

Modelación de densidad aparente y retención de carbono: Arenas carbonatadas en playas cubanas

Niurka Pedro Silva¹

Recibido: 27 de febrero del 2017 / Enviado a evaluar: 28 de febrero del 2017 / Aceptado: 26 de junio del 2017

Resumen. La densidad aparente y la retención de carbono de las arenas carbonatadas, se modeló a partir de la granulometría de las playas del Este de la Habana. La inexistencia de referencias de la composición química de la duna y postduna, solicitó un muestreo de las arenas. Se analizó la granulometría, composición, densidad aparente y retención carbono en arenas finas y medias según la clasificación de Wentworth. Se comprobó que los resultados procedían de una distribución normal con un 95% de confianza. Los resultados se ordenaron, relacionaron y ajustaron en modelos matemáticos. Las ecuaciones ajustadas son adecuadas para estimar densidad aparente y retención de carbono en arenas y evaluar la deposición de carbono en los proyectos de recuperación de playas. Se recomienda analizar las arenas gruesas.

Palabras clave: Arenas finas y medias; densidad relativa; carbonato de calcio; Cuba.

[en] Modeling apparent density and carbon storage: Carbonate sands of Cubans beaches

Abstract. The apparent density and carbon storage of the carbonated sands, it's modeled since the granulometry on the beaches of eastern Havana. The absence of references about the chemical composition of the dune and postdune, solicited the sampling of the sands. It's analyzed granulometry, composition, apparent density and carbon storage, for the fine and medium sands classified according to Wentworth. The normal provenance of the data was checked for 95% confidence. The data was organized, linked and adjusted on mathematical models. The equations adjusted are good for estimate apparent density and carbon storage in sand and to evaluate the carbon deposition in beach nourishment projects. It's recommended analyzing the gross sand.

Key words: Fine and medium sands; apparent density; calcium carbonate; Cuba

[fr] La modélisation de la densité apparente et la séquestration du carbone: Arenas gazéifiées plages cubaines

Résumé. La densité apparente et la séquestration du carbone de sable carbonaté, a été calquée sur la granulométrie des plages de La Havane de l'Est. L'absence de références à la composition chimique de la dune et postduna, a demandé à un échantillon des sables. La taille des particules, la composition, la

¹ E-mail: niurka.pedro@gmail.com

densité et la rétention apparente du carbone a été analysée dans des sables fins et moyens selon la classification de Wentworth. Il a été constaté que les résultats proviennent d'une distribution normale avec 95% de confiance. Les résultats sont triés, liés et ajustés sur des modèles mathématiques. Équations équilibrées sont suffisantes pour estimer les sables de densité en vrac et la séquestration du carbone et évaluer les dépôts de carbone sur les projets de remise en état de la plage. Il est recommandé d'analyser les sables grossiers.

Mots-clés: Sables fins et moyens; densité relative; le carbonate de calcium; Cuba.

Cómo citar. Pedro Silva, N. (2017): Anclaje, dinámicas e impactos territoriales de la cadena global de cítricos dulces en el nordeste argentino. *M+A Revista Electrónica de Medioambiente*, 18(1), 49-61.

Sumario. 1. Introducción. 2. Colecta, análisis y relación de las muestras. 2.1. Representación topográfica de las playas y ubicación de los puntos de colecta. 2.2. Análisis de granulometría y composición. 2.3. Determinación de densidad aparente y retención de carbono. 2.4. Análisis estadístico y ajuste de la relación de las variables. 3. Entorno, medidas y relación de las variables. 3.1. Perfiles topográficos de las playas y puntos de colecta. 3.2. Granulometría y composición. 3.3. Densidad aparente y retención de carbono. 3.4. Resumen estadístico y relaciones ajustadas de las variables. 4. Conclusión. 5. Bibliografía.

1. Introducción

Las arenas son un atractivo básico para el sostenimiento de la industria turística. La elevación del nivel medio del mar y el reforzamiento de eventos hidrometeorológicos, efectos del cambio climático, ocasionan el escape de grandes volúmenes y la erosión de las playas (Juanes, 1996). Su origen biogénico proviene de fragmentos de algas calcáreas, conchas de moluscos, foraminíferos, restos orgánicos y en menor cuantía de restos inorgánicos que incluyen los de origen antrópico. Su transferencia de los depósitos submarinos para recuperación de las playas, incrementa la deposición de carbono a los ecosistemas costeros.

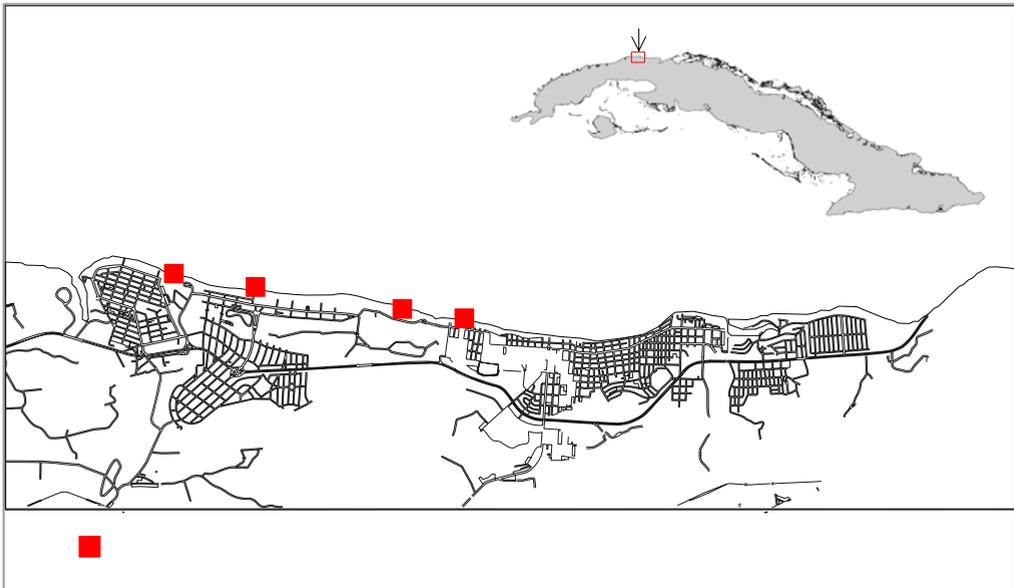
Se pretende registrar la deposición “artificial” de carbono, para orientar la toma de decisión de desarrollo de proyectos de inversión en recuperación de playas. Tal deducción requiere combinar volumen, densidad aparente y retención de carbono por las arenas. El volumen es un dato registrado en los proyectos ejecutivos, opuesto de la densidad aparente y retención de carbono locales. Para estimarlas se planeó ajustar su variabilidad, a partir de la información existente de las playas del Este de la Habana. La inexistencia de estudios precedentes sobre la composición química de la duna y postduna, demandó el análisis de las arenas.

Se diseñó un esquema de muestreo bajo la premisa que podrían existir diferencias en la retención de carbono entre las arenas, en dependencia de la granulometría, la cobertura de vegetación y su situación en áreas rehabilitadas o naturales. Se planeó la caracterización de la morfología de las playas, la ubicación de los puntos de colecta, la realización de análisis de granulometría, composición, densidad aparente y retención de carbono por las arenas. Los resultados obtenidos proporcionaron modelar la densidad aparente y la retención de carbono en dependencia de la granulometría de las arenas carbonatadas.

2. Colecta, análisis y relación de las muestras

Con base en la información histórica del programa de monitoreo que inició el Instituto de Oceanología (IDO) en noviembre de 1981, se eligieron cuatro playas para el muestreo de las arenas (figura 1). La selección a lo largo de la costa distinguió sitios en áreas rehabilitadas y naturales, con granulometría y densidad de la cobertura vegetal diferentes.

Figura 1. Sitios de muestreo



Fuente: Elaboración propia.

2.1. Representación topográfica de las playas y ubicación de los puntos de colecta

Mediante Estación Total, se representaron las secciones transversales de las playas en el momento de la colecta. En cada perfil topográfico, se localizaron los puntos de muestreo, uno en la postplaya y otro en la duna con vegetación.

Ensenada

Playa de Santa María del

1

2

3

Figura 2. Levantamiento del perfil topográfico de la sección transversal playa-duna



Fuente: Elaboración propia

2.2. Análisis de granulometría y composición

En cada perfil, se colectaron dos (2) muestras de arena, ocho (8) en total. Se sometieron a procesamiento granulométrico, siguiendo la metodología propuesta por Petelín, 1967. El contenido arenoso de las muestras se determinó mediante tamizado en seco. Se empleó una tamizadora analítica Restsh As 200 y un juego de tamices con mallas de 0,063; 0,125; 0,25; 0,50; 1; 2 y 4 milímetros (mm). Los datos de peso por tamiz se procesaron mediante el software GRADISTAT Versión 8.0 elaborado por Simon Blott (Blott, 2010), obteniéndose por el método de los momentos, el diámetro medio de la partícula (M) en mm y σ , la desviación estándar, la asimetría y la curtosis. Para la clasificación del sedimento se empleó la propuesta por Wentworth, en el *Shore Protection Manual, 1984*, (tabla 1).

Se le realizó el análisis de composición a las 4 muestras de sedimento colectadas en las dunas de los 4 perfiles muestreados (Mégano, Tropicoco, Boca Ciega y Mi Cayito), según la metodología de Avello y Pavlidis, 1975. Se escogieron las fracciones de 2 a 1, de 1 a 0,5 y de 0,5 a 0,25 milímetros (mm). Bajo el microscopio, se tomaron de forma aleatoria 200 granos de cada una de ellas. Seguido se procedió a la separación de los diferentes grupos de biocomponentes, de acuerdo con las características morfológicas que se apreciaron. Finalmente se obtuvieron las proporciones de cada grupo respecto al total de la muestra.

Tabla 1. Clasificación de la granulometría por Wentworth

Tipo de sedimento	M (mm.)
Arcilla	0,0024 – 0,0039
Limo	0,0039 – 0,063
Arena muy fina	0,063 – 0,125
Arena Fina	0,125 – 0,25
Arena Media	0,25 – 0,50
Arena Gruesa	0,50 – 1,00
Arena muy gruesa	1,00 – 2,00
Grava	2,00 – 4,00

Fuente: Shore Protection Manual (1984)

2.3. Determinación de densidad aparente y retención de carbono

Se tomaron ocho (8) muestras de arena entre 0-10 centímetros (cm) de profundidad, dos por perfil (duna y postplaya). Para determinación de carbonatos y carbono orgánico, fueron secadas a 105 °C por 24 horas, el carbonato se determinó por volumetría (Jackson, 1970) y el carbono orgánico por el método del ácido crómico, valorando el exceso de reactivo con sulfato ferroso amónico (Walkley and Black, 1934).

Figura 3. Toma de la muestra en la duna de playa El Mégano, con vegetación escasa y rastrera fundamentalmente (*Ipomea pes-caprae*).



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la densidad de la arena se tomó un volumen determinado de muestreo el que fue transferido a un recipiente previamente tarado, por diferencia entre el peso del recipiente vacío y el con muestra. Se estimó la masa y a partir de la masa y el volumen, se calculó la densidad aparente de la arena.

2.4. Análisis estadístico y ajuste de la relación de las variables

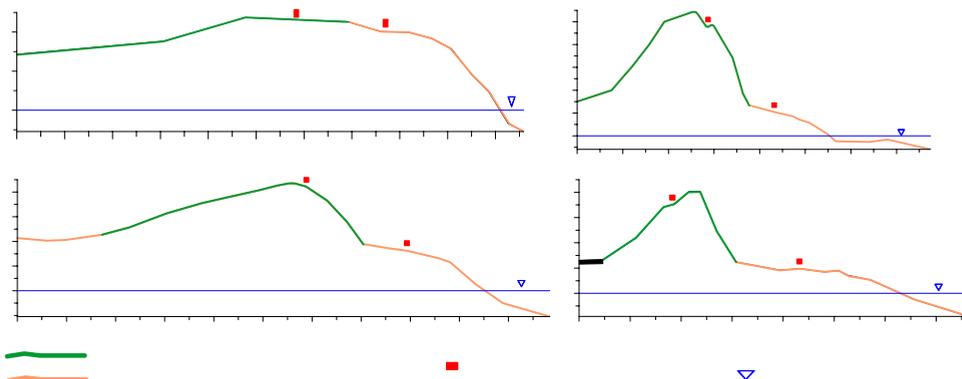
Las variables a relacionar fueron analizadas estadísticamente con el programa STATGRAPHICS Centurion (StatPoint, Inc 2006). En el menú clásico se calcularon los estadígrafos: recuento, promedio, desviación estándar, mínimo, máximo, sesgo estandarizado, curtosis estandarizada. La procedencia normal de los resultados se analizó con los intervalos de confianza para un 95% de: sesgo estandarizado, curtosis estandarizada, media y desviación estándar. Se confirmó la procedencia de los resultados con el Gráfico de Probabilidad Normal.

Los datos se ordenaron en dos conjuntos, uno con los resultados de granulometría y densidad aparente y otro con los resultados de granulometría y fracción de CaCO_3 . Para cada conjunto se generaron cuatro modelos matemáticos y sus respectivas R-cuadrada (R^2). En el menú clásico de STATGRAPHICS Centurion, se eligió; relacionar, un factor, regresión simple y regresión polinomial. Del modelo lineal se generaron varios modelos curvilíneos en la opción; tablas, comparación de modelos comparativos y se convirtió al de mayor R^2 . Para mejorar la representatividad de la relación, se generaron modelos polinomiales de segundo y quinto orden.

3. Entorno, medidas y relación de las variables

3.1. Perfiles topográficos de las playas y puntos de colecta

Figura 4. Perfiles topográficos y puntos de colecta en las playas



Fuente: Elaboración propia.

El ancho de playa osciló entre 20 y 35 metros (m) y la altura de las dunas entre 0,5 m y 4 m, sobre el nivel de la playa en general. Las figuras (4)-(7) representan la morfología de las playas en el momento de la colecta y los puntos de muestreo en la duna y postplaya.

3.2. Granulometría y composición

Las dunas en Tropicoco y Boca Ciega (P2 y P4) son el resultado de acciones de rehabilitación llevadas a cabo en el 2013 y 2014, respectivamente. En ambos casos, se utilizó la arena que el viento había transportado hacia las áreas interiores a partir de la erosión de la duna primaria, es decir la arena que existía en el lugar rehabilitado.

Tabla 2. Resumen del análisis granulométrico de las muestras colectadas

Localidad	Muestras	Diámetro		Desviación Estándar	Asimetría	Curtosis	Clasificación
		(mm)	(Ø)				
Mégano	M1	0,42	1,25	0,68	0,12	2,52	ArenaMedia
	M2	0,48	1,06	0,99	-0,62	2,97	ArenaMedia
Tropicoco	M1	0,25	2,00	0,57	-0,59	2,84	Arena Fina
	M2	0,31	1,69	0,93	-1,22	4,15	ArenaMedia
Mi Cayito	M1	0,18	2,43	0,28	-2,29	10,44	Arena Fina
	M2	0,19	2,38	0,34	-1,90	6,26	Arena Fina
Boca	M1	0,19	2,39	0,37	-1,59	6,91	Arena Fina
Ciega	M2	0,19	2,41	0,32	-1,86	8,09	Arena Fina

Fuente: Elaboración propia.

Es característico de la localidad del Mégano el poco desarrollo de las dunas costeras. En cambio Mi Cayito se encuentra en el tramo costero donde la altura de las dunas sobre el nivel de la playa es mayor, con un volumen de arena superior a los 80 m³/m. Mientras que, en Mi Cayito y Boca Ciega la arena es de tipo fino con muy buena selección, en los casos del Mégano, tanto en el área de dunas como de postplaya, y también en la postplaya de Tropicoco el sedimento clasifica como de grano medio (tabla 2), con una selección de moderadamente buena o mala, en la medida en que el valor de la desviación estándar se aproxima a 1,00.

El sedimento es de origen carbonatado, biogénico predominantemente (tabla 3). En las muestras de la duna el componente fundamental de la arena son las algas calcáreas. Los moluscos, foraminíferos y bioclastos no identificados también se encuentran presentes aunque en proporciones variables de una localidad a otra. El material que

llega desde las fuentes terrestres es insignificante, de acuerdo al bajo contenido de los restos inorgánicos. Se observaron fragmentos de origen antrópico.

Tabla 3. Análisis de composición de las muestras de arena de las dunas

Muestras	Proporción de los componentes biogénicos (%)					
	Algas calcáreas	Moluscos	Foraminíferos	Bioclastos no identificados	Otros Grupos	Restos Inorgánicos
Mégano	47,66	19,33	8,00	19,66	1,00	433
Tropicoco	52,07	9,33	13,27	22,61	0,62	2,07
Mi Cayito	43,00	17,00	17,00	19,00	0	4,00
B. Ciega	42,50	20,75	18,00	15,00	075	3,00

Fuente: Elaboración propia.

En los puntos de muestreo sobre las dunas de todos los perfiles predomina la vegetación herbácea con una cobertura variable en densidad. Predominan las especies *Panicum amarum*, *Sporobolus virginicus* o *Distichils spicata* (difícilmente distinguibles) y algunas rastreras (*Ipomea pes-caprae* y *Canavalia marítima*). Las densidades más bajas se presentan en el Mégano, donde las dunas son apenas montículos sobre la playa, y las más altas en las dunas reconstruidas recientemente, donde se realizó una siembra con mucha densidad por metro cuadrado. En la localidad del Mégano la vegetación se ha visto afectada por las extracciones ilegales de arena. En Mi Cayito la vegetación se ha desarrollado naturalmente favorecida por el hecho de encontrarse en un Área Protegida.

3.3. Densidad aparente y retención de carbono

La densidad de las arenas en la postduna fue superior a las encontradas en las dunas (tabla 4). Las dunas con más baja densidad fueron las de Mi Cayito y Boca Ciega (tabla 4), donde la presencia de restos de vegetación en diferente grado de descomposición fue significativa. La mayor densidad en la zona de postduna se debe a que es la zona que está en contacto directo con el mar y recibe de forma directa carbonato de calcio disuelto en el agua que precipita sobre esta, a diferencia de las dunas todas cubiertas de vegetación costera, donde los posibles procesos de remineralización de la materia orgánica aportada por la vegetación muerta, genera ácidos orgánicos que disuelven el carbonato de calcio. De acuerdo a la literatura revisada hay pocos estudios sobre la densidad de arenas carbonatadas en playas tropicales. En latitudes más templadas se reportan densidades entre 2,70 y 2,91 g/cm³ (Töpke 2013, Kotwicki 2013).

Tabla 4. Caracterización físico química de las arenas

Localidad	Muestras	Densidad (g/cm ³)	CO (mg/g)	CO ₃ ²⁻ (mg/g)	CaCO ₃ (mg/g)
El Mégano	M1	1,448	1,12	527	879
	M2	1,463	6,08	453	756
Tropicoco	M1	1,416	3,37	534	891
	M2	1,480	2,25	523	872
Mi Cayito	M1	1,238	3,74	550	917
	M2	1,442	3,46	404	675
Boca Ciega	M1	1,376	2,43	527	879
	M2	1,437	6,18	430	718

Fuente: Elaboración propia.

El carbono orgánico (CO) tanto en la duna como en la postduna de las playas evaluadas fue menor a 10 mg/g (1,0 %), algo característicos de sedimentos carbonatados de grano grueso con poca superficie de adsorción. En los casos de Tropicoco y Mi Cayito las concentraciones en la duna fueron superiores a las encontradas en la postduna, dunas con las más altas concentraciones de carbonato de calcio en las playas muestreadas (tabla 4). Como se observa en la tabla 4, en las postdunas de El Mégano y Boca Ciega las concentraciones fueron superiores a 6 mg/g (0,6 %), en el caso de Boca Ciega se asocia a la presencia de restos de la vegetación marina sumergida arrastrada a la arena de la postduna por el oleaje y en el caso de El Mégano por la influencia antropogénica.

Las concentraciones de carbonato en las dunas oscilaron entre 527 mg/g (879 mg/g de CaCO₃) y 550 mg/g (917 mg/g CaCO₃), y en las postplaya fluctuaron entre 404 mg/g (675 mg/g de CaCO₃) y 532 mg/g (872 mg/g de CaCO₃). Estos sedimentos en todos los casos son fuertemente carbonatados con escasa influencia terrígena. No obstante, en los casos de Boca Ciega y Mi Cayito, el decrecimiento concentraciones de carbonato en la postduna si se comparan con las Tropicoco y El Mégano (tabla 4), se asocian a una posible mayor presencia de otros compuestos inorgánicos minerales como silicatos y aluminatos.

3.4. Resumen estadístico y relaciones ajustadas de las variables

La tabla 5 muestra el resumen estadístico de las variables elegidas para el ajuste de sus relaciones. La granulometría, dato disponible en los proyectos de recuperación de playas, se seleccionó como la variable independiente de las relaciones. Como variables dependientes se eligieron a la fracción de CaCO₃ y a la densidad aparente. La fracción de CaCO₃, mayor que el 80% del peso de la muestra, se calculó dividiendo

los miligramos de CaCO_3 por gramo de muestra. La densidad aparente se eligió para convertir volúmenes de arena en masas de CaCO_3 .

Tabla 5. Resumen estadístico de las variables

Estadígrafos	Granulometría (mm)	Densidad (g/mc^3)	Fracción de CaCO_3
Recuento	8	8	8
Promedio	0,27625	1,4125	0,823375
Desviación Estándar	0,116856	0,0771196	0,0922341
Mínimo	0,18	1,238	0,675
Máximo	0,48	1,480	0,917
Sesgo Estandarizado	1,18989	-2,32126	-0,883889
Curtosis Estandarizada	-0,276978	2,53754	-0,774736

Fuente: Elaboración propia.

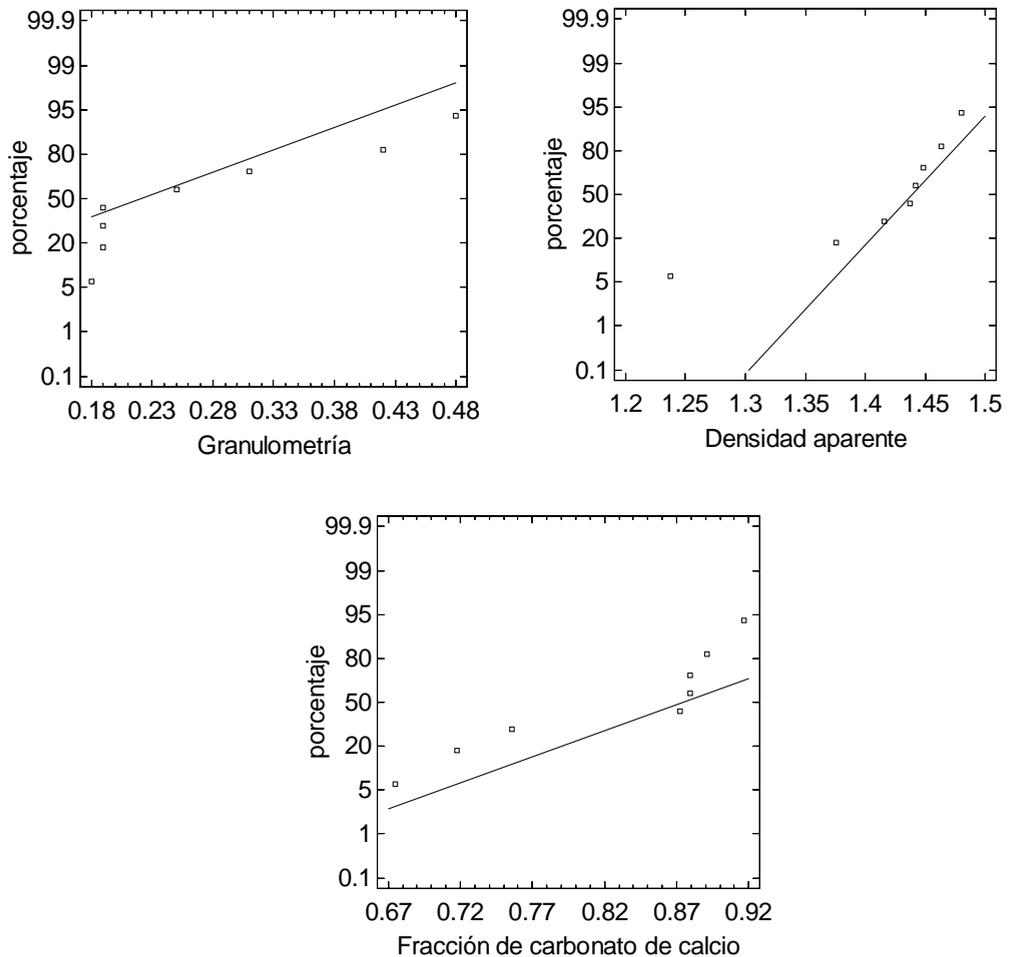
La granulometría mostró valores del sesgo estandarizado de 1,18989 y de la curtosis estandarizada de -0,276978, ambos dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal entre (-2 a +2). La media de 0,27625, se encuentra dentro de su intervalo de confianza del 95% (0,178556 – 0,373944). La desviación estándar 0,116856 está dentro de su intervalo de confianza del 95% (0,0772622 – 0,237834).

La densidad aparente, reportó valores de sesgo estandarizado de -2,32126 y de curtosis estandarizada de 2,53754, ambos fuera del rango esperado para datos provenientes una distribución normal que es de (-2 a +2). La desviación estándar resultó 0,0771196, dentro de su intervalo de confianza del 95% (0,0509895 – 0,156959). La media de la densidad de 1,4125 se encuentra dentro de su intervalo de confianza del 95% (1,34803 – 1,47697).

La fracción de CaCO_3 mostró valores del sesgo estandarizado de -0,883889 y de la curtosis estandarizada de -0,774736, ambos dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal que es de (-2 a +2). La media igual a 0,823375, se encuentra dentro de su intervalo de confianza del 95% (0,746265 – 0,900485). La desviación estándar resultó 0,0922341 y se encuentra dentro su intervalo de confianza del 95% de (0,0609828 – 0,187721).

Si bien la comparación de los estadígrafos calculados y sus intervalos de confianza sugiere que los datos provienen de una población normal, se verificó la tendencia lineal que sigue la dispersión de los puntos en la observación del gráfico de probabilidad normal. Para los datos de granulometría se generó la figura 5. La densidad aparente se representó en la figura 6). La fracción de CaCO_3 se verificó en la figura 7. Todos los gráficos, figuras (5)-(7), confirman que los resultados obtenidos provienen de una población normalmente distribuida.

Figura 5. Gráficos de Probabilidad Normal de las variables



Fuente: Elaboración propia.

Comprobada la procedencia normal de los resultados se procedió a ajustar la dependencia entre ellos. La relación entre densidad aparente y granulometría, se representó en cuatro ecuaciones (1)-(4). La variable dependiente Y es la densidad aparente en (gr/cm^3) y la variable independiente X es la granulometría en (mm). Mediante el estadígrafo R^2 se representó la proporción de la varianza de Y que puede atribuirse a la varianza de X .

Se ajustó el modelo lineal (1). El modelo así ajustado, arrojó una R^2 de 27,1418% de la variabilidad en densidad aparente.

$$Y = 1,31752 + 0,343821 \cdot X \quad (1)$$

Para mejorar la R^2 , de los datos el modelo lineal (1), se ajustaron varios modelos curvilíneos. Se eligió el modelo cuadrado de Y inversa de X (2), que mostró el valor más alto de R^2 con 36,7639%, mayor en 9,62207% que el modelo lineal originario.

$$Y = \sqrt{(2,37075 - 0,089695/X)} \quad (2)$$

Se ajustó el modelo polinomial de segundo orden (3). Su R^2 resultó mayor que la mostrada por el modelo (1) y (2). El modelo (3) mostró una R^2 que explica el 39,0338% de la variabilidad en densidad aparente.

$$Y = 1,03135 + 2,40343 \cdot X - 3,20405 \cdot X^2 \quad (3)$$

La mayor dependencia de la relación entre densidad y granulometría se demostró con el ajuste del modelo polinomial de quinto orden (4). El estadístico R^2 mostró un 93,513% de la variabilidad en densidad aparente.

$$Y = -86,4997 + 1504,34 \cdot X - 10004,7 \cdot X^2 + 32327,8 \cdot X^3 - 50763,0 \cdot X^4 + 31023,2 \cdot X^5 \quad (4)$$

Los ecuaciones (5)-(8) son el resultado de ajustar la relación entre fracción de CaCO_3 y granulometría. La variable dependiente Y es la fracción de CaCO_3 (%) y la variable independiente X es la granulometría (mm). Se ajustó el modelo lineal (5). Este demostró según R^2 que el modelo así ajustado explica un 0,0859001% de la variabilidad en CaCO_3 .

$$Y = 0,816984 + 0,0231333 \cdot X \quad (5)$$

El modelo lineal se convirtió en modelos curvilíneos para obtener una mayor representatividad de la dependencia de la relación. De los modelos ajustados a los datos se eligió la ecuación (6) que mostró al modelo alternativo doble inverso, como el de más alto valor de R^2 . Con 2,31615% mayor que el modelo lineal seleccionado. El modelo así ajustado explica un 2,40205% de la variabilidad en CaCO_3 .

$$Y = 1/(1,16193 + 0,0162402/X) \quad (6)$$

Para mejorar la representatividad de la relación, se ajustó un modelo polinomial de segundo orden (7), su estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica un 19,3451% de la variabilidad en CaCO_3 .

$$Y = 0,381432 + 3,15788 \cdot X - 4,87661 \cdot X^2 \quad (7)$$

El modelo polinomial de quinto orden (8), mostró una R^2 que indica que el modelo así ajustado explica un 61,1609% de la variabilidad en CaCO_3 .

$$Y = 93,3081 - 1595,79 \cdot X + 10672,2 \cdot X^2 - 34602,3X^3 + 54464,0 \cdot X^4 - 33354,8X^5 \quad (8)$$

4. Conclusión

Se ajustaron ocho ecuaciones, cuatro relacionan la densidad aparente con la granulometría y cuatro la retención de carbono con la granulometría. Las ecuaciones son válidas para generar nuevos datos de densidad aparente y retención de carbono de arenas carbonatadas con granulometría fina y media, según la clasificación de Wentworth. Los datos generados posibilitaran deducir el beneficio o la pérdida de la deposición de carbono en los proyectos de recuperación de playas, combinados con el volumen de vertimiento proyectado y la granulometría requerida. Se recomienda utilizar las ecuaciones con mayor R-cuadrada, continuar esta experiencia para mejorar la representatividad de los modelos e incluir medidas de las arenas gruesas.

5. Bibliografía

- Avello, O y Pavlidis, Y. (1975). Sedimentos de la Plataforma Cubana. *Serie Oceanológica*, No. 30. A.C. de Cuba.
- Blott, S., (2010). GRADISTAT 8.0: *A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments by sieving or laser granulometer*.
- Jackson, A. D. (1970). *Análisis químico de suelos*. La Habana: Editora Revolucionaria, p. 480
- Juanes, J. L. (1996). *La erosión en las playas de Cuba. Alternativas para su control*. Tesis Doctoral, Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, La Habana, p. 175
- Kotwicki, L. (2013). *Sandy shores*. Disponible en: http://www.coastalwiki.org/wiki/Sandy_shores. [Consultado: 20 de Octubre de 2016].
- Petelín, V. M. (1967). *Análisis granulométrico de los sedimentos marinos*. Editorial Nauta, Moscú, p. 76.
- Shore Protection Manual. (1984). Tomo 1. Capítulo 4. *Coastal Engineering Research Center, Material del litoral*, p 4 - 12.
- Statpoint, Inc (2006). STATGRAPHICS® Centurion XV. Software.
- Töpke, K. (2013). *Sandy shores*. Disponible en: http://www.coastalwiki.org/wiki/Sandy_shores. [Consulta: 25 de Octubre de 2016].
- WALKLEY, A AND BLACK, I. A. (1934). *An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*. *Soil Science*, 37, p 29-37.

Agradecimientos

Esta investigación se sufragó con el fondo de desarrollo de Inversiones GAMMA S.A. Se reconoce a Adrián Gómez Armenteros, por su preocupación por el desarrollo científico y tecnológico. A Magalys Sosa Fernández, Lourdes Rivas Rodríguez, Domingo Perdomo Hernández, Miguel Felipe Hernández, José Francisco Montalvo Estévez, Ileana de los Ángeles García Ramil y Gabriela Fernández Altunaga, investigadores del Instituto de Oceanológica por su profesionalidad en los trabajos de campo y laboratorio. A Lizzie Morales por la revisión del texto.