

Caracterización morfológica y óptica de las arenas de los medanos de Coro y del desierto del Sahara

María F. Martínez ^{1*}, Nelson Falcón ², Aarón Muñoz^{1,2}, Rafael Muñoz^{1,2}

¹Centro de Investigaciones Médicas y Biotecnológicas de la Universidad de Carabobo.

²Laboratorio de Física de la Atmosfera y del Espacio Ultraterrestre, Dpto. de Física, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología Universidad de Carabobo.

*Autor de correspondencia: mafer2k3@gmail.com

Resumen

En los desiertos son frecuentes los torbellinos de arena, las calimas y las tormentas de polvo; estos litometeoros presentan un dinamismo atmosférico especial, su propagación en la atmosfera puede abarcar extensas aéreas continentales y constituyen un tipo particular de aerosol. Identificar los aerosoles de origen Sahariano y de los Médanos en la capa límite planetario es de interés para la comprensión de fenómenos dinámicos ocasionales como las calimas y el movimiento convectivo. En el presente trabajo se realiza una comparación entre las arenas de Coro y el Sahara, en términos de su composición química, tamaño de granos, morfología y propiedades de reflectancia. Se emplean las técnicas de espectroscopia de reflexión difusa, microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de dispersión de rayos X (EDX). Los resultados muestran una reflectancia del orden del 15% para ambas muestras y su firma espectral (variación de reflectancia en función de la longitud de onda) es similar en el rango de 550 nm a 700nm, existiendo una diferencia entre 400 nm y 550 nm. La morfología en la clasificación de Powers es "angulosa" (Y0) mientras que las del Sahara es subredondas (Y5). Los tamaños medios son 120 micrómetros para las arenas de Coro y de 220 micrómetros para las del Sahara. Su composición es similar, pero en las de Coro abunda hierro y contienen titanio, cobre y aluminio. Se concluye que la teledetección permitiría diferenciar los aerosoles Saharianos con los de Coro, y que estos últimos presentarían menor sustentación aerodinámica en virtud de su composición y morfología.

Palabras Clave: Aerosoles, microscopía electrónica, propiedades ópticas

Morphological and optical characterization of the sands of the coro dunes and Sahara desert

Abstract

In deserts are frequent sandstorms; these lithometeoros present a special atmospheric dynamics, propagation in the atmosphere can cover large continental air and are a particular type of aerosol. Identify source aerosols and Saharan Dunes in the planetary boundary layer is of interest for the understanding of dynamic phenomena and casual as calimas convective motion. In this paper, a comparison between the sands of the Sahara Choir and in terms of its chemical composition, grain size, morphology and reflectance properties. Techniques are used Diffuse Reflection Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy and Spectroscopy of X-ray Scattering (EDX). The results show that both samples have a reflectance of about 15% and the spectral signature (variation of reflectance as a function of wavelength) is similar in the range of 550 nm to 700 nm, with a difference between 400 nm and 550 nm. The morphology in the classification of Powers is "angular" (Y0) while Sahara is subredondas (Y5). The average sizes are 120 micrometers to the arenas of Coro and 220 micrometers for the Sahara. Its composition is similar, but in the Iron Choir and contain abundant Titanium, Copper and aluminum. We conclude that remote sensing Saharan aerosols would differentiate the Choir and the latter presented lower aerodynamic lift by its composition and morphology.

Keywords: Aerosols, electron microscopy, optical properties

Introducción

La determinación de la masa y la morfología de los aerosoles son cruciales para determinar su tiempo promedio de caída al suelo. La atmósfera contiene una gran cantidad de aerosoles diversos (sal marina, polvo, humo, aerosoles volcánicos y antropogénicos) los cuales se ordenan según su tamaño en la atmósfera. El tamaño de las partículas puede ser desde $0,002 \mu\text{m}$ a más de $100 \mu\text{m}$ [1], esto es, desde unas pocas moléculas hasta el tamaño en el que dichas partículas no pueden permanecer suspendidas en el aire al menos durante unas horas. En el contexto de la contaminación del aire, un aerosol se refiere a materia particular fina, de tamaño no mayor que una molécula pero lo suficientemente pequeña como para permanecer en suspensión en la atmósfera durante al menos unas horas. Además de ser generados por eventos naturales como las tormentas de arena o las erupciones volcánicas, estos aerosoles son también emitidos en grandes cantidades por actividades de origen antropogénico, alcanzando niveles que afectan tanto al clima como a la salud humana. El efecto climático se produce bien de una manera directa por fenómenos de absorción y dispersión de la radiación solar, así como indirectamente al funcionar como núcleos de condensación que modifican las propiedades radiativas y la persistencia de las nubes.

La sustentación de aerosoles es de gran importancia para la caracterización de la atmósfera, éstos influyen considerablemente en la irradiación solar que llega a la tierra debido a sus propiedades ópticas. En este proyecto se estudiara las propiedades ópticas y morfológicas de aerosoles de arenas en los médanos de Coro, Edo. Falcón, y de origen Sahariano. La caracterización morfológicas de los aerosoles, el valor medio de las partículas por unidad de volumen y sus propiedades ópticas, se determinan mediante las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido, Difracción Láser [2] y Elipsometría [3].

Dinámica de aerosoles

El proceso que controla la distribución de tamaño de número de partículas, masa y especies químicas, son llamados dinámica de aerosoles. Estos incluyen el transporte en la atmósfera, deposición seca y húmeda, la condensación de los gases en partículas, nuclea-

ción de partículas a partir de mezclas de gases y de coagulación – partícula que chocan y se pegan entre sí. El transporte de aerosoles atmosféricos se determina por el movimiento del aire a diferentes escalas temporales y espaciales, tales como la turbulencia, el viento, las olas verticales edificantes y de la atmósfera. La dilución es importante cerca de las fuentes de aerosoles.

La forma de un grano incluye todos los aspectos de su morfología externa, tales como su forma general (esfericidad), su redondez (nitidez de los bordes y esquinas) y su rugosidad superficial. Las observaciones muestran que la forma de las partículas del suelo es muy irregular [4,5], que van desde esferas a placas en su forma bruta, a partir de una formar angular hasta bien redondeado y de áspera hasta lisa en su textura superficial. En la práctica, el tamaño de una partícula puede ser determinada por la medición directa de sus dimensiones externas. Sin embargo, se entenderá fácilmente que la idea de tamaño de partícula está estrechamente relacionada con la forma de las partículas y las dimensiones exteriores del instrumento de medición no representan con precisión el tamaño de una partícula a menos que su forma este bien definido.

Para superar las dificultades para medir con precisión la forma de las partículas y su tamaño, se introduce el concepto de tamaño de partícula equivalente. El comportamiento aerodinámico de las partículas está razonablemente bien entendida sólo para partículas esféricas. Por tanto es necesario en teoría, y también conveniente, para tratar las partículas del suelo de diferentes formas como esferas, de modo que sus comportamientos aerodinámicos y / u óptico puede ser descrita mediante las expresiones matemáticas pertinentes. El tamaño equivalente de partículas se mide por el diámetro de una esfera de que ciertas propiedades aerodinámicas u ópticas son idénticas a los de la partícula en cuestión.

Metodología

Para una masa de partículas dado, m , la masa de las partículas de diámetro equivalente, d , se calcula a partir de

$$d = \left(\frac{6m}{\pi\rho_p} \right)^{1/3} \quad (1)$$

Donde ρ_p es la densidad de partículas.

El movimiento de una partícula en el aire se ve influida por varias fuerzas, incluyendo la fuerza de gravedad, F_g , la resistencia aerodinámica, F_d , la elevación aerodinámica, F_l , la fuerza de Magnus debido a la rotación de las partículas, F_M , y la F_E fuerza eléctrica. La relación entre la densidad de partículas y la densidad de aire se define como $\sigma_p = \rho_p/\rho$ donde la densidad de partículas, ρ_p es de alrededor de 2.600 kg m^{-3} , [6] mientras que la densidad del aire, ρ , es de aproximadamente $1,2 \text{ kg m}^{-3}$. Como es del orden de 103, la acción de empuje sobre una partícula de polvo en el aire es insignificante y por lo tanto, F_g es simplemente el peso de las partículas. La componente vertical de F_g sólo es mg donde g es la aceleración de la gravedad.

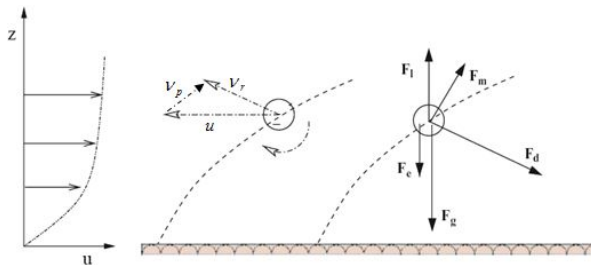


Figura 1. Ilustración de las fuerzas que actúan sobre una partícula que se mueve en un flujo cortante

La figura 1 ilustra las fuerzas que actúan sobre una partícula que se mueve en un flujo cortante. La velocidad del flujo aumenta con la altura. Se supone que la partícula está cargada negativamente y tiene un spin superior. La ecuación de movimiento de la partícula puede ser reescrita como

$$\dots \frac{dv_{yp}}{dt} = -\frac{3}{4} \frac{C_d}{\sigma_p} (V_{sup}^2 - V_{inf}^2) - g - \frac{3}{4} \frac{C_m}{\sigma_p} \Omega (v_p - u) + C_e E \dots \quad (2)$$

$$\frac{d\Omega_p}{dt} = -\frac{60v}{\sigma_p d} v_r \left(\Omega - \frac{1}{2} \frac{V_{sup} - V_{inf}}{d} \right) \quad (3)$$

donde v_p es la componente de la velocidad de la partícula, v_{yp} es la velocidad vertical de la partícula, Ω es la velocidad angular de la partícula, C_d es el coeficiente de resistencia aerodinámica, C_l es el coeficiente de sustentación aerodinámica, C_m es un coeficiente para la contabilidad de la dependencia de la “fuerza” de Magnus en la $(Re)_p$, C_e es la carga específica de partículas (carga por unidad de masa), E es el campo eléctrico, V_{sup} y V_{inf} son las velocidades del aire a alturas que corresponde a la parte superior y la parte inferior de la partícula. La magnitud de la resistencia aerodinámica depende críticamente del patrón de flujo alrededor de la partícula. Esto se refleja en el hecho de que el C_d es una función del número de partículas de Reynolds,

$$(Re)_p = \frac{\rho v_r d}{\eta} \quad (4)$$

De la ecuación (1) se puede obtener el tiempo de Vuelo de las arenas de tal manera de determinar la sustentación aerodinámica de las mismas. Es fácil ver, para el caso de los Médanos de Coro, que los parámetros están acotados: $10^{-1} \leq C_d \leq 10^{-5}$; $280 \text{ K} \leq T \leq 315 \text{ K}$, $d \approx 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$, $m \approx 2,64 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$ y $\sigma_p \approx 1283,33$. Usando $KB = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ y las condiciones iniciales $1 \leq v_{yp} \leq 10 \text{ m/s}$, $10^{-2} \leq y(0) \leq 300 \text{ m}$ tiene por resultado final, la expresión (en unidades del Sistema Internacional):

$$t_v = \left(\frac{1 + \frac{9,8}{v_{yp}(0)} \frac{10^8}{5,9 C_d \sqrt{T}}}{5,9 C_d \sqrt{T}} \right), 10^8 - \frac{y_p(0)}{v_{yp}(0)} \quad (5)$$

Obsérvese que se ha usado el hecho de que β es pequeño aun en el caso límite: $\beta \approx 5,9 \cdot 10^{-8} C_d \sqrt{T}$.

Existe una relación directa entre la forma de los clastos (clasto o brecha, es una roca sedimentaria detrítica compuesta aproximadamente en un 50% de fragmentos angulares de roca de tamaño superior a 2 milímetros unidos por un cemento natural.) y los mecanismos de transporte. El fundamento es que la forma de los individuos puede retardar o acelerar la velocidad de caída o influir sobre la efectividad de los desplazamientos sobre el sustrato. La esfericidad de un clasto

es una medida del grado de aproximación a la forma esférica.

Se define a la redondez como una medida de la cantidad de vértices y aristas que presenta un clasto y a los fines operativos se mide a partir de la silueta del clasto, en forma comparativa e independientemente de su forma. Esta es una propiedad muy importante pues está relacionada con el transporte, el mayor o menor desgaste indicará mayor o menor tiempo de transporte. (Escala de Powers [7] usualmente empleada para determinar la redondez en arenas). [Escala de Krumbein [8] usualmente empleada para determinar la redondez en clastos específicos).

Estudios de laboratorio han demostrado que, en general, el redondeamiento de un grano corresponde a un proceso muy lento (20000 km de transporte sólo disminuyen en un 1 % el peso de una partícula angular de cuarzo de grano medio) y que su velocidad decrece con la disminución del tamaño del grano. Sin embargo, la tasa de redondeamiento varía dependiendo del ambiente de deposición.

Se recolectaron in situ varias muestras de aerosoles de arena de los médanos de Coro del Estado Falcón de la República Bolivariana de Venezuela y del desierto de Sahara localizado en el norte de África, y se estudiaron su morfología con el microscopio electrónico de barrido (MEB), Joel modelo JSM – 6390 perteneciente al Centro de Investigaciones Biomédicas de la Universidad de Carabobo (CIMBUC).

La reflectancia es uno de los parámetros generalmente medido en estudios de aerosoles de origen natural y los causados por las actividades humanas. Se emplea un espectrofotómetro MiniScan XE Plus de la Hunter-Lab, con apertura de 3 mm, para medir el porcentaje de reflectancia difusa de la luz, en la superficie de los granos, emitida por una fuente patrón (D65), en un rango de longitud de onda que va desde 400nm hasta 700nm. La esfera integradora del equipo recoge el haz de luz reflejado de manera difusa, de acuerdo a como este posicionado tanto la fuente de luz como el detector, como se observa en la Figura 3.

En general la función $f(R)$ es característica de la composición, tamaño medio y morfología de las partículas. Si en una región de interés del espectro, el coeficiente de esparcimiento varía muy poco respecto a las longitudes de onda, la forma del espectro de

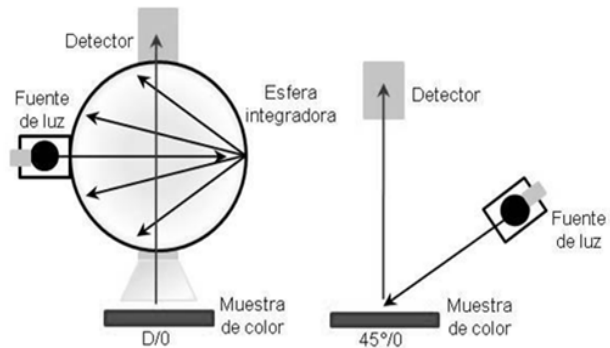


Figura 3: Geometría de un Espectrofotómetro.

Figura 2. Geometría de un Espectrofotómetro de Reflexión Difusa de Esfera Integradora

remisión y el espectro de absorción deben ser muy similares.

Resultados

Parte de las muestras fue recolectado en los médanos de Coro para estudiar su morfología (Ver figura 4), cabe destacar que se procuró que la toma de las muestras fuesen en un día seco donde la humedad fuese mínima

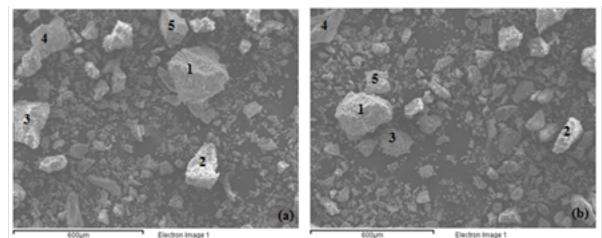


Figura 3. Morfología de los aerosoles de arena de los médanos de Coro. 1 Muy angular redondeada, 2. Angular alargada, 3. Muy angular alargada, 5 Redondeada alargada.

En las muestras (a) y (b) de la figura 3 se puede visualizar una gran distribución de partículas, entre las cuales se encuentra partículas de forma angular, sub angularo y sub redondeadas. Estas partículas van adoptando una forma redondeada debido a los impactos constante que tienen con la superficie mientras están en el proceso de saltación. Mientras más intenso se el viento de cizadura mayor será el impacto contra

la superficie desprendiendo partículas más pequeñas que son suspendidas con mayor facilidad.

Como se puede observar en las secuencias de imágenes de la figura 4, los aerosoles de arena de los Médanos de Coro poseen una mayor rugosidad en las caras, y la mayoría de las partículas suelen tener una configuración geométrica considerablemente compleja. Los aerosoles de Coro tienen una formación compacta y muy rugosa produciendo una reflexión difusa de la luz que inciden sobre ella, generando así una mayor reflectancia. También se puede observar que carece de placas o laminas. Cabe esperar, por la forma granular de estos aerosoles, que el tiempo de permanencia en la atmosfera sea poca duración.

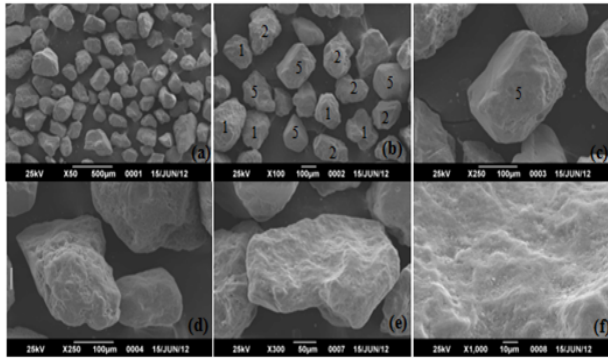


Figura 6: Morfología de los aerosoles de arena de los médanos de Coro, 1, muy angular, 2 angular alargada, 5 sub redonda.

Figura 4. Morfología de los aerosoles de arena de los médanos de Coro. 1 Muy angular, 2. Angular alargada, 5 sub redonda.

Para las arenas de del Sahara (figura 5) se puede identificar los diferentes formas, utilizando las escalas de Krumbein [6] y Power [7] para determinar la redondez, en las cuales se puede observar en la muestra (a) una gran distribución de partículas, en la muestra (b) se realizó un enfoque sobre una partícula (4) en específico, viendo que posee una forma muy angular. En la muestra (c), (3) y (f) se puede observar que algunas de las partículas tiene angular alargada (2) y (3), sub redonda (1) y angular (5).

Para el caso de los áreseles del Sahara se puede observar que las partículas de arenas son asimétricas, poseen bordes curvilíneas y poco definidas en la mayoría de los casos. Se llegaría a inferir que es debido al periodo de saltación que sufrieron las partículas antes de entrar en el proceso de sustentación. Los aerosoles del Sahara poseen una propiedad granulosa en comparación con las de los Médanos de Coro y

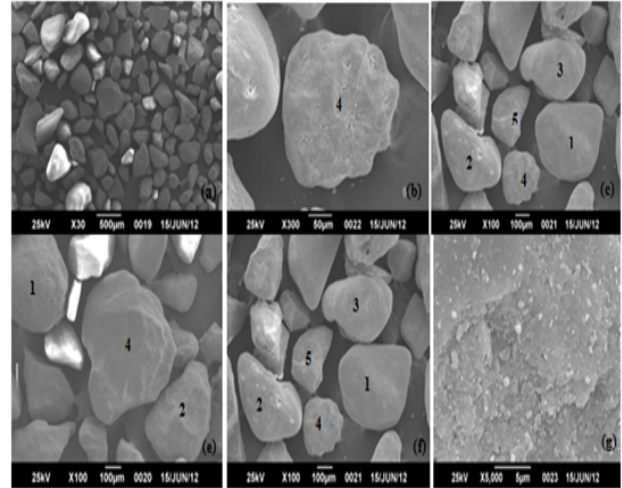


Figura 7: Morfología de los aerosoles de arena del desierto del Sahara, 1,3 y 4 sub redondeada, 2 y 5 sub angular alargada

Figura 5. Morfología de los aerosoles de área del desierto del Sahara, 1,3 y 4 subredondeada, 2 y 5 sub angular alargada.

eso hace que sea más fácil adquirir una formación esférica durante los impactos con la superficie y entre sí. También es evidente ver que el espacio de separación intersticial es menor que las de las partículas de arena de Coro, haciendo que el flujo de aire entre ellas sean menor, de esta manera su empuje aerodinámico vertical hacia arriba será mayor garantizando así una mayor prolongación en el aire. A partir de la dispersión de energías de rayos-X (EDX) se puede determinar un aproximado de las composiciones elementales de las arenas del Sahara y de los médanos de Coro los cuales se reflejan en la tabla 1 y tabla 2.

En las muestras obtenida de los médanos de Coro se pudo detectar una mayor cantidad de elementos que no se encontró en las muestras del Sahara, tales como Potasio (Na), Aluminio (Al), Titanio (Ti), Cobre (Cu), etc. Estos elementos influyen considerablemente en la morfología de los aerosoles haciendo que su proceso de sustentación sea con mayor facilidad o dificultad. Según se observa en la figura 6 se puede observar que la reflectancia de los aerosoles del Sahara y los médanos de Coro poseen el mismo comportamiento, de hecho, para las longitudes de ondas superiores de 550 nm. sus comportamientos son idéntica, y para valores menores a los 550 nm se comportan relativamente iguales con una diferencia de 0,5 % en la reflectancia y se cree que esto es debido a su composición elemental en particular por el contenido de Sodio (Na) como elemento absorbente, del mismo

Tabla 1: Composición elemental de arenas de Coro. Fuente Propia

Elemento	Peso (%)	Atómico (%)
C K	52,56	68,21
Na K	3,02	2,73
Mg K	2,73	2,33
Al K	8,28	6,45
Si K	18,84	13,93
K K	1,09	0,58
Ca K	5,64	2,92
Ti K	0,61	0,26
Fe K	5,85	2,17
Cu K	1,27	0,42
TOTAL	100,00	

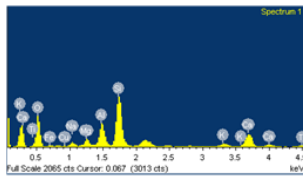
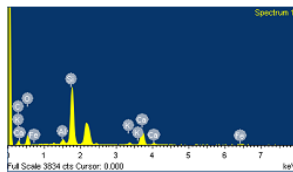


Tabla 2: Composición elemental de arenas del Sahara. Fuente propia

Elemento	Peso (%)	Atómico (%)
C K	46,90	63,07
O K	2,88	2,29
Si K	34,49	26,43
K K	1,68	0,93
Ca K	12,31	6,61
Fe K	1,74	0,67
TOTAL	100,00	



el mayor porcentaje de reflectancia en la muestras de Sahara es debido a que posee un mayor grado de partículas de metal (mayor cantidad de centro de esparcimiento de la luz) que las de Coro. También se puede observar. Los resultados muestran que ambas muestras poseen una reflectancia del orden del 15% y su firma espectral es similar.

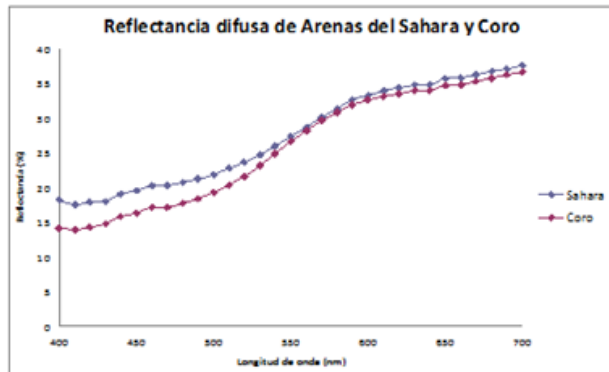


Figura 8: Comparación de la reflectancia entre las arenas del Sahara y las arenas de los médanos de Coro.

Figura 6. Comparación de la reflectancia entre las arenas de desierto de Sahara y las arenas de los médanos de Coro

En término del tiempo de vuelo usando la ecuación se puede determinar para las arenas de Coro un tiempo máximo de promedio aproximado a 3 a 4 días para una temperatura de 300 K dependiendo del coeficiente fricción aerodinámico, comparable con el tiempo de sustentación de las arenas de Sahara de alrededor

de 9 días [9]

Conclusiones

De los resultados obtenidos se puede observar que las partículas de los aerosoles de los médanos de Coro posee una mayor cantidad de cristales de cuarzo dándole así un aspecto más prístino en comparación con los aerosoles del Sahara, que se expresa en la reflectancia ligeramente superior (figura 6). También se observa que sus dimensiones promedio son relativamente más pequeñas que las del Sahara. Cabe destacar que los aerosoles del Sahara presentan una morfología más esférica que los gránulos de los Médanos de Coro. Sin embargo ambos presentan reflectancia muy similares, de hecho para longitudes de ondas superiores a los 550 nm ambas muestras se comportan de forma idéntica a pesar de la diferencia de sus composiciones. Para el caso de los áreseles del Sahara se puede observar que las partículas de arenas son asimétricas, poseen bordes curvilíneos y poco definidas. Los aerosoles del Sahara son más granuloso en comparación con las de los Médanos de Coro. También la separación intersticial es menor que las de las partículas de arena de Coro, haciendo que el flujo de aire entre ellas sean menor, de esta manera su empuje aerodinámico vertical hacia arriba será mayor garantizando así una mayor prolongación en el aire (ecuación 5).

Agradecimiento

Se agradece la colaboración al Centro de Investigaciones Biomédicas de la UC (CIMBUC). Este trabajo ha sido financiado por FONACIT (MTCI) a través del Proyecto Estratégico 2001 – 000326 “Caracterización de Fenómenos transitorios en la Troposfera Baja: Electro meteoros, Lito meteoros, Micro tornados y Trombas Marinas”

Bibliografía

- A. A. Kokhanovsky. (2006) “On remote sensing of optically thick ice clouds”. *Optical Engineering* 45:4. 959-963.
- Peñaloza, M., Luna, M., Dugarte, F., (2002). “Determinación del tamaño de partículas-aerosoles por el

método de difracción de rayo láser.” En Memorias del I Encuentro con la Física. ULA, Fac. Ciencias, Dpto. Física. Mérida-Venezuela; 139-143.

Muñoz, R., Falcon, N, et al., (2001) “Elipsometría y microscopía electrónica de barrido de las cenizas del volcán Popocatépetl”. Revista Mexicana de Física 47 (6) 553 – 557.

Gillette D. and T.R. Walker (1977), “Characteristics of airborne particles produced by wind erosion of sandy soil, high plains of West Texas”, Soil Sci., 123,97-110.

Pye K. (1994). “Properties of sediment particles. In Sediment Transport and Depositional” Processes, Pye K (ed.). Blackwell: Oxford; 1–24.

Shao, Yaping and Yang, Yan (2008) “A theory for drag partition over rough surfaces”, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, J. Geophys. Res.113,22156-2202.

Krumbein W.C (1934) “Size frequency distribution of sediments”, Jour. Sed. Petrology, 4, 65-77.

Powers, M.C., (1953). “A new roundness scale for sedimentary particles”. Journal of Sedimentary Petrology 23:117-119.

Easan Drury, Daniel J. Jacob, Jun Wang, Robert J. D. Spurr, and Kelly (2008) “Chance Improved algorithm for MODIS satellite retrievals of aerosol optical depths over western North America” Journal Of Geophysical Research, 113, D16204, doi:10.1029/2007JD009573.