

## **Modelación de yacimientos de arena y grava en la llanura sur de Pinar del Río**

Elmidio Estévez-Cruz  
José Francisco Lastra-Rivero  
Esther María Cruz-Gámez

### **Resumen**

La presente investigación está dirigida a la tipificación de los yacimientos de arena y grava de la llanura sur y la identificación, a escala regional, de los principales factores controladores. La construcción de los modelos se basa en: 1) estudio de los datos aportados por investigaciones previas, 2) procesamiento de datos granulométricos, y 3) estudio del patrón de distribución espacial de los yacimientos empleando métodos de análisis espacial (análisis fractal y de Fry). El análisis de agrupamiento (cluster analysis), empleando los parámetros granulométricos, individualizó 5 grupos diferentes de yacimientos. El gráfico de Fry, para los yacimientos de la parte central de la llanura, reveló que los cuerpos se localizan dentro de una banda estrecha de dirección NE y en ella los depósitos constituyen grupos de lentes de arena. Atendiendo a los resultados del análisis fractal, el patrón de distribución de los lentes es bifractal, lo que implica que los controles de la deposición y localización operan en dos escalas espaciales diferentes. Sobre la base del procesamiento se identifican tres tipos principales de yacimientos: depósitos de arena cuarzosa bien clasificada de origen aluvial-deltaico, depósitos de arena cuarzosa con alto contenido de arcilla, de origen aluvial-marino, que incluye los subtipos central y occidental y los depósitos de origen aluvial asociados a los ríos actuales.

### **Palabras clave**

Yacimientos no metálicos; arena y grava; modelación; análisis fractal; análisis de Fry; patrón espacial.

## **Modeling of sand and gravel deposits in southern plain of Pinar del Rio province**

### **Abstract**

The present research aims at establishing the sand and gravel deposits models of the southern plain of Pinar del Río and identifying the main regional controlling factors. The modeling is based on three elements: 1) the review of data supplied by previous works, 2) the granulometric data processing, 3) the study of the spatial distribution pattern of sand deposits using spatial analysis methods (Fry and fractal analysis). The cluster analysis, based on grain size parameters, identified five different deposits groups. The Fry plot of the deposits, located in the central part of the plain, revealed that the sand lenses, composing the deposits, form a narrow band with NE alignment. According to the fractal analysis results the distribution pattern of lenses is bifractal, implying that geological control on deposition and location operated on two different spatial scales. Three model type of sand deposits were identified on the base of the processing results: well-sorted quartzsand deposits of alluvial-deltaic origin, quartzsand deposits with high clay content of alluvial-marine origin, that comprises the western and central subtypes, and alluvial deposits associated with the recent rivers.

### **Keywords**

Non metallic deposits; sand and gravel; modeling; fractal analysis; Fry analysis; spatial pattern.

## 1. INTRODUCCIÓN

La modelación es una herramienta fundamental de la investigación científica que facilita la interpolación y extrapolación a partir de datos dispersos, y muchas veces, incompletos (Bliss *et al.* 2009). Antes de realizar una evaluación cuantitativa regional de recursos es necesario establecer una clasificación sistemática de los yacimientos que existen en la zona y desarrollar modelos descriptivos para los mismos.

A diferencia de los yacimientos metálicos y de un número determinado de minerales industriales, para los que existen modelos descriptivos y cuantitativos bien establecidos, los depósitos de arena y grava carecen de modelos descriptivos lo suficientemente formalizados, donde se identifiquen los rasgos regionales distintivos y claramente reconocibles que permitan la discriminación de las áreas favorables y faciliten el pronóstico.

Bliss (1998) considera que los modelos descriptivos para depósitos de grava y arena están aún por desarrollar y que la creación de estos constituirá una actividad futura muy importante. En la literatura solo se reportan modelos para un número limitado de tipos de yacimientos de grava y arena, y para determinadas regiones en el mundo (Lindsey 1997; Hora 2007).

En la llanura sur se han estudiado y explotado un número importante de yacimientos de arena cuarzosa para diferentes usos, lo cual permite contar con abundante material fáctico a partir del cual tipificar los depósitos, atendiendo a sus rasgos más relevantes. Sin embargo, a pesar de los volúmenes de información existentes sobre los yacimientos de grava y arena, no se ha trabajado en establecer los modelos descriptivos bien formalizados que agrupen los yacimientos conocidos y donde se compilen las principales regularidades de su formación y localización espacial.

Esta investigación está dirigida a tipificar los yacimientos de arena y grava que existen en la llanura sur de Pinar del Río, Cuba, e identificar los principales factores controladores o criterios de reconocimiento que pueden ser empleados en la evaluación del potencial mineral. Se discuten las características fundamentales de los distintos tipos de yacimientos y se establecen modelos cuantitativos en los casos donde es posible.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la modelación de los yacimientos y la identificación de las principales regularidades de su formación y localización espacial se propone una metodología (Figura 1) que se basa en: 1) estudio y generalización de los datos aportados por investigaciones previas, 2) procesamiento de los datos granulométricos, 3) estudio del patrón de distribución espacial de los yacimientos.

Esta propuesta metodológica se fundamenta en el criterio de que los yacimientos de grava y arena, formados en condiciones geológicas diferentes, poseen rasgos granulométricos distintivos que permiten su diferenciación, así como un patrón típico de distribución espacial que puede ser revelado a partir de diferentes métodos de análisis espacial: análisis fractal y análisis de Fry.

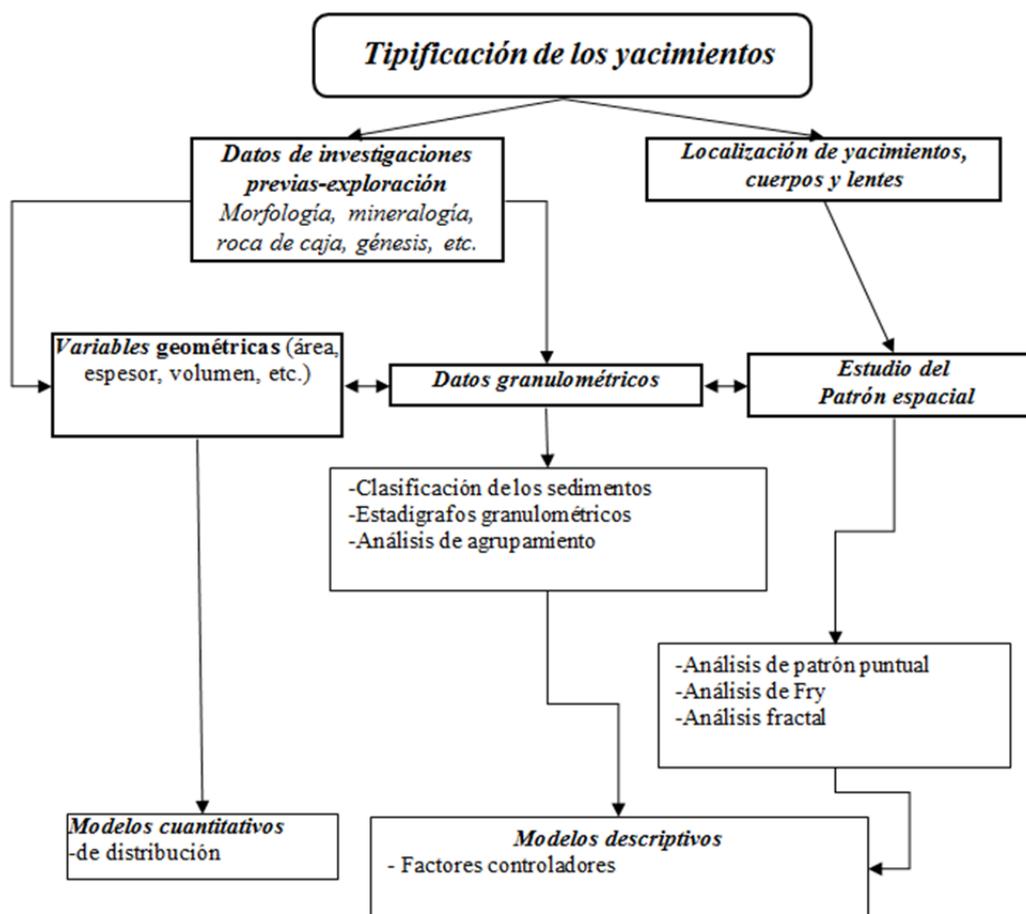


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para la tipificación de los yacimientos.

Para la tipificación de los depósitos de arena y grava de la llanura sur de Pinar del Río fueron consultados los distintos informes de exploración (Kukla 1966; Freire & Peláez 1981; Rego *et al.* 1984; Arce *et al.* 2003; Denis & Sobrino 2006; Pimentel & Denis-Valle 2008), trabajos temáticos, tesis y artículos científicos desarrollados sobre el tema. Para cada yacimiento se recopiló la información concerniente a: morfología, ideas sobre su génesis, unidad litoestratigráfica donde se aloja, composición mineralógica, roca de caja, litología y uso, además de parámetros cuantitativos como espesor, área y volumen.

Los datos granulométricos, obtenidos durante la exploración de estos yacimientos, también se recopilaron y procesaron para:

- Clasificar los sedimentos (rendimiento de grava, arena y fino, diagramas ternarios de clasificación de los sedimentos, etc.).
- Estimación de parámetros granulométricos por el método de Folk y Wards (1957): tamaño medio del grano (*phi*), clasificación o selección (desviación estándar), asimetría, kurtosis. Estos cálculos se realizan para cada muestra y posteriormente se promediaron para caracterizar cada yacimiento.
- Agrupamiento o tipificación de los yacimientos atendiendo a dichos parámetros (análisis de agrupamiento).
- Interpretación geológica de los resultados.

El último elemento utilizado en la tipificación considera la posición (amarre) espacial de los yacimientos y se fundamenta en el estudio de su patrón de distribución. El conocimiento de la distribución espacial de los depósitos minerales y su orientación preferencial en una región es esencial para diseñar campañas exitosas de exploración mineral (Yaghubpur & Hassennejad 2006). Por esta razón, su estudio ayuda a revelar y definir controles geológicos de la mineralización, o sea, identificar las estructuras o rasgos que controlan su formación y localización. El patrón espacial de un conjunto de puntos se puede establecer a partir de diferentes procedimientos: análisis del patrón de puntos (estadística de vecinos más cercanos), análisis fractal y análisis de Fry.

### 2.1 Análisis fractal

Mandelbrot (1983) introduce el término fractal para describir un patrón caracterizado por poseer partes o fracciones que poseen una geometría más o menos similar al patrón general. El análisis fractal ha sido empleado con el objetivo de caracterizar el patrón espacial de yacimientos minerales de un tipo dado, interpretar los controles geológicos de la mineralización y establecer la escala a la cual los mismos operan (Raines 2008; Carranza 2009; Carranza *et al.* 2009).

La dimensión fractal ( $D_b$ ) de un conjunto de puntos (yacimientos y manifestaciones minerales) puede ser medida a través del método de conteo de cuadrículas (*box-counting method*). En el método se definen diferentes tamaños de cuadrículas, celdas o píxeles ( $\delta$ ) que cubren toda el área de estudio y para cada tamaño de celda se determina la cantidad de las mismas que contienen al menos un depósito  $n(\delta)$ . El tamaño de la celda y la cantidad de celdas, con al menos un yacimiento, se plotean en un gráfico de dispersión a escala logarítmica. Si el patrón espacial de los puntos es fractal, entonces el gráfico log-log de  $n(\delta)$  vs.  $\delta$  se ajusta a una función potencia del tipo  $n(\delta) = C\delta^{-D_b}$ , donde  $D_b$  es la dimensión fractal que varía entre 0 y 2, y  $C$  es una constante de proporcionalidad.

## 2.2 Análisis de Fry

El método de autocorrelación espacial, también conocido como análisis de Fry, se desarrolló como una vía para medir la deformación en rocas a partir de patrones de objetos que inicialmente mostraban una distribución aleatoria. La técnica, que se considera equivalente de la variografía en los métodos geoestadísticos, se utiliza para establecer los controles de la mineralización y estudiar los patrones de distribución de los yacimientos minerales (Vearncombe & Vearncombe 1999; Yaghubpur & Hassannejad 2006; Carranza 2009; Carranza *et al.* 2009). El procedimiento para construir el gráfico de Fry, a partir de un conjunto de entidades puntuales, se describe por Vearncombe & Vearncombe (1999).

El gráfico de Fry permite identificar patrones no visibles en la disposición espacial de los datos, pero además registra la distancia y dirección entre los pares de puntos trasladados, lo que permite construir diagramas de rosas. Estos diagramas se construyen para todos los pares de puntos y para pares separados a una distancia dada, facilitando el estudio de tendencias o procesos que operan a distintas escalas.

Finalmente, para concluir esta etapa se generan los modelos cuantitativos de distribución (Bliss *et al.* 2003), los cuales son distribuciones estadísticas empíricas que describen los parámetros fundamentales (variables geológicas, económicas, geométricas (área, volumen y espesor) y geotécnicas) de los yacimientos de arena y grava de un determinado modelo descriptivo (Bliss 1998). En este caso los parámetros geométricos de los yacimientos conocidos se plotean en el eje horizontal (escala logarítmica) mientras en la vertical se representa la proporción acumulativa de yacimientos. La construcción se

concluye ajustando una distribución log normal con media y desviación estándar que se corresponden con los datos.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Caracterización de los yacimientos de arena y grava en el área de estudio**

Sobre la base de la recopilación y generalización de los datos aportados por trabajos anteriores se identificaron los siguientes elementos comunes para estos depósitos:

- Atendiendo a su génesis los depósitos han sido clasificados como marinos, aluviales, aluviales marinos, aluvial deltaico y deluviales.
- Según su morfología se diferencian dos tipos fundamentales: a) los que forman capas, cubren una extensión considerable y poseen espesor limitado, b) los lenticulares que forman pequeños cuerpos, donde predominan las transiciones litológicas en la vertical y la horizontal.
- Los depósitos de grava y arena se asocian a la formación Guane (gne N<sub>2</sub>-Q<sub>1</sub>), los sedimentos aluviales-marinos (am Q<sub>3-4</sub>), sedimentos aluviales actuales y depósitos poligenéticos.
- La composición mineralógica de las arenas es principalmente cuarzo, de los detritos acarreados por los ríos, que provienen de la formación San Cayetano.
- Como generalidad, las arenas finas homogéneas bien clasificadas sobreyacen las arenas de grano medio, heterogéneas y con alto contenido de arcilla.

#### **3.2 Análisis de los datos granulométricos**

El procesamiento de los datos granulométricos permitió establecer que el contenido porcentual de los distintos tipos de sedimentos en los yacimientos varía de limo grueso a arena muy gruesa. Además, este parámetro muestra los siguientes patrones característicos:

a) Depósitos donde predomina la arena fina (FS) y muy fina (VFS), llegando a alcanzar estas fracciones hasta el 90 % del total del yacimiento (Bailén Cortés, Santa Bárbara).

b) Depósitos donde existe un marcado predominio de la fracción gruesa (más del 70 %) (arena media-MS, arena gruesa-CS y muy gruesa-VCS) (Esbec 19SO, Barrigón y Esbec 11).

c) Depósitos donde se manifiesta una amplia variedad de tipos de sedimentos y existen porcentajes comparables de la fracción gruesa y la fracción fina (Sabana Parraga, Las Llanadas, Guasimal, 20 de Mayo).

El análisis de las distribuciones granulométricas y la estimación de los principales parámetros permitieron agrupar los yacimientos atendiendo a sus particularidades sedimentológicas. Los resultados promediados en cada yacimiento y los rangos de variación de los parámetros ( $\phi$ , clasificación y asimetría) se representaron en diagramas de caja y gráficos de dispersión.

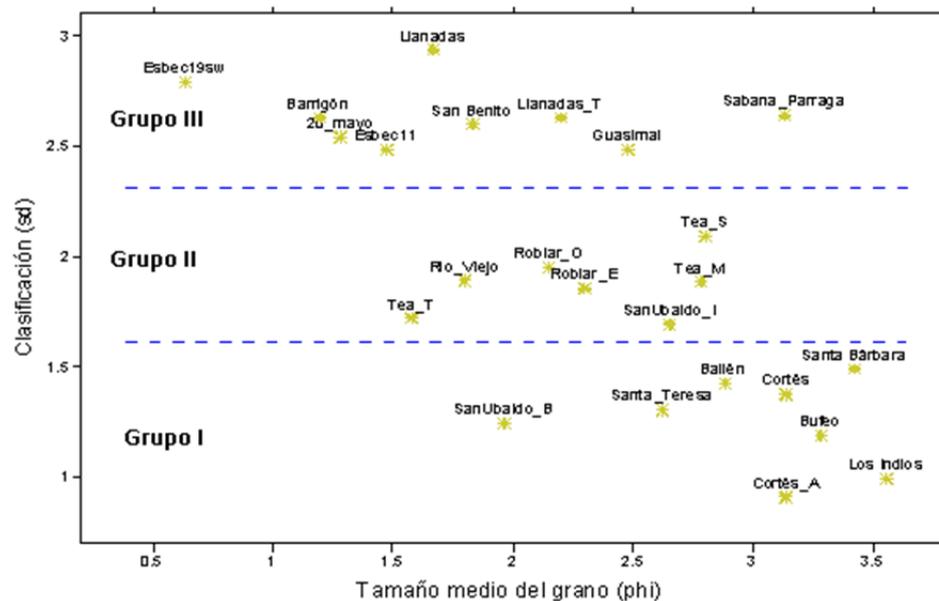


Figura 2. Gráfico del tamaño medio del grano ( $\phi$ ) vs. clasificación, empleando los valores medios de los parámetros granulométricos en los yacimientos de arena.

El gráfico (Figura 2) revela tres grupos sobre la base del parámetro clasificación, además, muestra la variación del diámetro medio entre los distintos grupos y dentro de cada uno de ellos.

El grupo I se caracteriza por sedimentos de grano fino y buena selección (Santa Teresa, Bailén, Cortés, Santa Bárbara), el grupo II posee valores intermedios de selección y valores moderados del tamaño del grano (La Tea y depósitos de paleocauces) y el grupo III posee el menor grado de selección y un amplio rango de variación del tamaño medio de las partículas. En él se localizan los yacimientos de áridos naturales asociados con la formación Guane (Las Llanadas,

Sabana Parraga, Esbec 19SO, etc.). Dentro de este grupo los yacimientos de la parte occidental de la llanura poseen los granos más gruesos.

Finalmente, para discriminar los yacimientos de arena en un espacio multidimensional, se llevó a cabo un análisis de agrupamiento (*cluster*) empleando los parámetros granulométricos: clasificación, asimetría, tamaño medio del grano y los percentiles  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ , y  $D_{90}$ , que representan las dimensiones, en escala  $\phi$ , de determinados porcentajes de la distribución (10 % más grueso, 10 % más fino y la mediana de la distribución). En los dendrogramas se identifican cinco grupos principales (Figura 3):

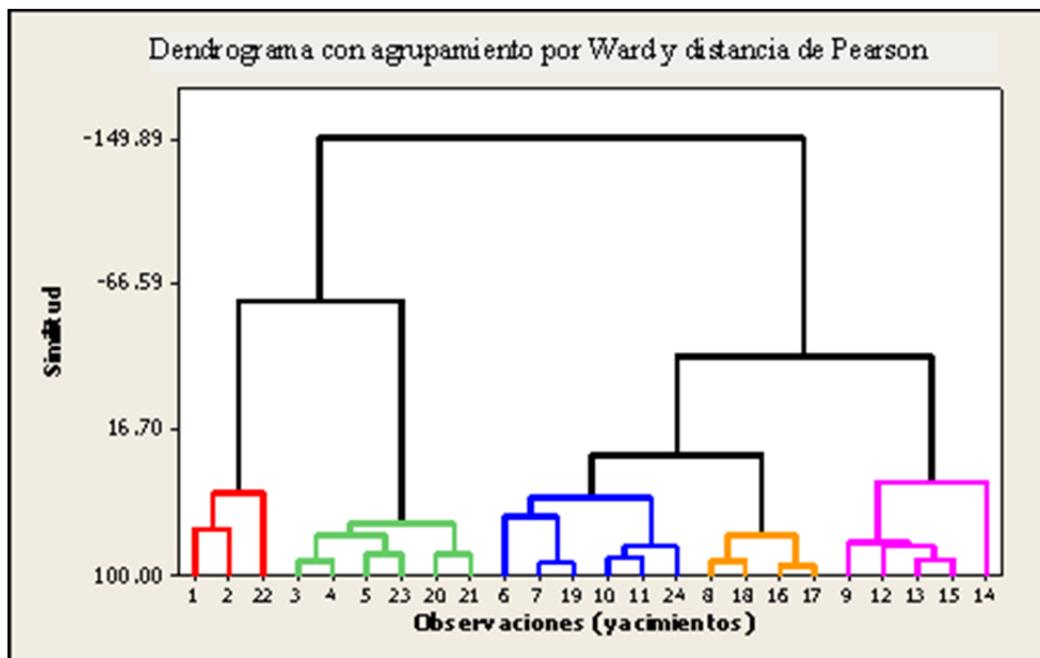


Figura 3. Dendrograma de los yacimientos empleando las variables granulométricas: clasificación, asimetría y tamaño medio del grano ( $\phi$ ). 1-S. Ubaldo\_I, 2-S. Ubaldo\_B, 3-Santa Teresa, 4-Bailen, 5-Cortés, 6-Sabana Parraga, 7-Tea\_S, 8-Tea\_T, 9-Llanadas, 10-Llanadas\_T, 11-S. Benito, 12-20 demayo, 13-Esbec11, 14-Esbec19SW, 15-Barrigón, 16-Roblar\_O, 17-Roblar\_E, 18-Río Viejo, 19-Tea\_M, 20-Cortés\_A, 21-Los Indios, 22-Bufo, 23-S. Bárbara, 24-Guasimal.

Grupo I –Formado por los yacimientos de arena cuarzosa de grano fino (Santa Teresa, Bailén, Cortés, Santa Bárbara, Los Indios. Este grupo posee una perfecta coherencia espacial, localizándose todos los yacimientos próximos unos de otros en la parte más occidental de la llanura (llanura suroccidental).

Grupo II –Formado por el yacimiento San Ubaldo y Bufe. Ambos con características muy similares al grupo I pero con asimetría negativa. Espacialmente ocupan la misma posición que el grupo anterior.

Grupo III –Formado por los yacimientos de arena en paleocauce (Roblar Este, Roblar Oeste y Río Viejo) y un sector del yacimiento La Tea evaluado para la construcción.

Grupo IV -Formado por los yacimientos Esbec 19SO, Esbec 11, Barrigón, 20 de Mayo, los cuales se localizan en la parte occidental de la llanura (llanura suroccidental), más un sector del yacimiento Las Llanadas.

Grupo V –Formado por los yacimientos que se localizan en la parte central de la llanura: San Benito, Sabana Párraga, Las Llanadas, sectores de La Tea. Este grupo es poco compacto (poca homogeneidad), posee una elevada variabilidad dentro del mismo, lo cual es reflejo de las diferencias que existen entre sus miembros. La diferencia con el grupo IV radica en el diámetro medio de las partículas (poseen granulometría más fina).

### **3.3 Resultados del análisis del patrón espacial**

Para el análisis de la distribución espacial se tuvo en cuenta el agrupamiento de los yacimientos resultante del procesamiento granulométrico. El estudio se concentró básicamente en los yacimientos que se ubican en la parte central de la llanura (grupo V) y se orientó no a los yacimientos independientes, sino a los lentes o cuerpos que los constituyen. Para el resto de los grupos la aplicación de los métodos se considera de poca utilidad dada la cantidad limitada de yacimientos en cada uno de ellos.

El análisis de Fry reveló que los cuerpos se localizan dentro de una banda o franja estrecha de dirección NE y en ella los depósitos constituyen grupos o *clusters* de lentes de arena (Figura 4).

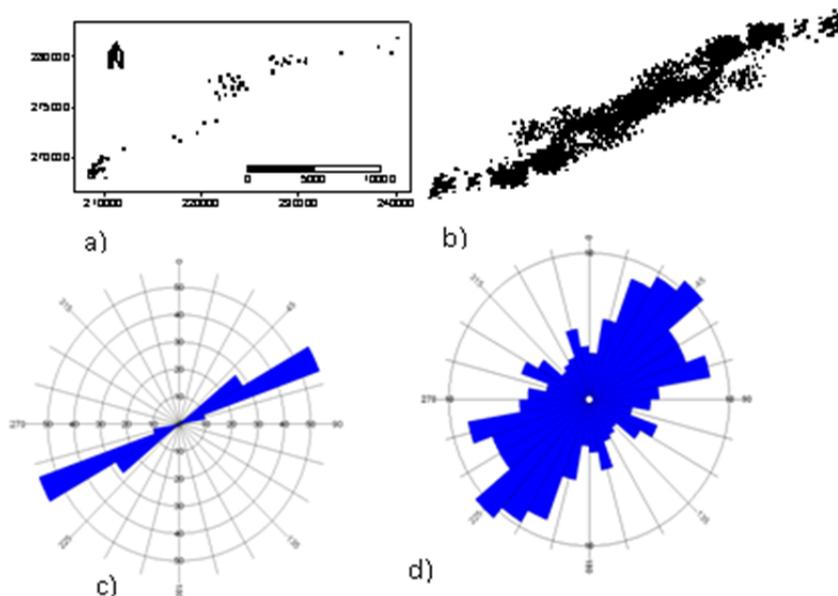


Figura 4. Resultados del análisis de Fry. a) Mapa de localización de los principales lentes de arena, b) Gráfico de Fry, c) Diagrama de rosa para todos los pares de puntos del gráfico de Fry, d) Diagrama de rosa para todos los pares de puntos localizados a distancias menor de 1 800 m.

Los diagramas de rosa fueron construidos para todos los pares de puntos del gráfico de Fry y para pares localizados a determinada distancia. El diagrama de rosa con todos los pares revela la dirección preferencial NE  $60^\circ$  coincidente con la orientación de la franja que incluye los depósitos. En el diagrama para las distancias entre pares de 1 800 m (distancia a la cual existe una probabilidad cercana a 1 de encontrar un lente) aparecen también la misma dirección NE y otras con carácter subordinado (NW-SE). Esta última refleja la dirección de donde proceden los sedimentos que dieron origen a los yacimientos de arena.

Atendiendo a los resultados del análisis fractal, el patrón de distribución de los lentes de arena es no aleatorio, siendo fractal su componente determinística (Figura 5).

El patrón posee dos dimensiones fractales (bifractal según Raines 2008), pues el gráfico se puede ajustar con dos líneas rectas (el ajuste con una sola línea posee menor coeficiente de determinación,  $R^2$ ). El punto de inflexión (5,27 km) se determinó visualmente y corresponde aproximadamente con el tamaño medio de los yacimientos de arena (grupos de lentes).

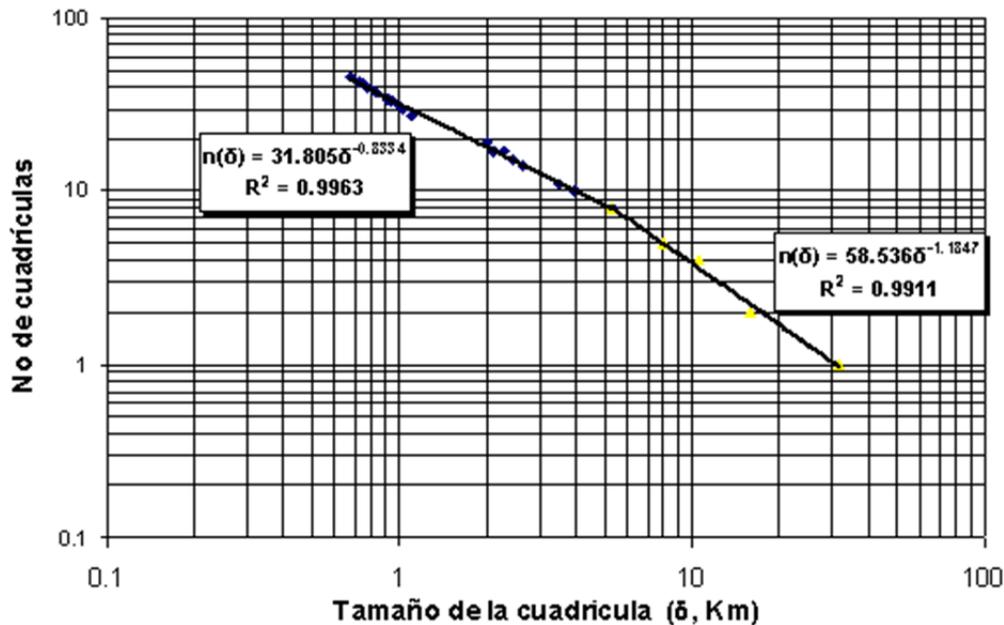


Figura 5. Gráfico de dispersión log-log que define la dimensión fractal del patrón de distribución de los lentes de arena en el área. Cada línea recta ajustada a los dos segmentos cumple con la función de tipo  $y = cx^b$ .

Estos resultados implican que los controles de la deposición y localización de los lentes operan en dos escalas espaciales diferentes. Siguiendo la interpretación de varios autores (Raines 2008), la primera dimensión fractal refleja procesos locales, mientras la segunda se corresponde con la escala regional. El control geológico (<5,27 km), a escala local, actúa dentro de cada grupo o yacimiento y está relacionado con los procesos que condicionan la acumulación de los lentes de arena en los límites de la llanura de inundación de una corriente fluvial (migración lateral del cauce, procesos de avulsión, etc.); por otra parte, a escala regional, los controles se manifiestan entre los depósitos (grupos) y se vinculan con el espaciamiento entre los cursos fluviales y la distancia a la zona de aporte, que condiciona el tramo en la llanura donde predominan los procesos acumulativos.

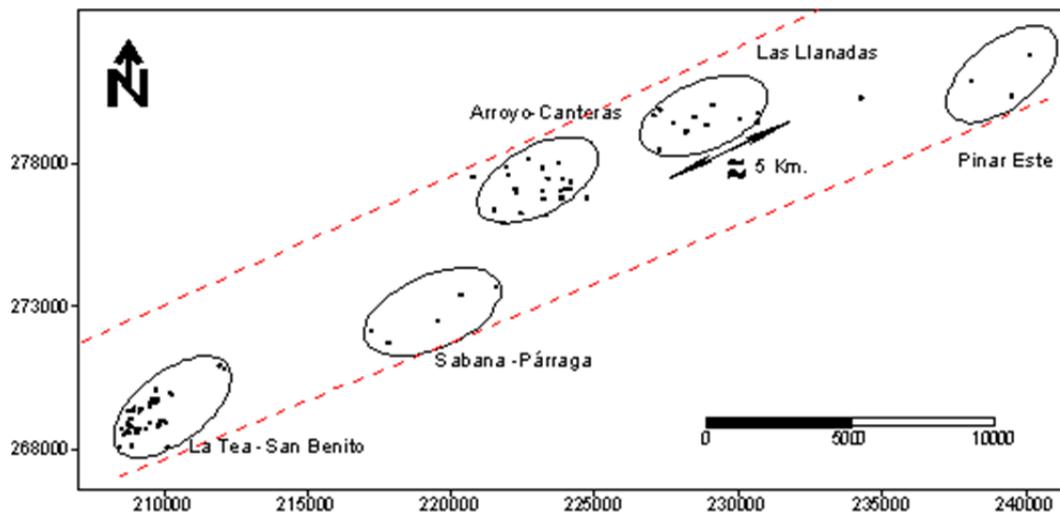


Figura 6. Mapa que muestra los principales resultados del análisis espacial de los lentes de arena.

Finalmente, el análisis fractal muestra que los lentes se aglomeran en grupos (yacimientos) de aproximadamente 5 km, los cuales, a su vez, están separados unos de otros a distancias mayores de 5 km (Figura 6).

#### 4. DISCUSIÓN

Sobre la base de la generalización de las investigaciones previas y los resultados de procesamiento de los datos granulométricos se identifican tres grupos o tipos principales de yacimientos de arena:

- Depósitos de arena cuarzosa bien clasificada de origen aluvial deltaico (Grupo I y II).
- Depósitos de arena cuarzosa con alto contenido de arcilla de origen aluvial-marino (Grupo IV y V).
- Depósitos de origen aluvial asociados a los ríos actuales (cauces abandonados, cauces activos, terrazas) (Grupo III).

##### 4.1. Depósitos de arena cuarzosa bien clasificados de origen aluvial deltaico

Estos yacimientos, constituidos por arena cuarzosa de alta pureza, han sido estudiados para su uso en la producción de vidrio de diferentes calidades y en la metalurgia. En sentido general, se caracterizan por poseer una buena clasificación, grano fino (San Ubaldo es la excepción), y forman cuerpos laminares o capas de relativamente poco espesor y gran extensión superficial.

Existe consenso entre los especialistas acerca del origen aluvial deltaico de los yacimientos anteriormente descritos (Kukla 1966; Freire & Peláez 1981). Estos yacimientos representan así playas fósiles o terrazas marinas, que forman franjas paralelas al rumbo del antiguo litoral, en las que la acción del oleaje favoreció la reclasificación y la eliminación de los finos.

Espacialmente, estos depósitos se localizan en el extremo suroccidental de la llanura, aunque se reportan manifestaciones (La Coloma, Galope y Laguna Santa María de Buena Vista) más hacia el este (Kukla 1966). Los yacimientos se alojan en los sedimentos de origen aluvial marino de edad  $Q_{III-IV}$  que yacen de forma discordante sobre la formación Guane.

#### **4.2. Depósitos de arena cuarzosa con alto contenido de arcilla de origen aluvial marino**

Los depósitos de este tipo se asocian a los sedimentos arenosos y arenos arcillosos de la formación Guane  $N_2-Q_I$  de origen aluvial marino. Litológicamente están constituidos por arenas cuarzosas de grano medio a grueso con presencia de gravas, siendo significativo el contenido de arcilla. Los yacimientos de este tipo no forman capas continuas sino lentes de extensión limitada y poca potencia donde se manifiestan frecuentes cambios faciales, tanto en la vertical como en el plano. Los lentes de arenas se intercalan con los sedimentos arcillosos y están generalmente sobreyacidos por arena de grano muy fino. Tradicionalmente, se han explotado como áridos para la construcción (mortero, hormigón, pavimento de carreteras, etc.).

En la parte central de la llanura estos yacimientos se localizan a lo largo de una franja de dirección NE-SO, muy próximos al contacto meridional de la formación Guane o en las proximidades del escalón geomorfológico de carácter erosivo que posee también la misma orientación. Este hecho determina que geomorfológicamente los yacimientos de arenas están confinados a un rango hipsométrico determinado dentro de la llanura.

Desde el punto de vista genético, se le han asignado distintos orígenes a estos depósitos: aluvial, aluvial-marino, deluvial, marino, etc. Sin embargo, la poca selección de los sedimentos, los frecuentes cambios faciales, la composición litológica y el patrón de distribución espacial favorecen el origen aluvial. Por otra parte, la gran variación y las diferencias palpables que se manifiestan entre los yacimientos de este grupo son reflejo de las disímiles condiciones en las que se formaron

dentro de los sistemas fluviales (abanicos aluviales, depósitos de cauce, llanuras de inundación, etc.).

Mención aparte merecen los depósitos que se localizan en la llanura suroccidental, especialmente Esbec 19SO, Barrigón y Esbec 11, los cuales se asocian también a la misma unidad litoestratigráfica, pero poseen ciertas diferencias con el resto de los yacimientos de este grupo, principalmente en lo referente al tamaño del grano, la cantidad de sedimentos finos, y la posición dentro de la llanura. En estos depósitos las arcillas se localizan en el yacente de los cuerpos y no se intercalan ni interdigitan con los mismos. Los lentes de arena de grano grueso a media con grava están bordeados y cubiertos de sedimentos arenosos de grano más fino. Todos estos elementos hacen pensar que en la formación de estos depósitos ha tenido mayor incidencia la influencia del mar, la cual provocó la disminución de los sedimentos arcillosos. Otra diferencia palpable con los yacimientos del centro de la llanura es el número limitado de lentes que los conforman. Por todas estas razones este tipo se subdividió en dos subtipos: subtipo central y subtipo occidental.

Sobre la base de lo hasta aquí expuesto se identifican los principales factores o rasgos geológicos que permiten orientar el pronóstico de este tipo de depósitos.

- Estos yacimientos se asocian a la formación Guane o a una parte de esta.
- Forman franjas con orientación NE-SO (básicamente los del centro de la llanura).
- Los yacimientos, aunque se localizan en zonas relativamente llanas, están confinados a un rango altimétrico determinado.
- Se presupone que las zonas donde se localizan se caracterizan por el desarrollo de un determinado tipo de suelo.
- La presencia en la zona elevada (cordillera) de rocas que constituyen fuentes de aporte del material terrígeno de composición cuarzosa.

### 4.3. Depósitos de arena en cauces abandonados

En los sistemas fluviales la grava y la arena se asocian a los cauces activos, a las llanuras de inundación (dentro de los cauces abandonados o paleocauces) y a las terrazas fluviales que representan antiguas llanuras de inundación. En los ríos, las corrientes van más rápidas en la parte exterior de la curva que en la interior. Esto produce una mayor erosión en la orilla cóncava. En contraste, la carga de fondo tiende a depositarse en la parte interna, donde la velocidad de la corriente es menor, produciendo un depósito de grava y arena conocida como barra de meandro (*point bar*). El efecto de estas barras en los meandros es que la curvatura tiende a ser cada vez más pronunciada, hasta que el cauce se rectifica por estrangulamiento. El desarrollo de nuevos meandros provoca que el río migre de un lado a otro de la llanura de inundación.

Mederos *et al.* (2009) establecen un modelo geológico descriptivo para los depósitos de grava y arena en cauces abandonados en la llanura sur de Pinar del Río. A partir de ese modelo y del conocimiento de la dinámica de las corrientes fluviales se identifican tres criterios fundamentales que pueden ser usados para el pronóstico regional de este tipo de depósito (Estévez *et al.* 2010): a) Los yacimientos de grava y arena están asociados a los sedimentos aluviales del Cuaternario, b) se forman en zonas donde predominan los procesos acumulativos, el cauce ha migrado lateralmente dejando en su recorrido meandros abandonados, paleocauces y otras formas deposicionales que contribuyen al amplio desarrollo de la llanura de inundación, c) los depósitos aluviales se forman a partir de la erosión de las formaciones terrígenas (formaciones San Cayetano, Manacas, Arroyo Cangre, etc.) que afloran en la cordillera de Guaniguanico.

#### Modelos cuantitativos

Cada modelo se basa en determinadas suposiciones o presupuestos razonables que el especialista asume que se cumplen. Como el número de depósitos conocido es limitado y los yacimientos aluvial-marinos no forman capas continuas sino pequeños cuerpos independientes, los modelos se construyeron para los lentes o cuerpos de los yacimientos que pertenecen a este modelo.

Sobre la base de los datos recopilados de estos yacimientos se construyeron los modelos de distribución para los parámetros geométricos: área, volumen y espesor (Figura 7).

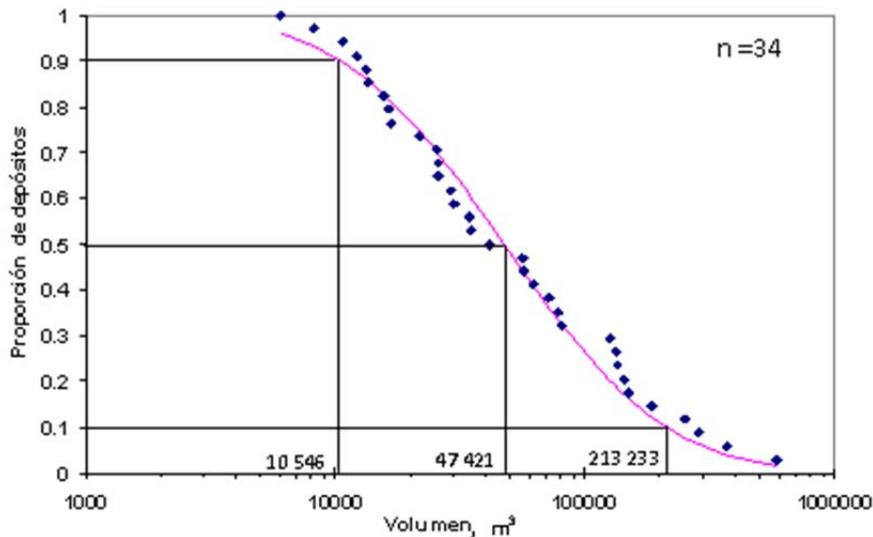


Figura 7. Modelo cuantitativo para el volumen ( $m^3$ ) de los lentes o bloques pertenecientes a los depósitos aluvial-marinos.

La habilidad predictiva de estos modelos radica en los percentiles calculados a partir de la distribución empírica o la ajustada a los datos, los cuales dan la probabilidad de ocurrencia en la región de estudio de lentes o bloques de determinada extensión superficial, volumen o espesor. Por ejemplo, el percentil 90 en el modelo del volumen corresponde con el valor de  $213\ 233\ m^3$ , lo que significa que el 10 % de los bloques (1 de 10 lentes) poseen volúmenes iguales o mayores que este valor. Por lo tanto, la probabilidad de encontrar lentes con volúmenes mayores es de solo 0,1 o 10 %. De igual forma la probabilidad de encontrar lentes  $>47\ 421\ m^3$  es de 0,5 y  $>10\ 546\ m^3$  es de 0,9. Estos modelos permiten estimar los recursos no identificados en el área de estudio.

## 5. CONCLUSIONES

El procesamiento de los datos granulométricos, complementado con el estudio del patrón espacial, demuestra ser una vía eficaz para la modelación de los depósitos de agregados. En la llanura sur de Pinar del Río se identifican tres tipos o modelos principales de yacimientos de arena: depósitos de arena cuarzosa bien clasificada de origen aluvial-deltaico, depósitos de arena cuarzosa con alto contenido de arcilla de origen aluvial-marino que incluye los subtipos central y occidental, y depósitos de origen aluvial asociados a los ríos actuales. Para cada uno de ellos se establecieron los principales criterios de reconocimiento que facilitan los trabajos de selección de área favorables.

Mediante el estudio del patrón de distribución espacial de los cuerpos de arena, que forman los yacimientos de la parte central de la llanura (subtipo central), se estableció que los lentes se localizan dentro de una banda estrecha de dirección NE, separada a una distancia uniforme de la cordillera de Guaniguanico (fuente de aporte).

El análisis fractal reveló que los lentes se aglomeran en grupos (yacimientos) de aproximadamente 5 km, lo que corresponde con el ancho promedio de las llanuras de inundación de los antiguos ríos que drenaban la llanura.

## 6. REFERENCIAS

- ARCE, B. M.; SOBRINO, H. E.; PIMENTEL, R. R.; IZQUIERDO, M. & GONZÁLEZ, O. R. 2003: Informe final Exploración de arena para construcción yacimiento ESBE No 19 Suroeste. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.
- BLISS, J. D. 1998: Aggregate modeling and assessment. En: Bobrowsky, P. T. (ed.) *Aggregate Resources: a global perspective*. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, 255-274.
- BLISS, J. D.; MOYLE, P. R. & BOLM, K. S. 2003: Statistical, economic and other tools for assessing natural aggregate. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 62: 71-75.
- BLISS, J. D.; WILLIAMS, S. J. & BOLM, K. S. 2009: Modeling cape and ridge-associated marine sand deposits; a focus on the U.S. Atlantic Continental Shelf. *U.S. Geological Survey Bulletin* 2209-M, 22 p.
- CARRANZA, E. J. M. 2009: Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geology Review* 35: 383-400.
- CARRANZA, E. J. M.; OWUSO, E. A. & MARTIN, H. 2009: Mapping of prospectivity and estimation of number of undiscovered prospects for lode gold, southwestern Ashanti Belt, Ghana. *Mineralium Deposita* 44: 915-938.
- DENIS, R. & SOBRINO, E. 2006: Reconocimiento geológico de arena para la construcción en la cuenca del río Hondo. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.
- ESTÉVEZ, E. C.; CUETO, C. G. & TELLEZ, A. R. 2010: Selección de áreas potenciales para áridos en paleocauces de la llanura sur, Pinar del Río, Cuba. *Minería y Geología* 26(1): 13-44.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957: Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-26.
- FREIRE, L. & PELÁEZ, R. 1981: Informe final sobre la búsqueda regional de arena cuarzosa en el yacimiento La Fe-Cortés. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.

- HORA, Z. D. 2007: Sand and Gravel-Mineral deposits profiles. Consulta: 10 feb 2013. Disponible en: <http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/MineralDepositProfiles/ListbyDepositGroup/Pages/BResidualSurficial.aspx#B12>.
- KUKLA, J. 1966: Informe sobre el yacimiento de arena para vidrio Santa Teresa y descripción breve de otros yacimientos de arena silíceo marinas en la provincia de Pinar del Río y La Habana. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.
- LINDSEY, D. A. 1997: An Introduction to sand and gravel deposit models, Front Range Urban Corridor. *U.S. Geological Survey Open-File Report 97-81*.
- MANDELBROT, B. B. 1983: *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, New York, 495 p.
- MEDEROS, J. L.; ESTÉVEZ, E.; DENIS, R. & SOBRINO, E. 2009: Perspectivas de arena para construcción en los paleocauces de la llanura sur de Pinar del Río. En: III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra "Geociencias 2009". Memorias, La Habana, Cuba, 16-20 de marzo, 528-565.
- PIMENTEL, R. & DENIS-VALLE, R. 2008: Informe de prospección geológica del yacimiento de arena de construcción ESBEC-11, Sandino, Pinar del Río. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.
- RAINES, G. L. 2008: Are fractal dimensions of the spatial distribution of Mineral deposits meaningful? *Natural Resources Research* 17: 87-97.
- REGO, O.; AZUSMENDI, L.; ARGUDIN, M.; ESTRADA N. & LINARES, A. 1984: Informe de búsqueda orientativa y detallada para arena de construcción al este de Pinar del Río, con cálculo de reservas correspondiente a septiembre de 1983. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.
- VEARNCOMBE, J. & VEARNCOMBE, S. 1999: The spatial distribution of mineralization: applications of Fry analysis. *Economic Geology* 94: 475-486.
- YAGHUBPUR, A. & HASSANNEJAD, A. A. 2006: The spatial distribution of some chromite deposits in Iran, using Fry analysis. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 17(2): 147-152.

**Elmidio Estévez Cruz** [estevez@geo.upr.edu.cu](mailto:estevez@geo.upr.edu.cu)  
Doctor en Ciencias Técnicas.  
Profesor Titular. Universidad de Pinar del Río, Cuba.

**José Francisco Lastra Rivero** [jlastra@geo.upr.edu.cu](mailto:jlastra@geo.upr.edu.cu)  
Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular.  
Universidad de Pinar del Río, Cuba.

**Esther María Cruz Gámez** [ecruz@geo.upr.edu.cu](mailto:ecruz@geo.upr.edu.cu)  
Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Titular.  
Universidad de Pinar del Río, Cuba.