

Análisis estadístico de las densidades de las rocas de las principales unidades geológicas del suroeste de la Cuenca Central, Cuba.

Jessica Morales González¹, Osvaldo Rodríguez Morán² y Manuel Enrique Pardo Echarte³

¹ *Ingeniera Geofísica. Profesora Instructora de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», CUJAE, Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba, ORCID: 0000-0001-5394-6893, Correo electrónico: jessimoglez@gmail.com.*

² *Ingeniero Geofísico. Máster en Geología Petrolera. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular e Investigador Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», CUJAE, Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba, ORCID: 0000-0001-9153-4603, Correo electrónico: ormoran2016@gmail.com.*

³ *Ingeniero Geofísico. Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Titular e Investigador Titular del Centro de Investigación del Petróleo. Churrucá No. 481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro. C.P.10600. La Habana, Cuba, ORCID: 0000-0003-0669-4412, Correo electrónico: pardo@ceinpet.cupet.cu.*

RESUMEN

La Cuenca Central fue la mayor región productora de petróleo del país en la década de los 60'. Esto trajo como consecuencia un desarrollo acelerado de los trabajos de exploración, los cuales se han extendido por más de 50 años de investigación y desarrollo. No obstante, después de la década del 90' con el descubrimiento del yacimiento Pina, no ha habido otro hallazgo de importancia, debido en parte por la elevada complejidad geológica del territorio y el carácter volcánico de las secuencias presentes. Esto limita la profundidad de investigación del método geofísico principal para la prospección de hidrocarburos: el método sísmico de reflexión. Los modelos disponibles de la constitución geológica en el suroeste de la Cuenca Central de Cuba, no cumplen con las expectativas de realizar nuevos hallazgos de yacimientos de hidrocarburos. Se considera que el modelo de la distribución de densidades de las rocas, abordan de una manera simplificada la complejidad estructural del te-

ritorio. Las unidades geológicas fundamentales presentes en la Cuenca Central son: los sedimentos del postorogénico, los sedimentos del sinorogénico, las tobas y las rocas efusivas del Arco Volcánico del Cretácico; las ofiolitas de la Asociación Ofiolítica, los carbonatos correspondientes a las Unidad Estructuro-Tectónica Camajuaní y Placetas y el basamento. El objetivo principal de esta investigación es el análisis estadístico de las densidades de las rocas de las principales unidades geológicas del suroeste de la Cuenca Central. Por ello a las mediciones de densidad de los núcleos de pozos perforados, se le aplicaron estimaciones de la tendencia central, variabilidad y pruebas estadísticas de los valores medios para lograr una diferenciación por este atributo de las principales unidades geológicas. Como resultado se obtuvo una propuesta del modelo petrofísico de esta región, donde se aprecia que las poblaciones procesadas no se superponían, sino que se comportaban de manera independiente.

Palabras clave: densidad de las rocas, Cuenca Central, constitución geológica, modelo petrofísico

ABSTRACT

The Cuenca Central was the biggest oil-producing region in the country in the 1960s. This resulted in an accelerated development of exploration work, which has spanned over 50 years of research and development. However, after the 90's with the discovery of the Pina field, there has been no other finding of importance, due in part to the high geological complexity of the territory and the volcanic nature of the sequences present. This limits the depth of investigation of reflection seismic, which is the main geophysical method for prospecting hydrocarbons. Furthermore, the available models of the geological constitution in the southwest of the Cuenca Central of Cuba do not meet the expectations of making new discoveries of hydrocarbon deposits. It is considered that the model of the distribution of rock densities, addresses in a simplified way the structural complexity of the territory. The fundamental geological units present in the Cuenca Central are: the post-orogenic sediments, the sinorogenic sediments, the tuffs and the effusive rocks of the Cretaceous Volcanic Arc; the ophiolites of the Ophiolitic Association, the carbonates corresponding to the Unidad Estructuro-Tectónica Camajuaní and Placetas and the basement. The main objective of this research is the statistical analysis of the densities of the rocks of the main geological units in the southwest of the Cuenca Central. Therefore, to the density measurements of the nuclei of drilled wells, estimates of the central tendency, variability and statistical tests of the mean values were applied to achieve a differentiation by this attribute of the main geological units. As a result, a proposal for the petrophysical model of this region was obtained, where it can be seen that the processed populations did not overlap, but behaved independently.

Key words: rock density, Cuenca Central, geological constitution, petrophysical model

RESUMO

A Cuenca Central era a maior região produtora de pe-

tróleo do país na década de 1960. Isso resultou em um desenvolvimento acelerado de trabalhos de exploração, que abrangeram mais de 50 anos de pesquisa e desenvolvimento. No entanto, após a década de 1990 com a descoberta do depósito Pina, não houve outra descoberta significativa, em parte devido à alta complexidade geológica do território e ao caráter vulcânico das sequências presentes. Isso limita a profundidade da investigação do principal método geofísico de prospecção de hidrocarbonetos: o método de reflexão sísmica. Os modelos disponíveis da constituição geológica no sudoeste da Cuenca Central de Cuba não atendem às expectativas de novas descobertas de depósitos de hidrocarbonetos. Considera-se que o modelo de distribuição da densidade da rocha aborda a complexidade estrutural do território de forma simplificada. As unidades geológicas fundamentais presentes na Cuenca Central são: sedimentos postorogênicos, sedimentos sinorogênicos, tufos e rochas efusivas do Arco Vulcânico Cretáceo; os ofiolitos da Associação Ofiolítica, os carbonatos correspondentes à Unidad Estructuro-Tectónica Camajuaní e Placetas e o embasamento. O objetivo principal desta pesquisa é a análise estatística das densidades rochosas das principais unidades geológicas do sudoeste da Cuenca Central. Assim, às medições de densidade dos testemunhos dos poços perfurados, foram aplicadas estimativas da tendência central, variabilidade e testes estatísticos dos valores médios para se conseguir uma diferenciação por este atributo das principais unidades geológicas. Como resultado, foi obtida uma proposta para o modelo petrofísico desta região, onde pode ser visto que as populações processadas não se sobrepõem, mas se comportam de forma independente.

Palavras-chave: densidade de rocha, Cuenca Central, constituição geológica, modelo petrofísico

INTRODUCCIÓN

Las primeras investigaciones exitosas para hidrocarburos en la Cuenca Central, según Martínez *et al.* (2006), datan de los años 50' cuando compañías norteamericanas descubrieron los yacimientos Jatibonico

(1954), Cristales (1955) y Catalina (1956). El yacimiento Jatibonico se descubrió a partir de datos gravimétricos, al igual que la ubicación de la falla Cristales, sin embargo, la estructura Catalina se reveló a partir de las primeras investigaciones sísmicas realizadas en la región (1955-1956). En la década de los 60' la Cuenca Central fue la mayor región productora de petróleo del país, lo que trajo un desarrollo acelerado de los trabajos de exploración, los cuales se han extendido por más de 50 años de investigación y desarrollo. No obstante, después de la década del 90' con el descubrimiento del yacimiento Pina, no ha habido otro hallazgo de importancia, en parte por la elevada complejidad geológica del territorio y al carácter volcánico de las secuencias presentes, lo que limita la profundi-

dad de investigación de la sísmica de reflexión, método geofísico por excelencia para la prospección de hidrocarburos (**Figura 1**).

Desde el punto de vista geológico, en la Cuenca Central se observa, en su mitad meridional, el desarrollo de rocas siliciclásticas y piroclásticas del Eoceno y Cretácico Superior, respectivamente y en la mitad septentrional, el desarrollo de sedimentos del Mioceno y Cuaternario, que cubren las rocas más antiguas (García, 2004). Se tiene como modelo geológico para el área de estudio, la presencia de reservorios del tipo tobas, areniscas y conglomerados tobáceos, asociados al Arco Volcánico Cretácico y su sello en secuencias arcillosas de la cobertura sinorogénica cretácica y postorogénica (Maestrichtiano-Eoceno Inferior).

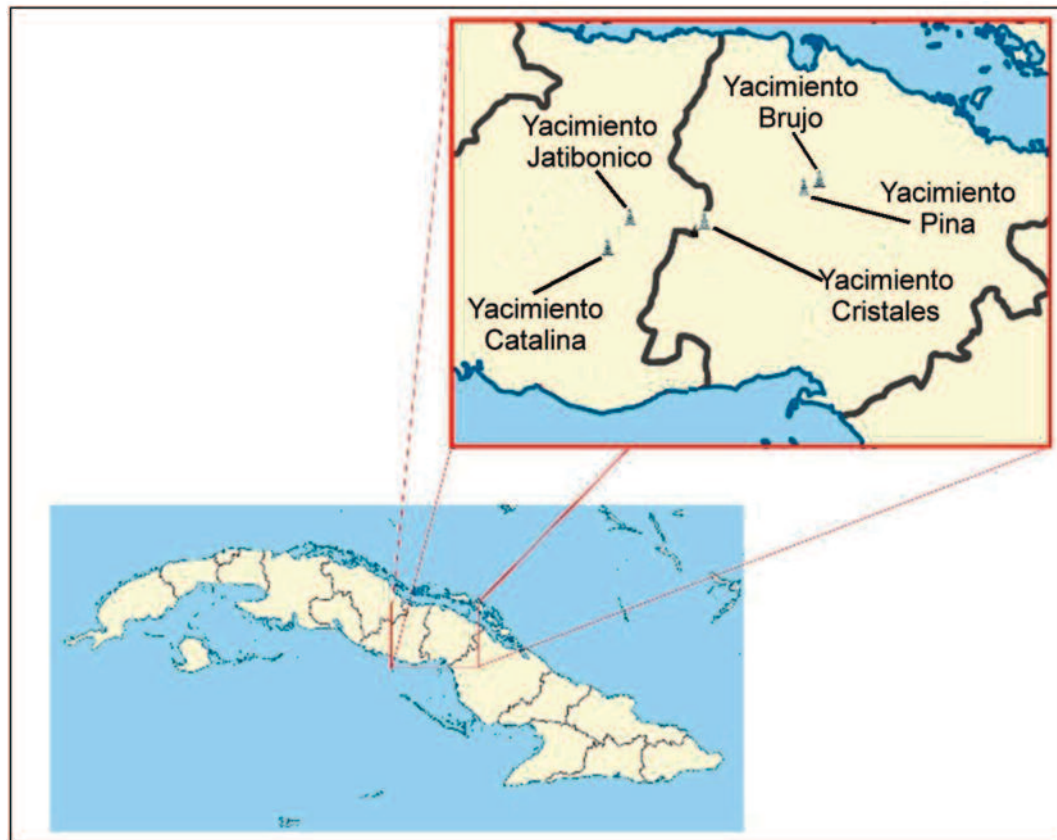


Figura 1. Localización de la Cuenca Central de Cuba y de sus yacimientos petrolíferos.

Características del Sistema Petrolero en Cuenca Central (Martínez *et al.*, 2006):

1. Como posible roca madre se consideran los sedimentos carbonatados y terrígeno-carbo-

natados pertenecientes a la Unidad Tectónico Estructural (UTE) Placetas. Las rocas volcánicas intercaladas del Cretácico Medio, como las que se ven en el Pina 28 y Fran-

- cisco 2, no presentan suficiente espesor sedimentario para poder generar el petróleo extraído de los yacimientos Jatibonico, Cristales y Pina (más de 15 millones de barriles producidos), además no tienen la profundidad suficiente para la generación y expulsión del petróleo.
2. Los reservorios se desarrollan en la parte superior de las tobas y de los conglomerados que los sobreyacen, así como en algunos lentes arenoso-volcánicos e incluso calcáreos. Esto es conocido por los datos de muchos pozos perforados en el área.
 3. El sello es del Paleoceno-Eoceno Medio (parte baja), constituido por margas (Pina) y arcillas (Cristales), con un coeficiente de arcillosidad que va desde 50 a 90% y espesores de hasta 1400 m (Francisco 2) en las zonas más hundidas siendo el valor promedio en los yacimientos de 300-400 m.
 4. El enterramiento comienza desde la deposición de las rocas de la UTE Placetas, pero como antes de los sobrepujes no alcanzó espesores mayores de 1500m, se supone que entra en ventana solamente después de los sobrepujes del arco volcánico y ofiolitas sobre Placetas.
 5. La formación de las trampas estructurales fue en la etapa orogénica (Campaneano-Eoceno Medio parte baja) y las estratigráficas en la etapa de su deposición en esa propia edad.
 6. Por los resultados obtenidos en diferentes simulaciones se sabe que la generación, migración y acumulación comenzaron a actuar en el Terciario y según cada manto de las UTE Placeta y Camajuaní fueron sucediendo las distintas etapas, como por ejemplo: la etapa más joven es de los mantos superiores y la más vieja de los mantos inferiores.
 7. La duración del proceso va desde que comenzó a depositarse la roca madre hasta nuestros días.
 8. Los yacimientos tienen distintas etapas para su destrucción o biodegradación, dependiendo de la época en que se formaron.
 9. El *timing* es adecuado, pues cuando se produjo la expulsión del petróleo y su migración, existían las trampas con sus colectores y sellos y por tanto las pérdidas fueron mínimas.

Por esta situación, se considera que las unidades geológicas fundamentales presentes en la Cuenca Central son: los sedimentos del postorogénico, los sedimentos del sinorogénico, las tobas y las rocas efusivas del Arco Volcánico del Cretácico; las ofiolitas de la Asociación Ofiolítica, los carbonatos correspondientes a las UTE Camajuaní y Placetas y el basamento.

Sin embargo, a pesar del gran volumen de trabajos y de pozos perforados en la zona, no se ha realizado un análisis estadístico encaminado a la determinación del intervalo de variación de las densidades de las rocas. De igual modo, los modelos disponibles de la constitución geológica de la Cuenca Central de Cuba, abordan de una manera simplificada la complejidad estructural del territorio. Así se tiene como problema científico: la carencia de un análisis estadístico de la distribución espacial de densidades de las rocas, dificulta el correcto modelado de la constitución geólogo-estructural de la Cuenca Central de Cuba. Realizar un análisis estadístico de las densidades de las rocas de los principales elementos geológicos del suroeste de la Cuenca Central, Cuba, es el objetivo principal de este trabajo y de esta forma contribuir a lograr un modelo petrofísico de la constitución geológica del suroeste de la Cuenca Central de Cuba, que cumpla con las expectativas de promover nuevos descubrimientos de yacimientos de hidrocarburos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La constitución geológica de la zona, está respaldada por la perforación de varios pozos y por datos de superficie, reconociéndose los siguientes complejos petrotectónicos (García *et al.*, 2004):

- Rocas del Margen Continental Norteamericano.
- Rocas del Terreno Zaza (Arco Volcánico Cretácico y Asociación Ofiolítica).
- Sedimentos sinorogénicos pertenecientes a cuencas del tipo *Piggy Back* (Cretácico Superior-Paleógeno).
- Sedimentos postorogénicos (Eoceno Medio-Reciente).

La base de datos del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), de los pozos perforados (Colectivo de autores, 2009), en la Cuenca Central, Cuba, se utilizó para tomar los datos petrofísicos de densidades en la elaboración del análisis estadístico de la distribución espacial de densidades a partir de las medias ponderadas. Se seleccionaron de los registros petrofísicos de pozo, los valores de densidad de las litologías correspondientes a cada paquete geológico, seguido de lo cual, se agruparon para su análisis estadístico.

Sedimentos postorogénicos

Los sedimentos postorogénico de la cuenca constituye una secuencia de somerización compuesta fundamentalmente de series arcillosas y/o carbonatadas, aunque en algunos casos también aparecen series terrígenas. La secuencia postorogénica de las principales cuencas de desgarre ha sido de forma parcial deformada por una deformación tardía (Cruz, 2012).

Sedimentos sinorogénicos

Los depósitos sinorogénicos del Campaniano Tardío hasta el Eoceno Medio (parte baja) en Cuenca Central están representados por las formaciones Carramayán, Presa de Jimaguayú, Isabel, Carlota, Eloísa (Lebrije), Fomento, Taguasco, Siguaney, Zaza, Loma Iguará y Jucillo, con un gran desarrollo tanto en los yacimientos petroleros, como en otras áreas de la región. Sus sedimentos tienen gran aporte del arco volcánico cretácico sobre el cual descansan discordantemente. Estos depósitos, desde el punto de vista petrolero, presentan la dualidad de servir de sellos a las rocas del Arco Volcánico Cretácico o poseer propiedades colectoras en

algunas áreas de la cuenca. Cuando tienen características de sellos presentarán un alto por ciento de arcillosidad (generalmente más del 50 %) y espesores que variarán desde 25 m hasta 400 m. En otras áreas de la Cuenca Central alcanzarán hasta 1000 m. Han sido considerados colectores, de forma general, conglomerados basales del Maestrichtiano y del Eoceno Inferior indistintamente, constituidos por clastos de rocas del arco volcánico Cretácico y otras carbonatadas. Estos conglomerados constituyen reservorios en los yacimientos Cristales, Pina y Brujo (en este último el horizonte productor principal lo constituye los sedimentos sinorogénicos del Maestrichtiano). Los espesores oscilarán de 400 m a 600 m (Linares *et al.*, 2020).

Rocas del Terreno Zaza

Las rocas volcánicas, plutónicas y ofiolíticas de Cuba, a pesar de que pudieron haber tenido un origen y evolución de forma notable diferenciados, suelen agruparse como partes del Terreno Zaza (Hatten *et al.*, 1958). En consecuencia, dicho terreno es un resultado de la superposición de varios eventos magmáticos y su composición y estructura registra, en buena medida, la evolución magmática pre-Paleógena del Caribe noroccidental.

Rocas del Arco Volcánico del Cretácico

Aunque en la literatura caribeña se suele mencionar un gran Arco Volcánico del Cretácico para unificar la actividad magmática registrada en dicha región, los datos geoquímicos disponibles en la actualidad, permiten diferenciar varios estadios en la evolución de dicho arco e incluso la existencia de varios arcos independientes (Iturralde, 1996b; Kerr *et al.*, 1999). En Cuba se han estudiado distintas secuencias magmáticas, entre ellas la de arco volcánico primitivo (PIA) del Cretácico Inferior y la de arco volcánico de afinidad calcoalcalina y edad Aptiano-Campaniano. Las series de arco volcánico primitivo del Cretácico Inferior han sido identificadas principalmente en Cuba Central y como representativas de dicho arco se considera a las rocas de edad pre-Aptiano de la Formación (FM) Los Pasos en la región de Las Villas y a algunos clastos de rocas plutónicas y volcáni-

cas incluidos en las secuencias pre-Camujiro en la región de Camagüey. Estas rocas son en esencia basaltos, traquibasaltos y dacitas, que aparecen intercalados entre secuencias piroclásticas, epiclásticas y sedimentarias. Las series de afinidad de modo predominante calcoalcalina del Cretácico afloran a lo largo de todo el territorio cubano, desde la región de Bahía Honda en Cuba occidental hasta las sierras de Nipe, Baracoa y Purial en Cuba oriental. Consiste en una sucesión plutónica-volcánica de edad Aptiano–Campaniano que muestra una transición en su composición desde toleítica a calcoalcalina y alcalina. La actividad magmática en la porción cubana de este arco finalizó cuando ocurrió la subducción-acreción del terreno Proto-Caribe. En términos generales, el arco volcánico calcoalcalino se entenderá como la continuación natural del arco primitivo, constituyendo el resultado de estadios más maduros del magmatismo (Pardo, 2020).

Rocas de la Asociación Ofiolítica

La compleja disposición estructural de las ofiolitas cubanas, así como sus características geoquímicas, sugieren que las mismas se formaron y se emplazaron en diversos contextos geológicos. Se diferenciarán: las ofiolitas del cinturón septentrional, que afloran en lo fundamental en la parte norte del orógeno, y otras ofiolitas que están incluidas como mantos tectónicos en algunos terrenos metamórficos. Las ofiolitas del cinturón septentrional constituyen los afloramientos más extensos. Estas tienen en común su posición a lo largo de la mitad norte de la isla de Cuba entre Pinar del Río y Guantánamo; no obstante, se diferenciarán dos conjuntos principales. Por una parte, las ofiolitas de Cuba occidental y central se interpretarán como parte del antearco del sistema de arco del Cretácico. Estas se encuentran en posición alóctona sobre las unidades de margen continental y están cabalgadas por el arco volcánico. Aparecen formando mélanges tectónicos con algunas rocas metamórficas y plutónicas de edad cretácica (Iturralde-Vinent, 1996a).

Rocas del Margen Continental Norteamericano

En Cuba central las secuencias del margen continental

son correlativas con las de Bahamas (Hatten et al., 1958; Meyerhoff y Hatten, 1968). Estas aparecen cubiertas tectónicamente por el Terreno Zaza (Cruz, 2012). Las unidades del margen de Bahamas afloran en el centro y oriente de Cuba formando afloramientos discontinuos en la parte norte del orógeno. La estratigrafía de dichas unidades constituye un típico margen pasivo progradante en el cual se diferencian los dominios deposicionales de plataforma carbonatada y de cuenca marina abierta. En la Cuenca Central se considera que existen dos de las unidades tectonoestratigráficas (UTE) identificadas de las secuencias de *post-rift*: Camajuaní y Placetas. Estas UTE están compuestas de rocas calcáreas y silíceas, son los depósitos típicos de talud continental y cuenca profunda (Cruz, 2012).

Basamento

El basamento en la Cuenca Central se define como el mega complejo de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias ubicadas debajo de la cubierta sedimentaria del Eoceno inferior o medio al Cuaternario (Pardo y Cobiella, 2017). En su porción norte, ha sido muy estudiado durante la actividad petrolera desarrollada en esta zona, se presenta muy fracturado y dividido en numerosos bloques tectónicos, en los que se han descrito desplazamientos de hasta 1000m en dirección sub-latitudinal y de 100 a 300 metros en dirección sub-longitudinal (Blanco, 1999). Esto es debido a que está afectado por procesos de cabalgamiento de los mantos tectónicos que constituyen el Cinturón Plegado Cubano, existiendo evidencias gravimétricas que revelan estructuras de rumbo NO-SE dentro de la gran anomalía de rumbo NE-SO, que conforma la Cuenca Central (Cruz, 2012).

Métodos

Los conjuntos litológicos que conformarán el modelo petrofísico son: sedimentos sinorogénicos, sedimentos postorogénicos, efusivos, tobas, ofiolitas, carbonatos y basamento. Al no existir un estudio estadístico de la distribución de densidades de las rocas del suroeste de la Cuenca Central, de forma esencial para establecer un modelo petrofísico, obliga a aclarar si los

conjuntos litológicos anteriores, logran diferenciarse a partir del atributo de la densidad.

Para conocer la semejanza o no de cada uno de ellos, se establecerá, para un nivel de confiabilidad (α) si las medias de cada objeto geológico son iguales desde el punto de vista estadístico o no. Para ello se aplica la prueba de significación a partir de las diferencias muestrales (Spiegel, 1971). En la **Ecuación 1** se estima el estadígrafo para la prueba de la diferencia de las medias.

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)}} \quad (1)$$

Donde:

x_1	Valor medio de la población 1.
\bar{x}_2	Valor medio de la población 2.
$\bar{\sigma}_1$	Varianza de la población 1.
σ_2	Varianza de la población 2.
n_1	Cantidad de valores de la población 1.
n_2	Cantidad de valores de la población 2.
Z	Estadígrafo para la prueba de la diferencia de las medias.

Como es clásico se establecen las hipótesis de trabajo:

- Hipótesis básica ($H_0: \mu_1 = \mu_2$). Las poblaciones poseen valores medios de densidades estadísticamente iguales.
- Hipótesis alternativa ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$). Las poblaciones poseen valores medios de densidad estadísticamente diferentes.

Si para un nivel de confiabilidad α se tiene que: $Z_{\alpha/2}(\alpha/2) < Z < Z_{1-\alpha/2}(-\alpha/2)$, entonces la hipótesis básica es cierta, lo que significa que las poblaciones son iguales estadísticamente por el atributo de la densidad.

Si sucede que: $< Z < Z_{1-\alpha/2}(\alpha/2)$ o $< Z < Z_{1-\alpha/2}(1-\alpha/2)$, entonces la hipótesis básica es nula y se acepta la alternativa, lo que significa que las poblaciones son diferentes estadísticamente por el atributo de la densidad, es decir que los objetos geológicos son diferentes estadísticamente atendiendo a su densidad.

Para conocer qué valores de densidad alrededor de la media se toma en el proceso de modelación, se estimará el intervalo de confianza para las medias [7].

De modo general los límites de confianza están dados por:

$$\left(\bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \quad (2)$$

Donde:

\bar{X}	Media de la población.
σ	Varianza de la población.
n	Número de muestras de la población.
$Z_{\alpha/2}$	Coefficiente de confianza o valor crítico para la cola de la izquierda.
$Z_{1-\alpha/2}$	Coefficiente de confianza o valor crítico para la cola de la derecha.
$1-\alpha$	Nivel de confianza.

RESULTADOS

La **Tabla 1** contiene para la densidad de las rocas de cada unidad geológica, los valores del número de muestras, media, varianza y el límite inferior y superior del intervalo de confianza para un nivel de significancia de un 90 %.

A partir de la **Ecuación (1)** se realizaron las pruebas de significación de las diferencias muestrales para un 90 % de nivel de confianza. Esto se obtuvo para todos los pares de unidades geológicas (**Tabla 2**). Se aprecia en esta tabla que en todos los casos la hipótesis básica (H_0) fue rechazada y asumida como estadísticamente cierta, la hipótesis alternativa (H_1), es decir, que todos los paquetes litológicos se diferencian por el atributo de la densidad con una confianza estadística de un 90 %.

En la **Figura 2** se muestran de forma consecutiva los objetos geológicos respecto a su media y su intervalo de confianza. En la misma se observa, que no existe superposición de las poblaciones, a excepción de los sedimentos del postorogénico con las ofiolitas.

DISCUSIÓN

Los sedimentos postorogénicos, por la cercanía con la superficie y que no representan importancia en la ex-

Tabla 1. Resultados estadísticos de cada uno de los objetos geológicos.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		OBJETOS GEOLÓGICOS						
		Sedimentos postorogénicos	Sedimentos sinorogénicos	Tobas	Efusivos	Ofolitas	Carbonatos	Basamento
Número muestras			344	559	308	53	61	52
Media		2.460	2.271	2.225	2.404	2.516	2.658	2.781
Varianza		0	0.069	0.051	0.050	0.055	0.023	0.003
Intervalo de confianza	Límite Inferior	2.440	2.207	2.207	2.379	2.452	2.642	2.765
	Límite superior	2.480	2.244	2.244	2.429	2.579	2.674	2.797

Tabla 2. Resultado de la aplicación de las pruebas de significación a partir de las diferencias muestrales de significancia de las medias para todos los objetos geológicos entre sí (Poblaciones iguales: H_0 ; Poblaciones diferentes: H_1).

OBJETOS GEOLÓGICOS	Sedimentos postorogénicos	Sedimentos sinorogénicos	Tobas	Efusivos	Ofolitas	Carbonatos	Basamento
Sedimentos postorogénicos		H_1	H_1	H_1	H_1	H_1	H_1
Sedimentos sinorogénicos			H_1	H_1	H_1	H_1	H_1
Tobas				H_1	H_1	H_1	H_1
Efusivos					H_1	H_1	H_1
Ofolitas						H_1	H_1
Carbonatos							H_1
Basamento							

ploración petrolera, no se caracterizan en los registros de pozos. La cantidad de muestras para el análisis estadístico de estos sedimentos, se tuvo que elegir a partir del criterio de experto.

Se sabe por la información geológica de cuenca, que las formaciones características pertenecientes a la post-orogénica son la Formación Peñón y Güines. Estas formaciones afloran en el Mapa Geológico Digital de Cuba (Instituto de Geología y Paleontología) a escala 1:100000 (Colectivo de autores, 2010), para la zona de Cuenca Central, cuyos valores

de densidad oscilan entre los 2.45 y 2.47g/cm³.

Las poblaciones restantes contaron con la cantidad de muestras siguientes: los sedimentos sinorogénicos contaron con 344 muestras, los efusivos con 308, las tobas 559, las ofiolitas con 53, los carbonatos con 61 y el basamento con 52.

Al graficar el intervalo de confianza de las poblaciones (**Figura 2**), se aprecia que no existe una superposición entre los elementos geológicos de estudio, además, las medias no son iguales para ninguna de ellas para un nivel de confianza de un 90 %.

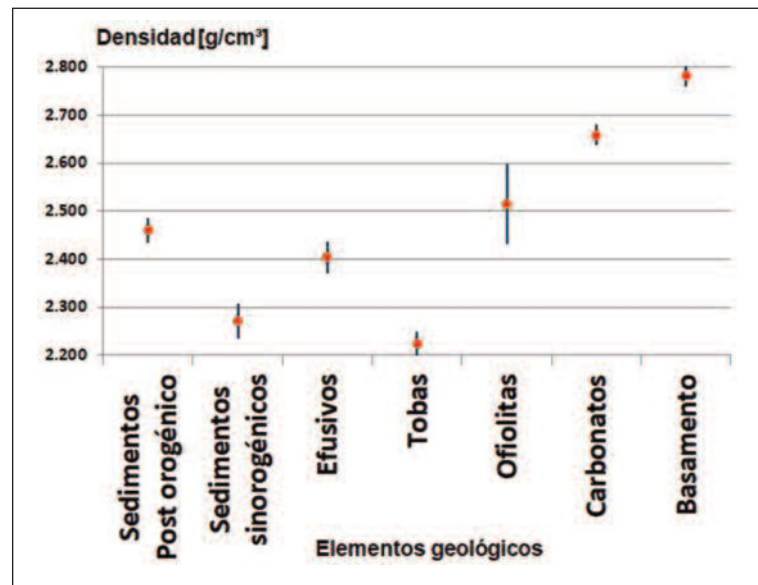


Figura 2. Representación consecutiva de los objetos geológicos respecto a su media y el intervalo de confianza, para un nivel de confiabilidad de un 1 %, excepto el caso de los sedimentos Post orogénicos que están representados por su media y valor mínimo y máximo.

La población que menores valores de densidad presenta son las tobas, esto es debido a que son tobas finas y aunque en la Cuenca Central existen tanto tobas finas como gruesas, las que predominan según los datos de pozos son las primeras. Esta población es de vital importancia pues los reservorios en la zona son de rocas volcánicas pertenecientes al Arco Volcánico del Cretácico. Ejemplo de esto lo constituye el yacimiento Pina (Pardo *et al.*, 2019).

El basamento es el que mayor valor de densidad posee. Fue estudiado, al igual que los carbonatos, por el pozo Morón Norte 1 (Rifá *et al.*, 2012), que es el de mayor profundidad de la Cuenca Central. Se considera que los carbonatos y el basamento aumentan su profundidad de norte a sur porque en los pozos ubicados en la parte sur de la cuenca, no se tienen datos de estas poblaciones.

Este comportamiento espacial de la densidad permite establecer una distinción entre los elementos geológicos estudiado en el suroeste de la región de Cuenca Central.

CONCLUSIONES

Las unidades geológicas del suroeste de la Cuenca

Central se distinguen entre sí por su densidad desde el punto de vista estadístico y con un 90 % de confiabilidad. Esta distinción, demostrada en esta investigación, mejorará la propuesta de un modelo petrofísico para la exploración petrolera, más cercano a la realidad, en el que podrá distinguirse elementos como los reservorios y los sellos, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Colectivo de autores**, 2009, Mapa Digital de los Pozos Petroleros de la República de Cuba, escala 1:250000 (Inédito), Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba.
- Colectivo de autores**, 2010, Mapa Geológico Digital de Cuba, escala 1:100000 (Inédito), Instituto de Geología y Paleontología (IGP), La Habana, Cuba.
- Cruz-Orosa, I.**, 2012, Las cuencas sinorogénicas como registro de la evolución del Orógeno Cubano: Implicaciones para la exploración de hidrocarburos. Tesis en opción al grado de Tesis Doctoral (inédita), Universidad de Barcelona, España.
- García, R. y Valdés, P.**, 2004, Reporte de las investigaciones geológicas sobre las líneas sísmicas en

el sector noroccidental de la Cuenca Central, Bloque 21. Provincia Ciego de Ávila (inédito). Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba.

Hatten, C. W., O. E., Schooler, Giedt, N. and Meyerhoff, A. A., 1958, Geology of central Cuba, eastern Las Villas and western Camagüey provinces, La Habana, Cuba, Archivo del Servicio Geológico Nacional, Unpublished Report.

Iturralde-Vinent, M. A., 1996a, Geología de las Ofiolitas de Cuba, in Cuban ophiolites and volcanic arcs. Special Contribution no. 1 to IGCP Project 364, edited by M. A. Iturralde-Vinent, pp. 83–120, Miami, Florida.

Iturralde-Vinent, M. A., 1996b, Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico, in Cuban ophiolites and volcanic arcs. Special Contribution no. 1 to IGCP Project 364, edited by M. A. Iturralde-Vinent, pp. 179–189, Miami, Florida.

Kerr, A. C., Iturralde-Vinent M. A., Saunders A. D., Babbs T. L. and Tarney J., 1999, A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks, GSA Bulletin, 111, 1581–1599.

Linares Cala, E., García Delgado, D. E., Blanco Bustamante, S., Fajardo Fernández, Y., Pérez Machado-Millán, O., Gil González, S. y Perera Falcón, C. 2020, Estratigrafía de las zonas petroleras de la República de Cuba. Ministerio de Energía y Minas. Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba.

Martínez Rojas, E., Toucet Téllez, S., Sterling Baños, N. Iparraguirre Peña, J. L., 2006, In-

forme sobre la reinterpretación geólogo-geofísica y evaluación estructural del Bloque 21. (Reinterpretación sísmica terrestre 2D). Centro de Investigación del Petróleo CEINPET.

Meyerhoff, A. A. and Hatten, C. W., 1968, Diapiric structure in central Cuba, AAPG Memoir, 8, 315–357.

Pardo Echarte, Manuel Enrique, 2020, Cartografía geólogo-estructural y sectores perspectivas para hidrocarburos en Cuba Central a partir de métodos no-sísmicos de exploración: Geociencias UO. v. 3, núm. 5, pp. 35-44

Pardo Echarte, M. E. y Cobiella Reguera, J. L., 2017, Oil and Gas Exploration in Cuba. Springer: SpringerBriefs in Earth System Sciences.

Pardo Echarte, M. E., Rodríguez Morán, O. y Delgado López, O., 2019, Non-seismic and Non-conventional Exploration Methods for Oil and Gas in Cuba. Springer: SpringerBriefs in Earth System Sciences.

Rifá Hernández, M., Prol Betancourt, J., Febles Elejalde, D. y Fundora Granda, M., 2012, Argumentos geofísicos acerca del Margen Continental en la Cuenca Central de Cuba. La Habana, Cuba.

Spiegel M. R., 1971, Teoría y problemas de estadística. Editora Ciencia y Técnica. Instituto Cubano del Libro.

Fue: recibido
corregido
aprobado

