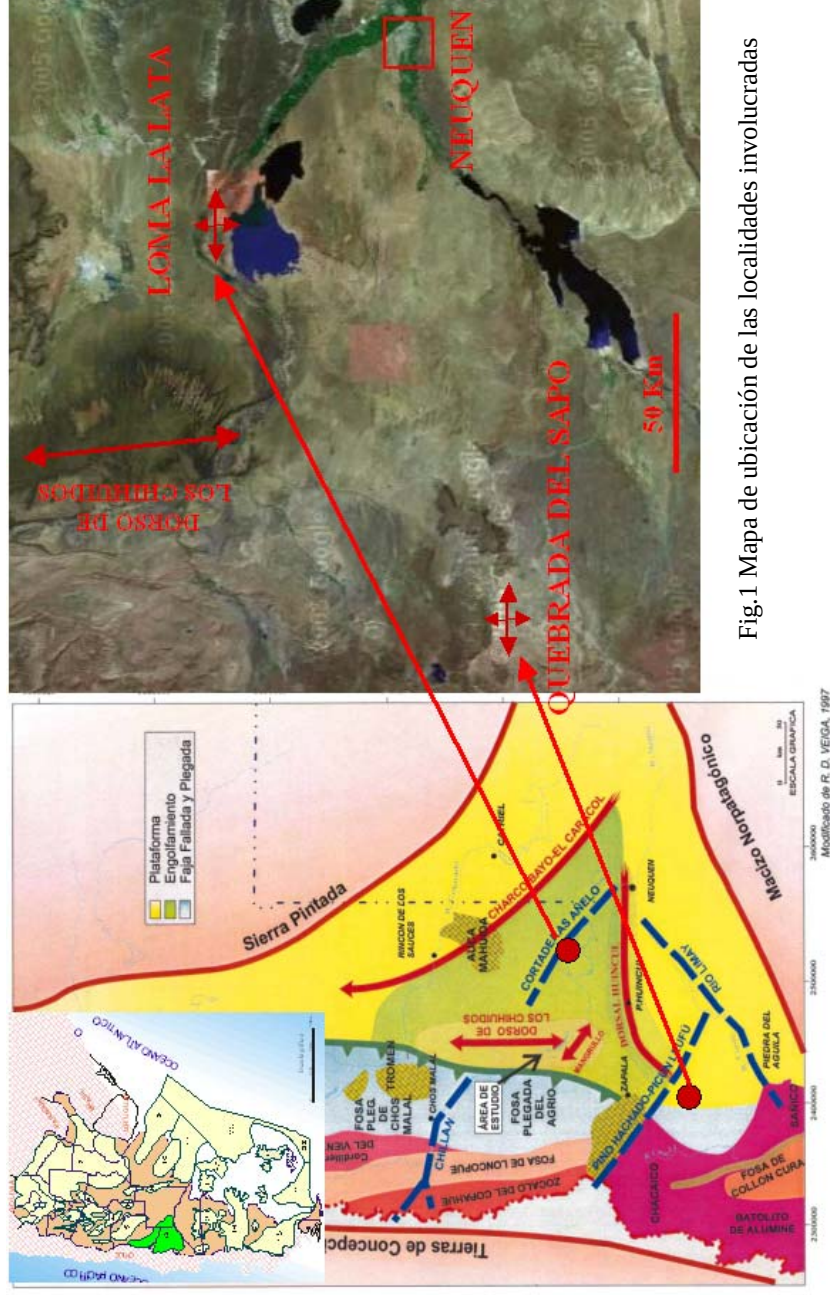


Fig.1 Mapa de ubicación de las localidades involucradas

Este reservorio ha sido tratado desde el punto de vista de su ambiente de sedimentación, características petrofísicas y/o performance en diversos artículos, Muñoz *et al.* 1984, Ríos *et al.* 1984 y más recientemente Maretto *et al.* 2002, entre otros.

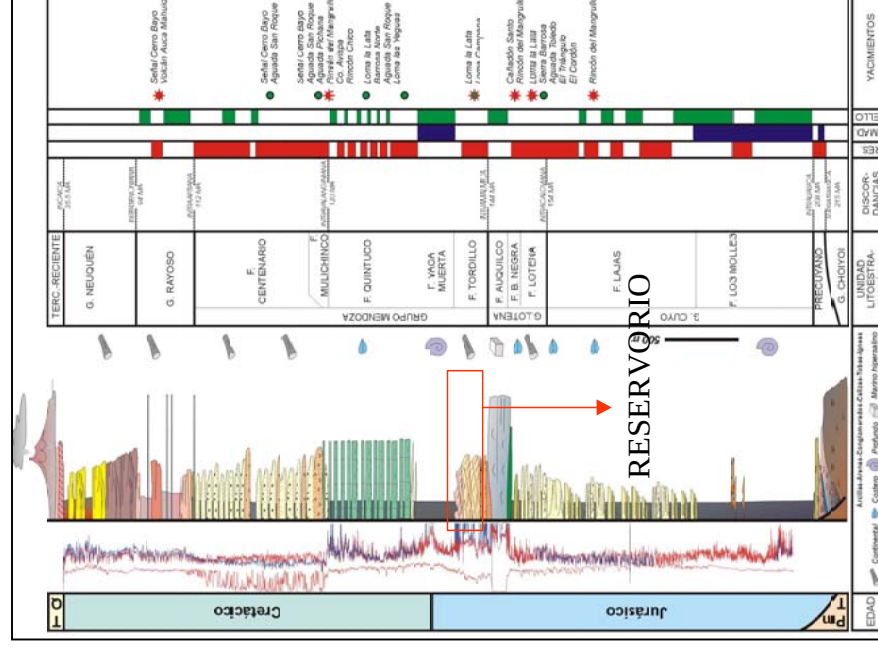
En general se trata de una sucesión monótona de areniscas casi exclusivamente eólicas de más de 100 m de espesor, sin variaciones composicionales o litológicas y con las propiedades del reservorio fuertemente controladas por la diagénesis.

Desde el punto de vista sedimentológico, estas eolianitas se caracterizan por estar compuestas por bancos de dunas de espesores del orden de los 5 metros, intercalados con facies de interdunas secas.

La dispersión de las paleocorrientes sugiere que en la sección inferior predominarían dunas de tipo barjanoides, en tanto que hacia el techo el sistema asociado sería principalmente de tipo transversal.

Su génesis se vincula a la migración de extensos campos de dunas desde el suroeste, ocupando preliminarmente los bajos y luego trasladando las áreas positivas posiblemente relacionadas a la topografía heredada de los movimientos intraméricos.

Estos campos estarían conformados por el escalonamiento de sucesivos sets de dunas separados por superficies de deflación y/o supersuperficies. (Talbot 1985; Kocurek, 1988)



En un modelo de apilamiento de depósitos de dunas sin contrastes litológicos o paleoambientes marcados, la correlación litofacial de capas es altamente compleja y de dudosa efectividad.

Sumada a esta condición, dada la misma uniformidad litológica y composicional en un campo con más de 20 km x 20 km de extensión, cualquier discontinuidad local carecería de relevancia; ya que con una superficie de contacto entre niveles de tal magnitud, por más que la permeabilidad vertical fue mínima; la transmisibilidad (KxH) es de la suficiente cuantía como para asegurar una buena conectividad, en especial tratándose de gas.

Sin embargo, con información proveniente de perfiles de presión (RFT), pudo observarse que el reservorio se depleta en forma diferencial, lo que sugirió la existencia de barreras tanto verticales como laterales. (Fig.3). Esta situación redundó indefectiblemente en la necesidad de generar un modelo de capas que siguiera los siguientes criterios.

- Tratar de correlacionar y mapear unidades con similar presión y comportamiento a partir de perfiles RFT
 - Determinar a que condiciones geológicas se deben esas barreras de permeabilidad que limitan dichas unidades, mediante la revisión de coronas y afloramientos.
 - Que dichas superficies (límites de las unidades con igual presión) también representen las barreras que se presuponen a partir de la incompatibilidad de los fluidos observados en algunos pozos (gas y condensado vs petróleo negro)
 - Que dichas condiciones geológicas y/o discontinuidades tengan expresión sísmica y sean consistentes con el modelo de inversión de traza. Esto permitiría ser consistente areal y regionalmente en la correlación
 - Tratar de determinar unidades con espesores razonables para la simulación, y que sirvieran como guía para la propagación de las propiedades petrofísicas.
- Esta serie de requerimientos deben trasladarse en forma que podría definirse como “cuantitativa” a un modelo geocelular 3D que sirva de base para la simulación, donde también entra en juego la definición del tamaño de celda.

Desde el punto de vista geológico, la determinación del tamaño de celda óptimo para la simulación, consiste en poder inferir en la forma más parecida a la realidad posible, la geometría y tamaño de los cuerpos con propiedades y comportamiento petrofísico similar; como así también su distribución espacial y la de sus superficies limitantes. Es decir, la unidad hidráulica elemental.

Se hace hincapié en el término óptimo, debido a que entran en juego numerosas variables que deben ser ponderadas en su importancia relativa, mediante una sutil ecuación costo-tiempo-resultado: Desde las condiciones de *hardware/software* (capacidad de memoria, tiempo de corrida, versatilidad, velocidad de proceso según algoritmo de grillado, instalación de red, potencia de maquina, etc.); pasando por métodos de medición y condiciones de escalado (resolución del *plug* de corona -2.5cm-, resolución de la herramienta de perfilaje +/- 50 cm, resolución sísmica - +/- 20m, ensayos de pozo, +/- 100m, distanciamiento entre pozos +/- 1200m) y finalizando en cuestiones matemático-geológicas (como son las heterogeneidades u homogeneidades, como hacemos para capturarlas, jerarquizarlas y escalarlas).

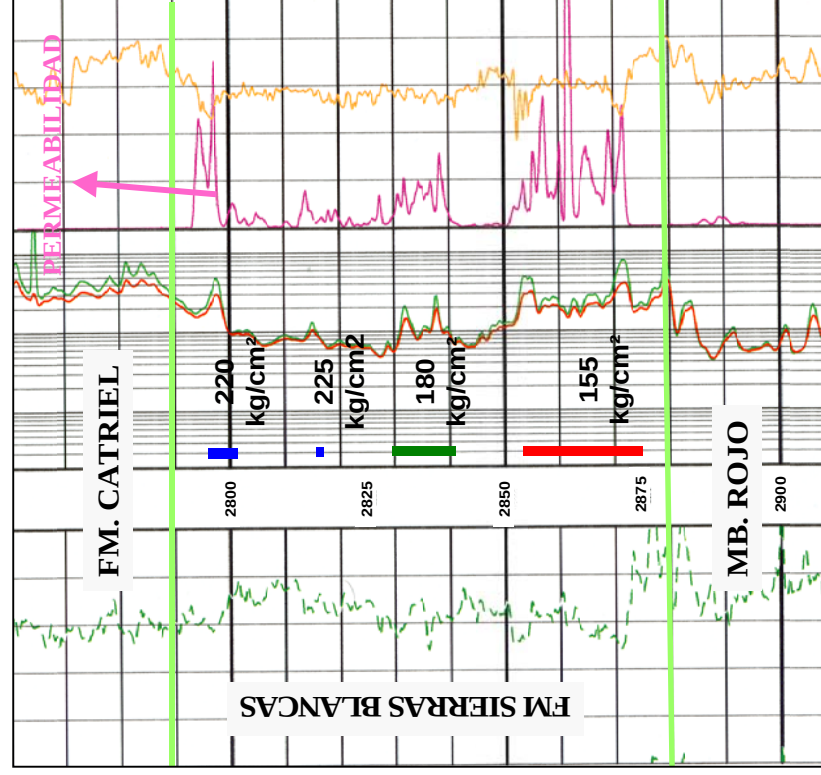


Fig. 3 Perfiles eléctricos correspondientes a un pozo de LLL, donde se han volcado las mediciones de presión obtenidas por RFT. Puede observarse la depletación diferencial existente dentro del reservorio

3. Metodología

Teniendo en cuenta estas condiciones, se realizaron trabajos en afloramientos (Fig. 1) y coronas, tendientes a determinar el tamaño de unidad geológica mínima razonable, que pudiera ser representado por una propiedad petrofísica constante.

Esta caracterización implica conocer su extensión (largo y ancho), como así también sus límites verticales (espesor).

La tarea de campo consistió en el toma de fotografías en panel de los afloramientos, generando foto mosaicos sobre los que se mapearon las distintas superficies distinguibles en el medio eólico (Fig.4). También se extrajeron muestras para determinaciones petrofísicas y delimitación de barreras. En tanto que para las coronas se buscaron superficies limitantes que pudieran actuar como barreras. (Figs.5 y 6)

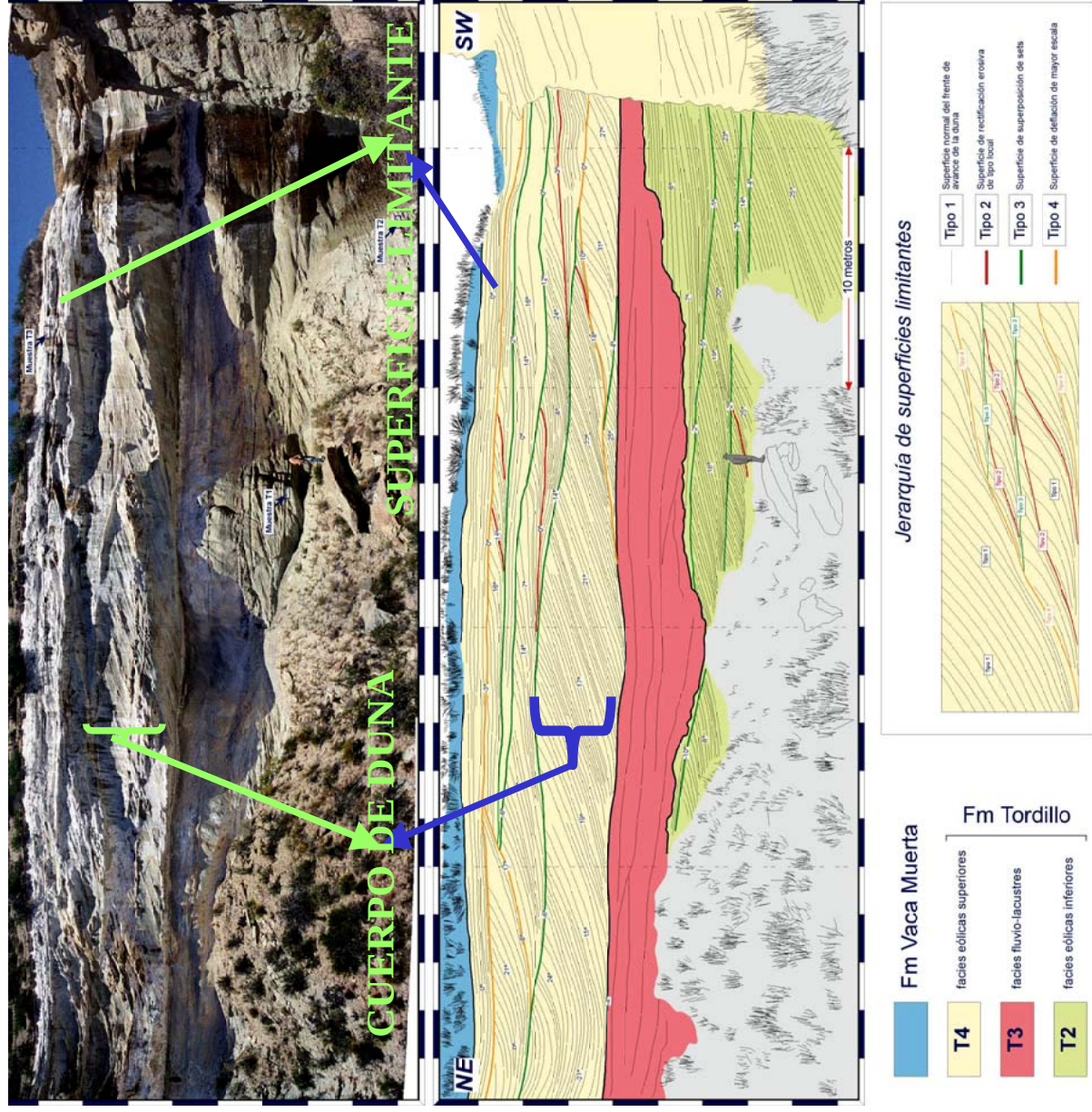


Fig. 4 Fotomosaico de afloramiento de la Formación Tordillo en el área Quebrada del Sapo, e interpretación esquemática de los cuerpos de duna y superficies limitantes

4 Desarrollo

4.1 Modelo de capas

Para el esquema básico de correlación se tomaron todos los pozos que poseían datos de presión y se marcaron las discontinuidades, tanto por los cambios bruscos en las mismas como por cambios en el fluido presente (gas/petróleo). La misma tarea se realizó con aquellos pozos que poseían descripción de coronas, las que fueron analizadas desde el punto de vista de posibles superficies limitantes mas que desde una descripción de facies ortodoxa. De la misma manera se procedió con los pozos “colgados” en el cubo sísmico invertido, donde se marcaron los pases.

Una vez estimados los pases en los más de 20 pozos claves distribuidos en el yacimiento, se observó una excelente concordancia entre lo definido por valores de RFT, descripción de coronas e interpretación sísmica. (Fig. 5 y 6)

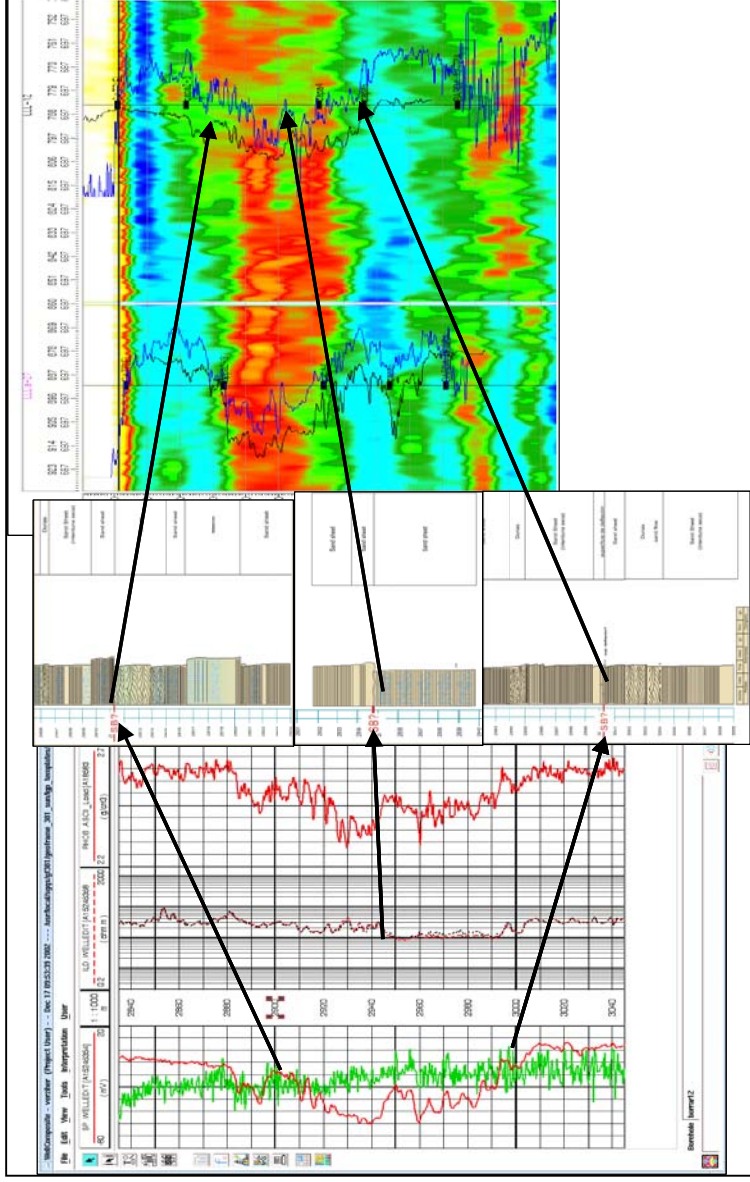


Fig. 5 Ejemplo de correlación en pozo de L.L.L. Obsérvese la correspondencia entre importantes quiebres en los perfiles eléctricos con las superficies limitantes definidas en la corona, y que también poseen expresión sísmica

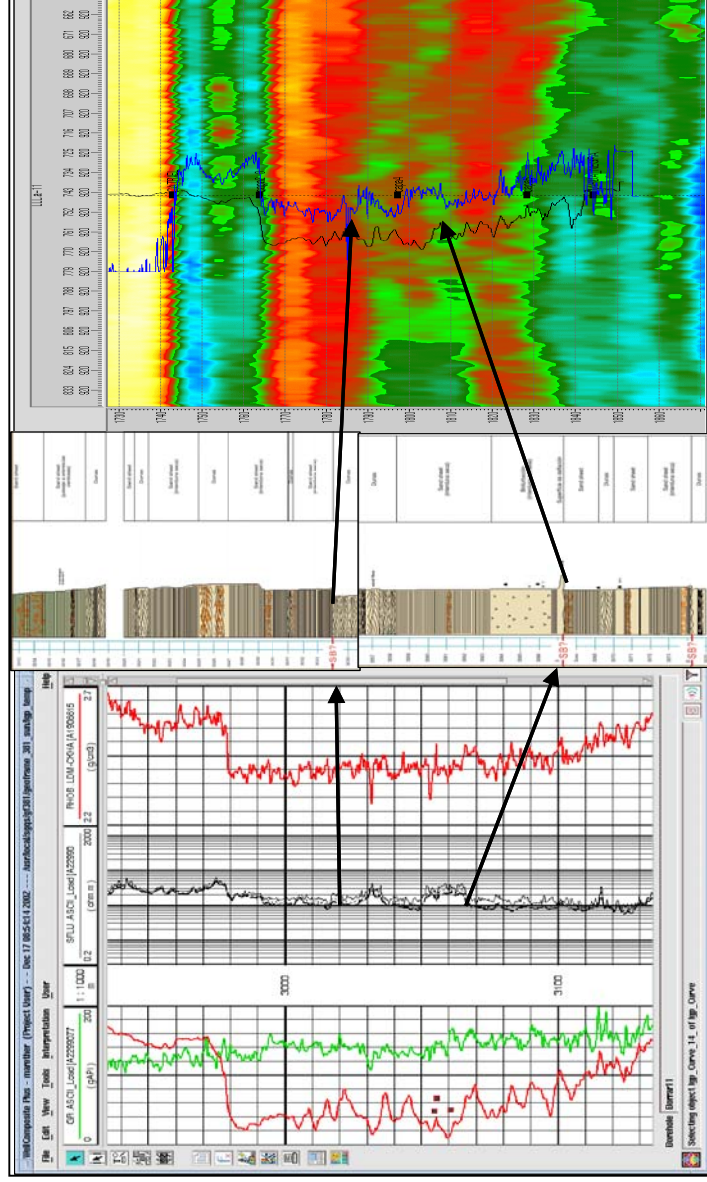


Fig.6. Ejemplo similar a la figura 5 donde se destaca la correlación entre los límites observados en coronas, perfiles y sísmica (impedancia)

Se observa también que estos límites tienen su representación en importantes quiebres en los perfiles eléctricos, especialmente de resistividad y permeabilidad calculada, lo que ha permitido trasladarlos en forma generalmente consistente al resto del campo.

Estas superficies limitantes, según lo verificado en coronas, se corresponderían con superficies de deflación mayores, que estarían actuando como sellos verticales parciales, a las que se asocian facies de areniscas masivas finas muy bioturbadas con importante deterioro de sus propiedades petrofísicas (abundante diagénesis) (Fig.7). Esto explicaría la gran continuidad areal de estos límites.



Fig. 7 Facies de areniscas masivas bioturbadas, que frecuentemente se encuentran asociadas a superficies de deflación importantes.

4.2 Modelo geocelular 3D

Según los relevamientos geológicos realizados en la zona de Quebrada del Sapo (Fig. 1), en el sector occidental de la cuenca neuquina (Zavala *et al* 2005), es posible reconocer en los afloramientos de la Formación Tordillo, al menos 4 categorías de superficies limitantes, algunas relacionadas a la migración de dunas y otras relacionadas a superficies más regionales vinculadas a procesos de deflación.

Estas superficies presentan comúnmente un deterioro de las propiedades petrofísicas, por lo que podrían resultar en barreras para la migración de fluidos y como consecuencia delimitar las denominadas unidades geológicas elementales.

A pesar de que existen antecedentes bibliográficos donde se ha descrito y clasificado distintas superficies dentro del medio eólico (Stokes, 1968; McKee y Mogola, 1975; Kocurek, 1988; 1996, entre otros), en el trabajo de Zavala *op cit.* las mismas fueron jerarquizadas de 1 a 4 de acuerdo a su importancia creciente en cuanto extensión y duración (Fig.8). La superficie tipo 1 corresponde al frente de avance de duna, la tipo 2 a superficies de rectificación erosiva de tipo local, tipo 3: superficie de superposición de *sets* y tipo 4 a superficies de deflación de mayor escalala.

Según esta metodología, tanto las secuencias cólicas comprendidas entre superficies tipo 4 (o cuarto orden) como los *sets* de dunas comprendidos entre superficies tipo 3, muestran espesores que varían entre 1 y 6 metros, con relaciones ancho / largo comprendidas entre 10 y 30. El promedio es 2,70 metros de espesor y 60m de longitud.



Fig. 8 Esquema conceptual del tipo, jerarquía y relaciones laterales de las superficies limitantes reconocidas dentro de los cuerpos de dunas de la Formación Tordillo

En la figura 9 se adjuntan los resultados de las mediciones petrofísicas obtenidas sobre las muestras de afloramientos.

Estudios realizados en condiciones STD							
Muestra N°	Profundidad Corregida (mbbp)	Densidad Aparente (gr/cm ³)	Densidad Real (gr/cm ³)	Porosidad (%)	Permeabilidad al Gas (mD)	Permeabilidad Klinkenberg (mD)	Observaciones
A-H1	*	2,47	2,61	5,03	0,0024	0,0011	Sup. 3° y 4° Orden
A-H2	*	2,41	2,61	7,75	0,0093	0,0048	Orden
A-V	*	2,42	2,59	6,81	0,0027	0,0013	
B-H1	*	2,38	2,76	13,77	2,9860	2,1682	Sup. 1° Orden
B-H2	*	2,51	2,74	8,18	5,6653	4,2749	Orden
B-V	*	2,45	2,74	10,66	0,2695	0,1694	
C-H1	*	2,09	2,56	18,26	1,1729	0,8052	Núcleo
C-H2	*	2,08	2,52	17,64	1,5718	1,0983	
C-V	*	2,14	2,55	16,07	1,5699	1,0968	
M1-H1	*	2,31	2,68	13,83	3,1487	2,2937	Fluvial
M1-H2	*	Muestra disgregable, con clastos grandes. No se pudo extraer.					
M1-V	*						
M2-H1	*	2,30	2,61	11,70	0,0151	0,0080	
M2-H2	*	2,26	2,60	13,03	0,1253	0,0752	Fluvial
M2-V	*	2,25	2,60	13,60	0,0956	0,0505	
T1-H1	*	2,38	2,56	7,37	0,0079	0,0040	Sup. 3° y 4° Orden
T1-H2	*	2,41	2,58	6,61	0,0095	0,0049	Orden
T1-V	*	2,37	2,58	7,84	0,0025	0,0012	
T2-H1	*	2,23	2,65	15,92	0,2331	0,1452	Sup. 1° Orden
T2-H2	*	2,22	2,66	16,47	0,3697	0,2368	Orden
T2-V	*	2,21	2,66	16,83	0,0726	0,0422	
T3-H1	*	2,38	2,74	12,92	0,0082	0,0042	
T3-H2	*	2,38	2,73	12,82	0,0091	0,0047	Interduna
T3-V	*	2,36	2,73	13,63	0,0147	0,0077	
NOTA: La nomenclatura H ₁ indica en la dirección horizontal. H1 y H2, corresponden a 90° entre sí. La nomenclatura V ₁ indica en la dirección vertical.							

Fig.9. Mediciones petrofísicas correspondientes a muestras de afloramiento de la localidad de Quebrada del Sapo

Las muestras A y T1 corresponden a superficies de tercer / cuarto orden
 Las muestras B y T2 corresponden a superficies de primer orden
 Las muestras M1 corresponden a los intervalos fluviales
 La muestra C corresponde a un núcleo de duna (entre dos superficies de 1° orden)
 La muestra T3 pertenece al sistema de interduna inmediatamente por debajo de la Formación Vaca Muerta.
 En la figura 10 puede observarse esquemáticamente la posición de cada muestra en el medio eólico.

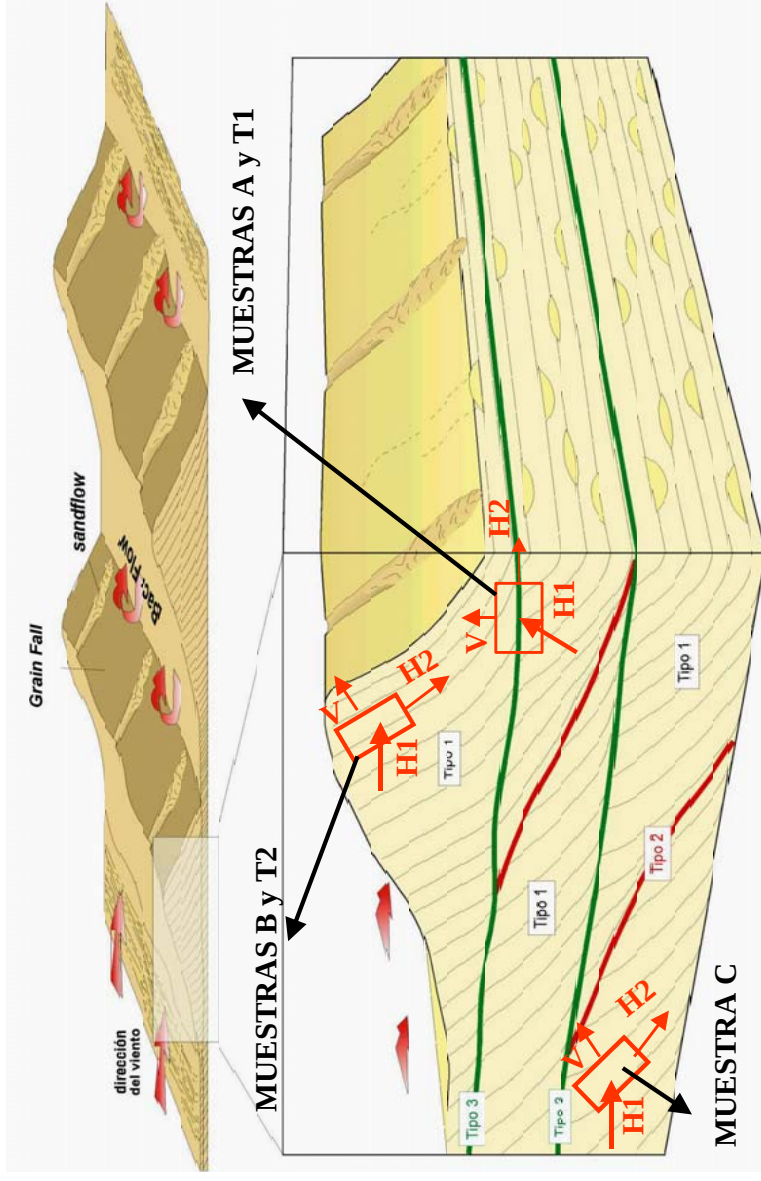


Fig. 10, esquema de facies y superficies eólicas reconocidas en afloramiento, donde se detallan el tipo y ubicación de muestras obtenidas para parámetros petrofísicos.

Si bien estos datos no son suficientes para una estadística, al menos permiten inferir cualitativamente la jerarquía de las superficies.

Las muestras correspondientes a las superficies de 3° y/o 4° orden, presentan pobre calidad petrofísica, pudiendo actuar inclusive como sello, con porosidades cercanas al 7% y permeabilidades estándar menores 0.01 md, valor considerado como sello y corte en Loma La Lata. Es de destacar que no presenta anisotropía entre la permeabilidad horizontal y la perpendicular al plano de estratificación (vertical), por lo que la barrera actuaría en todas direcciones.

Las muestras de las superficies de 1° orden muestran una petrofísica mucho más heterogénea, con valores de permeabilidad 100 a 1000 veces mayores a los de las superficies tipo 3.

También muestran, como cabría esperarse, una anisotropía entre las permeabilidades horizontales y las verticales (perpendiculares al plano de estratificación), siendo las últimas un orden de magnitud menor que las primeras. Si bien las permeabilidades verticales no son tan bajas como para constituir verdaderos sellos, presentan una permeabilidad preferencial perpendicular a la dirección de avance del frente de duna.

En conclusión estas superficies impondrían anisotropía en la distribución de flujos, pero no constituirían barreras, no solo por su calidad petrofísica, sino también por su escasa extensión areal.

La muestra C corresponde a un núcleo de duna (entre dos superficies de 1° orden), y como era de presumir, es bastante homogénea tanto en su porosidad (17%) como en su permeabilidad (1 mD en todas direcciones)

Por último la muestra T3, posee valores de porosidad aceptables, pero la permeabilidad es muy baja. Muy posiblemente por encontrarse cercana a la base de Vaca Muerta se vea muy afectada por diagénesis.

Un aspecto muy importante a destacar es que tanto las mediciones de porosidad y de permeabilidad, como así también la relación entre ambas; presentan valores absolutos y relativos muy similares y del orden de magnitud de los medidos en las coronas de Loma La Lata.

Este aspecto, como así también la descripción de facies y espesor de los bancos de dunas, permiten asumir el riesgo de tomar como válido el modelo obtenido en afloramiento y extrapolarlo al yacimiento.

De esta manera, se considera como la unidad hidráulica fundamental, al cuerpo geológico limitado por superficies de 3° orden.

Esto permite inferir unidades medias de 3 metros de espesor y 60 metros de longitud, pudiendo alcanzar más de 150 metros.

De acuerdo a lo observado en perfiles y coronas, el reservorio estaría produciendo a través de pequeñas intervalos de muy alta permeabilidad, intercaladas entre cuerpos más espesos y menos permeables.

Siguiendo esta condición geológica, para el modelo geocelular se priorizó obtener una alta resolución vertical, ya que, dada la distribución de los datos (pozos cada 1200 metros en promedio y *bin* sísmico cada 50 metros), un distanciamiento menor a 100 metros estaría por debajo de la resolución.

Además, según se comprobó en los afloramientos, la continuidad de los cuerpos eólicos elementales es en promedio de 60 metros, en un rango que varía de 30 a más de 150 metros. Esto también debería esperarse en el yacimiento, ya que en coronas se han medidos sets de dunas de espesores similares (de 1 a 5 metros).

Esta especulación parece reflejar en cierta medida la realidad del campo, ya que en el trabajo de correlación efectuado entre las coronas de los pozos LLL-120 y LLL-122, Muñoz *et al.* han podido observar las mismas superficies en ambos casos, infiriendo de esta manera la continuidad de los cuerpos por lo menos en el orden de magnitud del distanciamiento entre los pozos (200 metros), involucrando espesores entre las mismas que varían entre 5 y 18 metros. (Fig. 11).

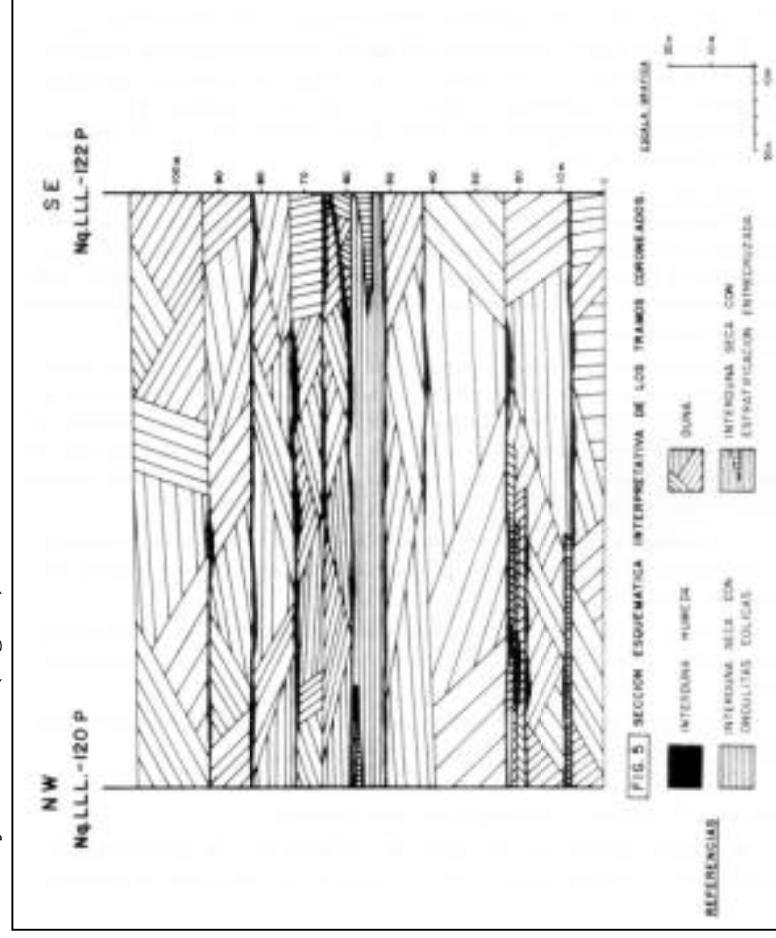


Fig. 11 Correlación efectuada por Muñoz *et al op cit.* entre los pozos LLL-122 y LLL-120. Estos pozos poseen todo el Miembro verde coronado (más de 100 metros) y se encuentran distanciados 200 metros. Nótese que han podido correlacionarse superficies que limitan cuerpos de duna, cuyos espesores varían entre 3 y 18 metros.

Por todos los motivos aquí expuestos (sumados a las condiciones de *software y hardware*), se decidió un tamaño de bloque de 100 metros por 100 metros, donde estaría contenida una unidad geológica elemental con datos suficientes como para capturar sus parámetros petrofísicos.

Para el espesor de la celda (resolución vertical), desde lo estrictamente técnico, el poblado del modelo geocelular puede hacerse cada 10 cm, dado que es el intervalo de muestreo de los perfiles eléctricos.

Si bien esto es cierto, también lo es el hecho que la mayoría de las herramientas de perfilaje (sobre todo las de vieja generación) poseen una resolución vertical del orden de los 50 cm. Esto implica que las propiedades medidas por las mismas son un promedio de ese espesor de capa. Por este motivo, se optó por un espesor de celda de 50 cm, con el fin además de poder capturar la mayor variación vertical posible.

Para poder llegar a este grado de resolución se seleccionó el método de poblado “*Top conformity*”.

Para adoptar esta decisión se tuvieron en cuenta dos aspectos: El de carácter geológico como base y un segundo de índole matemático-logístico, cuya problemática es la siguiente:

Dadas las variaciones de espesor de la Fm. Sierras Blancas (disminución hacia el sur y al oeste), si se pretende mantener una resolución vertical de 50 cm en la zona más espesa, y un sistema de “*layering*” de igual cantidad de celdas por capa, se obtiene como resultado un incremento significativo de número de celdas en todo el modelo y bloques ilógicamente pequeños en las zonas menos espesas.

En la figura siguiente (Fig. 12) se puede comparar a manera de ejemplo ambos métodos.

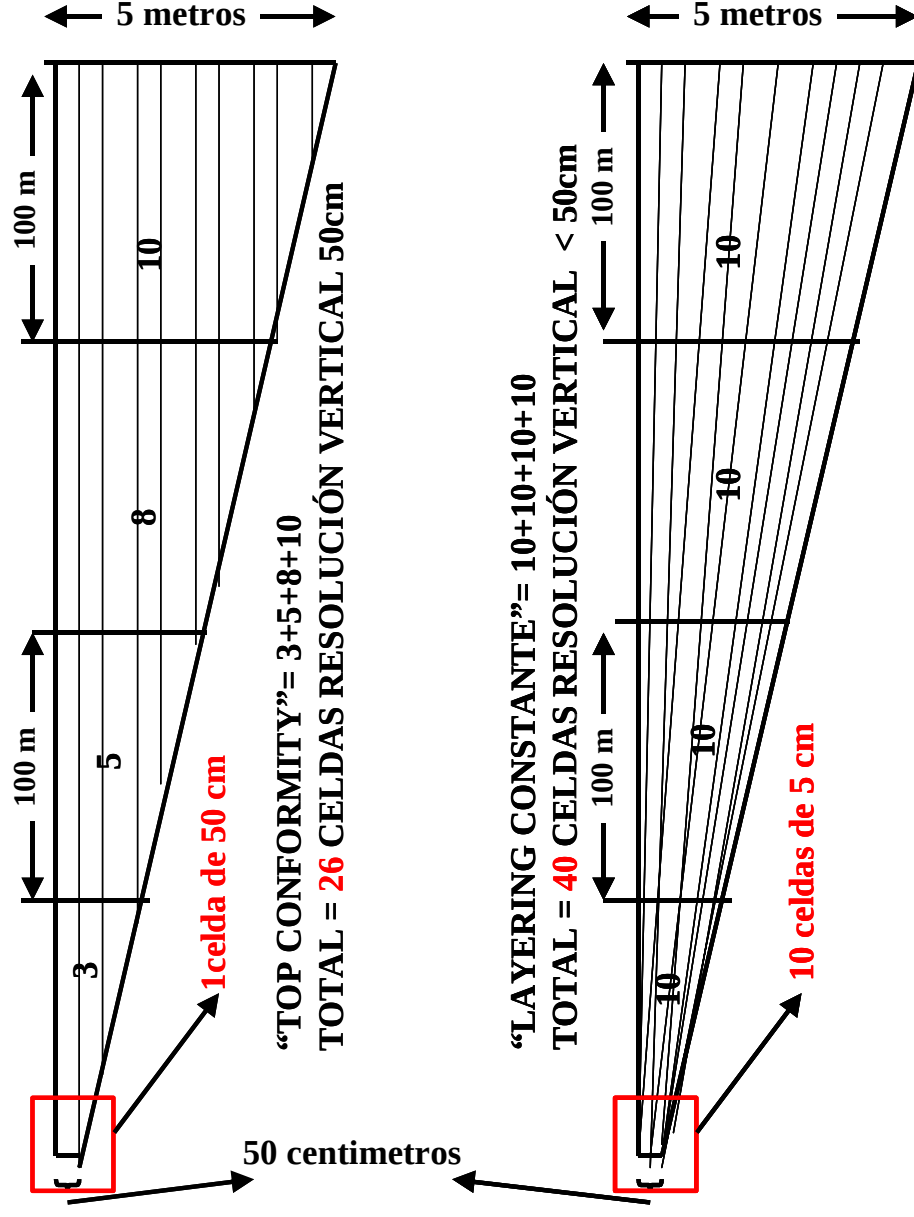


Fig.12, diagrama esquemático de las metodologías de definición de celda. Aquí es evidente que por una cuestión logística, el método seleccionado más adecuado sería “*top conformity*”

Aquí es claro que con una variación lateral en solamente 400 metros y una disminución de espesor de 4-5 metros, prácticamente se duplica el número de celdas sin que se gane en resolución. Dada la gran extensión areal

de Loma La Lata y espesores en la zona central del orden de los 100 metros, esto redunda en un número excesivo de celdas que al momento de la simulación no eran soportados por la performance tanto del programa como del equipamiento existente.

Es aquí donde nuevamente el concepto sobre el modelo geológico de deposición adquiere relevancia. De acuerdo a lo observado sísmicamente y en afloramiento, el relieve previo a la deposición de la Fm. Tordillo habría sido generado por los movimientos araucanos, rellenado ésta primeramente los bajos para luego trasladar los altos. De ser así, el modelo “*top conformity*” representa esta característica, ya que implica mayor correlación temporal y areal hacia los términos superiores de la secuencia. (Fig. 13)

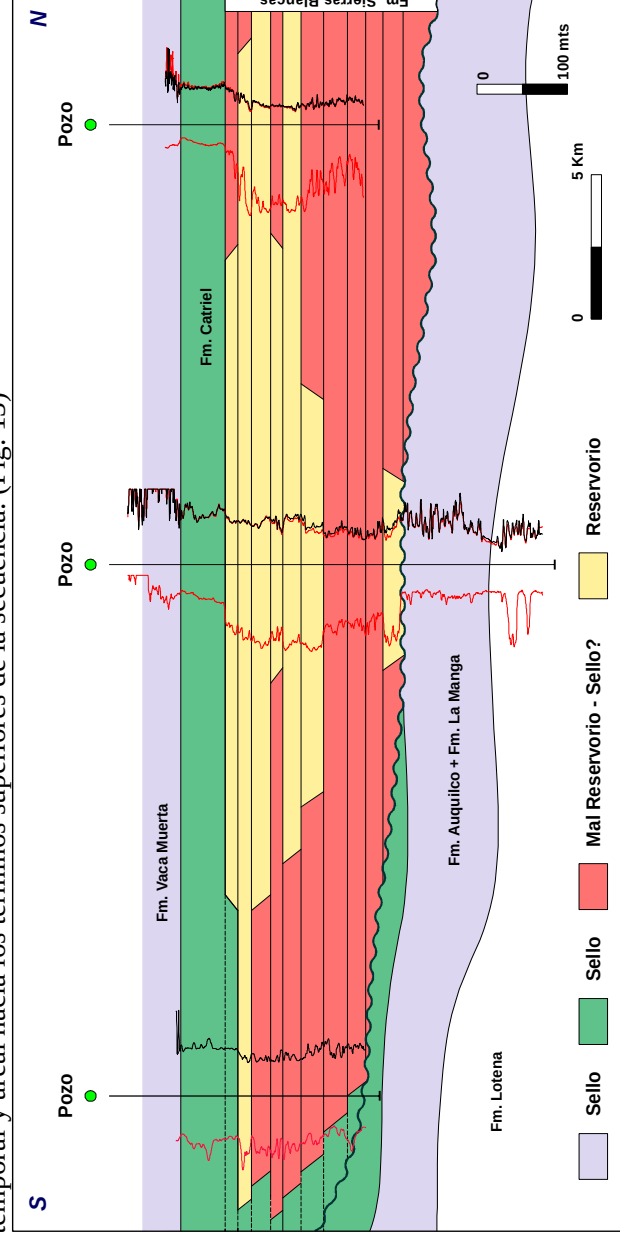


Fig. 13 Sección estratigráfica N-S nivelada al techo de la Fm. Catriel. Se esquematiza el modelo de deposición asumido para la Fm. Tordillo, rellenando inicialmente los bajos y trasladando los altos; dando respaldo geológico al modelo de “*layering*” seleccionado

Como conclusión a todo lo expuesto, se arribó a un modelo geocelular “*Top conformity*”, con celdas de 100 x 100 x 0.5 metros.

El poblado de las celdas se realizó mediante un Collocated-CoKrigging, tanto para la permeabilidad como para la porosidad, dado el excelente grado de ajuste que se observó entre la inversión sísmica y la porosidad (Maretto *et al* 2005).

4.3 Escalado para simulación

De acuerdo a lo hasta aquí expuesto, los datos de afloramientos muestran unidades de 1 a 6 metros de espesor y 30 a 150 metros de longitud, limitados por superficies tercer orden.

Ahora bien, en las coronas de Loma La Lata, se documentan sets de dunas con espesores del mismo orden de magnitud, y diversas superficies de deflación marcadas como SB (límite de secuencia) (Figs. 5 y 6) Estás superficies de deflación, serían de escala regional y visibles en la sísmica, y constituirían los límites de capas tal cual ha sido definido en el yacimiento , estando las unidades elementales contenidas dentro de estas super-superficies en grupos de 3 a 5.

Esto nos llevaría nuevamente a tamaños de celdas razonables entre 150 y 200 metros por lado con espesores de 3 a 5 metros para el escalado.

Desde el punto de vista geológico es aceptable, y estaría conteniendo una unidad eólica elemental (cuerpos eólicos limitados por superficies de tercer orden).

Las celdas así definidas, contendrían la cantidad de datos de entrada suficiente (arealmente cada 50 metros por la sísmica y verticalmente cada 50 cm) como para ser consistentes. Además, si se tiene en cuenta que sus

propiedades se encuentran “guiadas” por la correlación de capas existente, puede considerarse que el poblado de las mismas con propiedades petrofísicas es bastante robusto.

5. Conclusiones

A través del desarrollo de la presente contribución se trató de poner de manifiesto la utilidad práctica del uso de los análogos de afloramiento para el desarrollo de modelos geológicos utilizados en el subsuelo.

Si bien en la bibliografía éstos son abundantes, generalmente resultan en una extrapolación alejada de la problemática local, por más que ésta sea similar.

Aunque los trabajos de campo no resultan ser relativamente onerosos (por ejemplo si se los compara con la estimulación de un pozo o un ensayo determinado), la práctica de los mismos no es muy frecuente para los geólogos en especial de desarrollo, cuando sus beneficios (profesionales y empresariales) han sido usualmente resaltados en la industria.

Esta integración permitió entender la mecánica de depositación, las discontinuidades internas de los sedimentos, y su respuesta en las variaciones petrofísicas de las areniscas portadoras de gas en el yacimiento Loma La Lata.

A partir de allí, se fundamentaron los modelos de capas adoptados en el campo y parámetros adecuados para los tamaños y forma de las celdas de simulación; que han permitido representar las diferencias de presión observadas y el comportamiento dinámico del yacimiento.

Estos parámetros puede resumirse de la siguiente manera:

- Las superficies de deflación regionales que limitan las secuencias eólicas actúan como barreras de permeabilidad y constituyen los límites de capa definidos en el yacimiento.

- Se definieron “unidades hidráulicas elementales” contenidas dentro de estos límites (dentro de las capas) en grupos de 3 a 5 (*sets* de dunas).

- A partir de lo medido en los afloramientos y de la información proveniente de perfiles y coronas, se infieren *sets* de dunas en rangos que varían de 1 a 5 metros de espesor y 50 a más de 200 metros de extensión; lo que permitió diseñar tamaños de celdas de simulación de 200 x 200 x 5 metros.

- Según el modelo regional de depositación de la Fm. Tordillo (generado a partir de afloramientos y subsuelo), el relleno sedimentario se vincula a la migración de extensos campos de dunas predominantemente transversales desde el suroeste, ocupando preliminarmente los bajos y luego traslapando las áreas positivas. Esta mecánica fundamenta un sistema de “*layering*” “*top conformity*” y orientar la grilla de simulación en sentido NW-SE, es decir perpendicular a la dirección del aporte sedimentario.

6. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a las autoridades de Repsol-YPF por permitir la publicación de la presente contribución

7. Referencias bibliográficas

- KOCUREK, G., 1988. First-order and super bounding surfaces in eolian sequences-bounding surfaces revisited. *Sedimentary Geology*, 56, 193-206.
- KOCUREK, G., 1996. Desert eolian system. En Reading, H. G (ed.). *Sedimentary environments: Process, facies and stratigraphy*. Oxford, Blackwell, 125-153.
- MCKEE, E. D y Mogola, R. J., 1975. Geometry and growth of white Sand Dune Field, New Mexico. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, 3, 59-66.
- MARETTO, H., CARBONE, O., GAZZERA, C., y SCHIUMA, M., 2002. Los reservorios de la Fm. Tordillo. Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina. V Congreso de exploración y desarrollo de hidrocarburos. 335-358. Mar del Plata.
- MARETTO, H., J. ROYO, H. VERZI, H. VERDUR y C. LARRIESTRA., 2005. Caracterización de reservorios desde la corona a la sísmica: modelo geológico 3D integrado de la Formación Sierras Blancas en el yacimiento Loma La Lata. Este congreso.
- MUÑOZ, M., M. GIUSIANO Y A. CONTI PERSINO. 1984. El origen eólico de la Formación Tordillo (miembro Verde), en el yacimiento Loma La Lata, provincia del Neuquén. IX Congreso Geológico Argentino, actas V: 315-323.
- RÍOS, N., P. AGRAZ Y H. VERDUR. 1984. Características Mineras del yacimiento Loma La Lata. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche, Río Negro.

- STOKES, W. L., 1968. Multiple parallel-truncation bedding planes, a feature of wind-deposited sandstone formations. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38, 510-515
- TALBOT, M. R., 1985. Major bounding surfaces in eolian sandstones: a climatic model. *Sedimentology*, 32, 257-265.
- ZAVALA, C., H. MARETTO Y M. DI MEGLIO, 2005. Hierarchy of bounding surfaces in aeolian sandstones of the jurassic Tordillo Formation (Neuquén Basin, Argentina). *Geological Acta*, Vol.3. N°2, 133-145.