

RESEÑA

EFFECTOS HIPOLIPEMIANTE Y ANTIOSTEOPORÓTICOS DEL D-003**Sarahí Mendoza Castaño, Investigadora Agregada.**

Centro de Productos Naturales, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, calle 198 entre avenidas 19 y 21,
Atabey, Playa Apartado Postal 6414,
Ciudad de La Habana, Cuba.

29 de noviembre de 2006.

TRABAJO PRESENTADO EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTORA EN CIENCIAS FARMACÉUTICAS.

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) y la osteoporosis son importantes problemas de salud de la población adulta con factores de riesgo comunes que involucran la biosíntesis del colesterol y la oxidación lipídica, por lo que la búsqueda de sustancias con acciones beneficiosas sobre ambos blancos es una línea actual de investigación.

Existen diversos vínculos entre la osteoporosis y las ECV, que incluyen la asociación epidemiológica entre la reducción de masa ósea y el aumento de estas enfermedades con la edad y la concurrencia, conocida como paradoja del calcio, de desmineralización ósea y mineralización arterial. Se puede referir también, la presencia en arterias calcificadas de hidroxapatita, proteínas óseas y otros factores segregados por células de la línea ósea osteoblástica y el déficit de estrógenos que propicia tanto la aterosclerosis, causa subyacente de ECV, como la osteoporosis primaria.

Por otra parte, la pared arterial contiene células capaces de comportarse como células óseas (osteoblastos y osteoclastos) y el tejido óseo contiene células endoteliales. La hipercolesterolemia (HC) y los lípidos oxidados promueven la diferenciación osteoblástica de las células vasculares e inhiben la diferenciación de los osteoblastos en el hueso, activando los osteoclastos (OC) y aumentando la resorción ósea, eventos que podrían explicar la paradoja del calcio y que sustentan que los antioxidantes y las estatinas muestren efectos antiosteoporóticos.

Los medicamentos antiosteoporóticos se clasifican fundamentalmente en inhibidores de la resorción (antiresortivos) y estimuladores de la formación (anabólicos). Las drogas de elección para el tratamiento de la osteoporosis son los bifosfonatos, y entre estos, los aminobifosfonatos (N-BF), los cuales actúan en la ruta de síntesis del colesterol inhibiendo la farnesilpírofosfato sintetasa. Esta inhibición provoca una disminución en las disponibilidades de geranilgeranilpírofosfato y farnesilpírofosfato, con lo cual, se afecta la prenilación de proteínas funcionales de los OC. Al inhibir la prenilación, se favorece la apoptosis de OC y por tanto, disminuye la resorción ósea.

Las estatinas, drogas hipolipemiantes, actúan de manera similar, pero inhibiendo otra enzima de la misma vía sintética, la hidroximetilglutaril-CoA reductasa (HMG-CoA reductasa), si bien, al igual que los N-BF finalmente afectan la prenilación proteica requerida para la función de los OC. Además, algunas estatinas aumentan la formación ósea.

Considerando los nexos entre las ECV y la osteoporosis, la ruta común de acción de estatinas y N-BF y la variedad de efectos pleiotrópicos de las estatinas, se han investigado sus efectos sobre el esqueleto. Sin embargo, los resultados son muy contradictorios. Esto parece deberse a que son drogas hepatoselectivas y poco biodisponibles en hueso. Por otra parte, los efectos hipolipemiantes de los N-BF son variables, posiblemente por inhibir la síntesis de colesterol en un paso que no regula la vía y por su muy pobre biodisponibilidad en tejido no óseo.

La peroxidación lipídica favorece la aterosclerosis y la osteoporosis, y si bien los resultados de los efectos de los antioxidantes en prevenir las ECV no han sido consistentes, antioxidantes como la vitamina E y la ipriflavona aumentan la formación y reducen la resorción ósea, respectivamente.

Por tanto, resulta de interés una alternativa que al inhibir la vía del mevalonato y la peroxidación lipídica pueda contribuir al control del colesterol y la osteoporosis. El D-003 es una mezcla de ácidos alifáticos primarios de muy alto peso molecular purificada de la cera de caña, cuyo componente fundamental es el ácido octacosanoico. Tras su consumo oral, el D-003 muestra amplia distribución tisular.

El D-003 inhibe la síntesis de colesterol en paso previo a la formación del mevalonato, regulando la HMG-CoA reductasa. Estudios experimentales y clínicos han mostrado que el D-003 también inhibe la peroxidación lipídica de lipoproteínas plasmáticas y fracciones microsomales de diferentes tejidos.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, la hipótesis de esta tesis consistió en suponer que el D-003, de acuerdo con sus efectos sobre la biosíntesis de colesterol y la peroxidación lipídica, era capaz de reducir las concentraciones séricas de las lipoproteínas de baja densidad asociadas a colesterol (LDL-C) y de colesterol total (CT) y lograr efectos pleiotrópicos favorables en el tejido óseo.

Para cumplimentar la primera parte de la hipótesis, se realizaron estudios en modelos animales y posteriormente, en pacientes con hipercolesterolemia tipo II (HC-II). En la evaluación preclínica se utilizaron conejos y diferentes esquemas de dosis en diseños experimentales encaminados a obtener información sobre la farmacodinamia del efecto y su comparación con otros medicamentos de eficacia demostrada. Se realizó un estudio que evaluó la relación de la dosis con los efectos y otros comparativos con policosanól y estatinas (fluvastatina y lovastatina). Como resultado, el D-003 redujo las concentraciones séricas de LDL-C y CT de modo dependiente de las dosis. Las reducciones de las LDL-C fueron mayores que con policosanól y similares a las inducidas con fluvastatina,

lovastatina y con la terapia combinada D-003 + fluvastatina. El D-003 y el policosanol aumentaron las HDL-C, aunque los efectos del D-003 fueron mayores. Ni el D-003 ni el policosanol provocaron cambios en los triglicéridos (TG), lo cual sí ocurrió tras la administración de fluvastatina o lovastatina. La terapia combinada D-003 + fluvastatina disminuyó los triglicéridos y aumento las lipoproteínas de alta densidad asociadas a colesterol (HDL-C) mostrando un efecto aditivo de los beneficios de ambas monoterapias. Los efectos del D-003 sobre el perfil lipídico se manifestaron tras 15 d de terapia y fueron reversibles tras 30 d de lavado. El D-003 a altas dosis no produjo manifestaciones de toxicidad en conejos, si bien la lovastatina indujo los signos característicos de la ocasionada por estatinas en conejos.

Dos estudios realizados en pacientes con HC-II mostraron resultados consistentes con los preclínicos. El tratamiento se mantuvo durante 60 d y las variables estudiadas fueron los cambios en el perfil lipídico y otros indicadores de seguridad de acuerdo con el perfil de un producto hipolipemiente. En el primer estudio, se emplearon dosis de 5 a 40 mg/d para evaluar la relación con el efecto. El segundo estudio tuvo como objetivo comparar dosis similares de D-003 y policosanol (5 y 10 mg/d). El D-003 redujo significativamente y de modo dependiente de las dosis las LDL-C y el CT y sus efectos fueron mayores que los del policosanol administrado a las mismas dosis, e incluso el efecto de la menor dosis de D-003 fue mayor que el de la mayor dosis de policosanol. La frecuencia de respondedores al D-003 fue mayor que al policosanol. El D-003 aumentó las HDL-C, sin dependencia de las dosis, y este aumento fue mayor que con policosanol. El D-003 no mostró efectos sobre los TG y fue bien tolerado por los pacientes, sin detectarse experiencias adversas atribuibles al tratamiento.

Los efectos antiosteoporóticos se evaluaron en la rata ovariectomizada (ovx) y en un modelo de osteoporosis inducida por glucocorticoides (prednisolona). Se ensayaron varias dosis y se compararon efectos con drogas comúnmente utilizadas en el tratamiento de esta enfermedad. Se realizaron experimentos a corto y a largo plazo para evaluar la persistencia del efecto tras ciclos repetidos de remodelado óseo (3 meses y 1 año, respectivamente). Las variables evaluadas fueron la afectación de indicadores histomorfométricos del hueso, efectos sobre marcadores de resorción y formación y sobre la apoptosis de células óseas. El D-003 administrado por 12 semanas previno de forma dosis-dependiente la afectación de las estructuras óseas y el aumento de la resorción en ratas ovx, lo que se asoció con un aumento en la apoptosis de OC. En este modelo no se observaron cambios sobre marcadores de formación. Estos efectos fueron similares a los del alendronato y el estradiol y moderadamente superiores a los de la pravastatina y el policosanol. El D-003, el alendronato y la pravastatina, a diferencia del estradiol no modificaron la ganancia en peso corporal inducida por la ovariectomía. La administración de D-003 durante 1 año, previno la pérdida y la resorción ósea, así como la reducción del peso del fémur, lo que confirma los resultados obtenidos a corto plazo, indicando la persistencia del efecto.

El efecto sobre la osteoporosis inducida por prednisolona se evaluó tras 80 d de administración conjunta. El D-003 también previno la pérdida y la resorción ósea, así como la aparición de osteonecrosis, actuando sobre indicadores de formación, lo que amplía las evidencias de sus efectos favorables sobre las células óseas.

Para obtener evidencias del efecto en humanos se realizó un estudio en mujeres postmenopáusicas con densidad mineral ósea reducida. Se analizaron los cambios sobre indicadores bioquímicos de remodelado como predictores tempranos de la progresión de la enfermedad, en un estudio de 6 meses de duración. El D-003 disminuyó la excreción urinaria de desoxipiridolina urinaria total/creatinina (tDPD/Cr), marcador de la resorción ósea, sin afectar las concentraciones séricas de fosfatasa alcalina hueso específica (FAHE), marcador de la formación ósea. En el estudio el D-003 manifestó sus efectos hipolipemiantes, ya que disminuyó el CT, las LDL-C y aumentó las HDL-C.

Los resultados experimentales y clínicos aquí presentados son consistentes y muestran que el D-003 ejerce un efecto beneficioso sobre el tejido óseo, a la vez que reduce las concentraciones séricas de CT y LDL-C, confirmando la hipótesis planteada.

El trabajo fue estructurado en Síntesis, Glosario de términos, Índice, una Introducción con los antecedentes del trabajo, hipótesis, aplicación, trascendencia y originalidad, el cuerpo de la tesis con cuatro capítulos: Capítulo 1 que contiene la Revisión Bibliográfica, con un análisis crítico y actualizado de los nexos entre ECV y osteoporosis, mecanismos, características de las drogas hipolipemiantes y antiosteoporóticas, el D-003 y su ubicación en este contexto, los Capítulos 2 y 3 que presentan la evaluación de los efectos hipolipemiantes y antiosteoporóticos, incluyendo sus materiales y métodos, resultados y conclusiones parciales y un Capítulo 4 de Discusión que analiza e integra los resultados en función de hipótesis y objetivos. Al final, las Conclusiones y Recomendaciones y la Bibliografía que incluye 290 referencias bibliográficas de las cuales el 50,7 % es posterior al año 2000 y un 45,2 % corresponde a la década de los noventa. Las tablas (52) y figuras (6) se anexaron al final de cada capítulo según correspondía en cada caso.

Los resultados de esta tesis han sido divulgados en 11 publicaciones en revistas internacionales de alto factor de impacto y una nacional. Además, fueron expuestos en dos Congresos Mundiales de Aterosclerosis (Suecia 2000, Italia 2006), Seminarios Científicos del Centro Nacional de Investigaciones Científicas XIII y XIV (14th International Scientific Congress CNIC 2005) y XXIII Conferencia Científica del Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ). Una variante de este producto ha sido registrada en Cuba como complemento nutricional y se han concedido varias patentes de producto y procedimiento en Cuba y en el extranjero.

El análisis de la aplicación y trascendencia de los estudios que conforman esta tesis revela que ellos se enmarcan en una línea actual de investigación priorizada, ya que:

- ❖ Las ECV, el cáncer y las ECBV son las principales causas de mortalidad y morbilidad de la población adulta y la osteoporosis es una causa relevante de morbilidad en esta población.
- ❖ Los nexos entre ECV y osteoporosis abren perspectivas para terapias que actúen de modo favorable y simultáneo sobre el tejido vascular y óseo, como resultado del pleiotropismo de su acción y de las interacciones entre los sistemas corporales.
- ❖ La prevención de enfermedades crónicas no transmisibles que son causas fundamentales de morbilidad y mortalidad en la población adulta es primordial en la política de salud del país.

La originalidad científica del tema se sustenta no solo porque el D-003 es una nueva sustancia consistente en una mezcla de ácidos primarios de muy alto peso molecular, avalado por las patentes concedidas y las publicaciones, sino porque esta es la primera tesis que además de demostrar sus efectos reductores de las LDL-C y el CT en estudios experimentales y clínicos, se añade como elemento muy novedoso, el hallazgo de un efecto pleiotrópico sobre un blanco extravascular, el tejido óseo, que demuestra que el D-003 previene la pérdida ósea en modelos de osteoporosis y aporta al efecto los primeros resultados clínicos.

La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás

María del Carmen Espinosa Lloréns, Matilde López Torres, Alexis Pellón Arrechea, Rogelio Mayarí Navarro y Alejandro Fernández Colomina.*

Dpto. de Estudios sobre Contaminación Ambiental, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y 158, Playa, Ciudad de La Habana. Correo electrónico: maria.espinosa@cnic.edu.cu. *Laboratorio de Análisis de Residuos, Dirección Provincial de Servicios Comunes, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 14 de junio de 2006. Aceptado: 11 de diciembre de 2006.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, fracción orgánica, caracterización, biogás, medio ambiente.
Key words: municipal solid waste, organic fraction, characterization, biogas, environment.

RESUMEN. La generación creciente de residuos sólidos urbanos (RSU), fundamentalmente en las grandes urbes, constituye un motivo de preocupación por los graves problemas de salud y ambientales que acarrea su gestión ineficiente. La Ciudad de La Habana, principal centro político, administrativo y cultural del país, concentra gran parte de las actividades económicas de la nación, ya sean de naturaleza industrial, de servicios, científicas y turísticas. Todo ello da lugar a una elevada generación de RSU en relación con otras ciudades cubanas. La inexistencia de soluciones adecuadas y eficientes para el tratamiento y la disposición final, así como el manejo inadecuado de dichos residuos, potencian el incremento de los riesgos y la posible contaminación relacionada con ellos. Para el desarrollo de un sistema de gestión integral de los RSU en Cuba la principal dificultad está en el desconocimiento real de la composición química de los residuos que se generan en el país y, en especial, en La Ciudad de La Habana, base fundamental para cualquier toma de decisión. En el presente trabajo se exponen los resultados de la caracterización de la fracción orgánica de RSU (FORSU) de la Ciudad de La Habana, realizada en el 2004, para evaluar la potencialidad de su valorización. Para su caracterización físico química (20 indicadores) se tomaron muestras de RSU de viviendas y agromercados, con lo que se obtuvieron, por primera vez en el país, resultados de indicadores de este tipo de residuos. Se aportaron datos concretos de su potencialidad para la producción de biogás.

ABSTRACT. The increasing generation of municipal solid waste (MSW), mainly in the big cities, constitutes a reason of concern because of the serious health and environmental problems that carries their inefficient management. The City of Havana, the political, administrative and cultural centre of the country, also is the centre of many of the economic activities of the nation: industrial, services, scientific and tourism. Everything contributes to a higher generation of MSW in connection with other Cuban cities. The non-existence of appropriate and efficient solutions for the final disposal and treatment, as well as the inadequate handling of the same, increases the risk and possible contamination related to this problem. The main difficulty in the development of a system of integral management of the MSW lies in the lack of knowledge of the chemical composition of the wastes that are generated in the country and, especially, in the City of Havana, a fundamental basis for any decision making. In this study the results of the characterization of the organic fraction of the municipal solid waste (OFMSW) of the City of Havana carried out in 2004, for evaluating the potential of their valorization, are exposed. For the physical chemical characterization (20 indicators) of the OFMSW, samples from agromarkets and houses of this city were selected, obtaining results of indicators that, for the first time, are obtained in the country, in that kind of wastes and contributing with concrete data of the potentiality of these wastes for biogas production.

INTRODUCCIÓN

La generación creciente de residuos sólidos urbanos (RSU), fundamentalmente en las grandes urbes, constituye un motivo de preocupación por los graves problemas de salud y ambientales que acarrea su gestión ineficiente. Sin embargo, la valorización (compostaje, lombricultura, digestión anaerobia, entre otros métodos) de la fracción orgánica de los RSU (FORSU) puede contribuir a paliar esos problemas, al disminuir la cantidad de residuos que se disponen y lograr obtener subproductos útiles a partir de ellos, tales como compost, vermicompost, biogás y biosólido, lo cual tiene impactos positivos tanto en el medio ambiente como en la economía.

En los últimos años ha habido un gran interés en la aplicación del proceso de digestión anaerobia para el procesamiento de la FORSU, por la posibilidad de recuperar metano y por el hecho de que el material digerido es similar al compost producido aeróbicamente.¹

Se continúa prestando atención al mejoramiento del proceso de digestión anaerobia de este tipo de residuos, ya sea empleando la co-digestión con otros residuos,² estudiando la influencia de la temperatura en este proceso³ o desarrollando sistemas de doble etapa,⁴ entre otros. Existen varios procesos de este tipo desarrollados o en desarrollo en los

Estados Unidos y Europa, como son compostaje anaerobio de lotes secuenciales CALS (EE. UU.), KAM-POGAS (Suiza), Biocell (Holanda), DRANCO (Bélgica), BTA (Alemania) y Valorga (Francia).⁵

En Cuba ha ido aumentando progresivamente la cantidad de digestores y plantas de biogás. En 2005, ya se contaba con 323 instalados,⁶ los que emplean como sustrato residuos de diferentes orígenes.

Sánchez y cols. realizaron propuestas para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de residuos urbanos en Cuba.⁷ López y cols. han desarrollado una tecnología para el tratamiento anaerobio de la FORSU pretratada químicamente, cuya aplicación permitiría obtener biogás como solución alternativa para satisfacer las necesidades energéticas en una parte de la población y un sustrato orgánico como mejorador de suelo.⁸

Por otra parte, en los grandes llenos sanitarios la generación de biogás puede ser factible de recuperar mediante la instalación de plantas colectoras y depuradoras de gas, para su posterior almacenaje y uso como fuente de energía. El contenido de metano de este biogás puede oscilar entre 5 y 51 %, dependiendo de la edad de los residuos que se encuentran enterrados. El gas recuperado (biogás) puede utilizarse para la generación de energía o no.⁹

La Ciudad de La Habana, principal centro político, administrativo y cultural del país, concentra gran par-

te de las actividades económicas de la nación, ya sean de naturaleza industrial, de servicios, científicas y turísticas. La presión demográfica, los cambios en los hábitos de consumo de la población y el incremento de las actividades turísticas y de servicios implican mayor generación de RSU (1 500 t/d) en relación con otras ciudades cubanas, y, por lo tanto, mayor necesidad de áreas para su disposición final y posibilidades de contaminación del suelo y las aguas subterráneas.¹⁰

En la Estrategia Ambiental Nacional,¹¹ desarrollada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), se identifican los principales problemas que afectan el medio ambiente cubano, entre los que resalta la gestión ineficiente de los RSU, siendo esta una de las problemáticas que aparecen, también, en la Estrategia Ambiental de Ciudad de La Habana.¹²

Se hace necesario, en estos momentos, desarrollar un sistema que proporcione la gestión integral de los RSU en Cuba, para de esta forma, agrupar con un enfoque sistémico, acciones que ya se vienen realizando e insertar otras, que son de extraordinaria importancia para el funcionamiento de una gestión ambientalmente segura. Sin embargo, para la valorización de los residuos que se generan en el país la principal dificultad ha estado en el desconocimiento real de su composición química, base fundamental para cualquier toma de decisión.

El presente trabajo tuvo como objetivos la caracterización de la FORSU de la Ciudad de La Habana, así como una evaluación de su potencialidad para la producción de biogás, partiendo de los resultados de la caracterización realizada.

MATERIALES Y METODOS

Los sitios de toma de muestra y su número estuvieron establecidos en las tareas convenidas por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), para el desarrollo del Estudio del Plan Maestro sobre Manejo Integral de los RSU en la Ciudad de La Habana, durante 2004.

Muestreo

Se caracterizaron cinco muestras compuestas, las cuales procedían de viviendas y agromercados de Ciudad de La Habana, las cuales fueron colectadas en sacos de nylon y transportadas inmediatamente, en un laboratorio móvil, en condiciones adecuadas, hacia el Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental (DECA), del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC).

Métodos de ensayo

Se aplicaron métodos de ensayos procedentes del Grupo de Métodos de la Oficina de Residuos Sólidos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE. UU.¹³ o normas de ensayo de suelos,¹⁴ los cuales habían sido validados previamente¹⁵ (Tabla 1). Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Evaluación de la potencialidad de producción de biogás

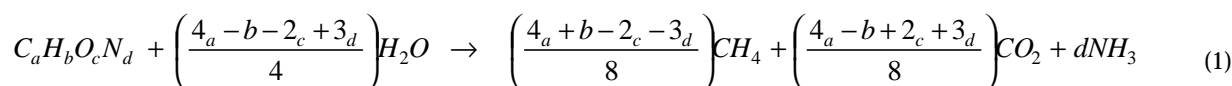
El volumen de los gases emitidos durante la descomposición anaerobia puede estimarse de varias formas.^{9, 16, 17}

Si los constituyentes orgánicos individuales encontrados en los RSU (con la excepción de plásticos) se representan de una forma generalizada con la fórmula $C_aH_bO_cN_d$, entonces se puede estimar el volumen total del gas, utilizando la ecuación 1 (ecuación general de la digestión anaerobia), suponiendo la conversión completa de los residuos orgánicos biodegradables en CO_2 y CH_4 .

Tabla 1. Ensayos empleados en la caracterización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

Ensayo	Tipo de método
Peso seco, humedad y materia volátil a 550 °C	Gravimétrico
pH	Electrométrico
Materia orgánica	Colorimétrico
Fósforo total	Colorimétrico
Nitrógeno total	Volumétrico
Grasas y aceites	Gravimétrico
Metales (Cd, Zn, Cu, Pb, Hg, Cr, Ca, Mg, Na, K)	ICP, fotometría de llama
Cianuros totales	Colorimétrico
Bifenilos policlorados (PCB)	CG con EC

CG Cromatografía gaseosa. EC Detección electroquímica. ICP Inductively coupled plasma (Plasma inductivamente acoplado).



Ecuación 1. Ecuación general de la digestión anaerobia.

Teniendo en cuenta estas consideraciones para la evaluación de la potencialidad de producción de biogás de los residuos, se calcularon las fórmulas empíricas en base húmeda y seca, el volumen de metano y biogás producido.

En general, los materiales orgánicos presentes en los residuos sólidos se pueden dividir en dos clasificaciones: (1) aquellos materiales que se descomponen rápidamente (tres meses a cinco años) y (2) aquellos materiales que se descomponen lentamente (hasta 50 años o más).

De acuerdo con el origen de los RSU estudiados en el presente trabajo, se consideraron estos, fundamentalmente, como materiales que se descomponen rápidamente, y de esta forma, se calculó, además, la fracción biodegradable (FB) de acuerdo con el contenido de lignina de estos tipos de residuos y teniendo en cuenta la expresión siguiente:⁹

$$FB = 0,83 - 0,028 CL$$

donde:

FB fracción biodegradable expresada sobre la base de la materia volátil (MV).

0,83 y 0,028 constantes empíricas.
CL contenido de lignina de la MV expresada como un porcentaje en peso seco.

Procesamiento estadístico

Se empleó el programa de computación EXCEL¹⁸ y los paquetes de programas estadísticos Statistica for Windows¹⁹ y Statgraphics for Windows,²⁰ para calcular: la media, la desviación típica, la desviación típica relativa o coeficiente de variabilidad (CV, %), además de la detección de posibles valores fuera de límites mediante la dócima de Grubbs, según las reglas descritas en ISO 5725²¹ y el análisis de varianza (ANOVA) para la comparación de los resultados de los diferentes indicadores en las muestras estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización

En todos los resultados, las variaciones entre réplicas no sobrepasaron los coeficientes de variación permisibles para cada método de ensayo.¹⁵ Todos los resultados se han reportado sobre base seca (Fig. 1).

Se pudo observar un elevado contenido de materia orgánica, similar al reportado por investigadores de otros países (Tabla 2), para este tipo de residuos estudiados, compuestos fundamentalmente de restos de alimentos, así como un adecuado contenido de nitrógeno y fósforo en los residuos. La humedad resultó elevada si se compara con residuos similares en otros países (Tabla 2), (en los que este indicador puede alcanzar solo entre 30 y 25 %), ya que los residuos estudiados fueron tomados directamente de los desechos de las viviendas y agromercados. Las cenizas fueron pocas de acuerdo con el origen de las muestras. El pH de las muestras osciló entre 6,0 y 7,6 y la conductividad eléctrica promedio fue de 1 360 μ S/cm.

Comparados los resultados con los obtenidos anteriormente por la autora y cols.¹⁵ en 2002 (Tabla 2) se pudo observar que existe mucha similitud en la magnitud de los

indicadores fundamentales, teniendo en cuenta las diferencias de época y de los sistemas de recogida de los residuos que fueron realizados, lo que confirma la fiabilidad de los resultados de las determinaciones de las características de la FORSU estudiada en el presente trabajo.

Los resultados relacionados con la determinación del contenido de metales pesados y bifenilos policlorados (compuestos que por primera vez se analizaron en Cuba en este tipo de residuos y que fueron incluidos dada su importancia medioambiental por considerarse Contaminantes Orgánicos Persistentes, COP), se compararon con los valores límites permisibles registrados en los lineamientos establecidos en Ontario (Canadá)²³ para la valorización de la FORSU mediante compostaje (Tabla 3).

Se pudo observar que en todos los casos la magnitud de los indicadores en las muestras estudiadas fueron inferiores que los límites permisibles.

Por otra parte, se demostró que se cubren las exigencias establecidas en los lineamientos de Ontario²³ en cuanto a contenidos mínimos de sodio, magnesio, calcio y potasio para la valorización de los residuos estudiados (Tabla 4).

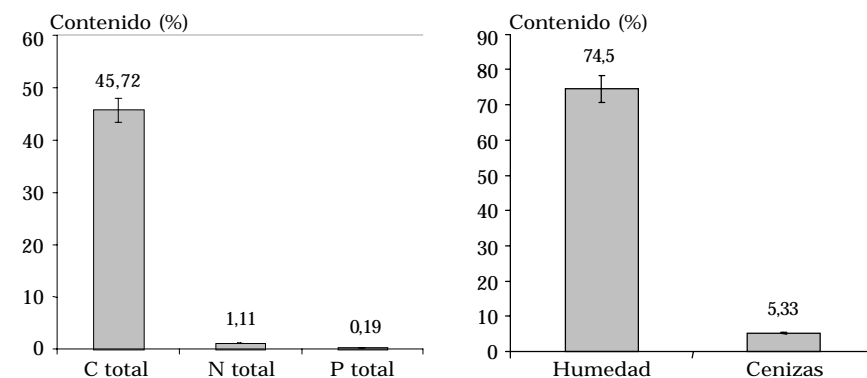


Fig. 1. Resultados (media y desviación estándar) de algunos de los indicadores estudiados en la caracterización de la FORSU, (base seca).

Tabla 2. Comparación de los resultados de la determinación de algunos indicadores químico físicos de la FORSU en diferentes países. (Expresados sobre base seca).

Características	Chile ²²	USA ²²	Argentina ²²	Ciudad de La Habana, 2002 ¹⁵	Presente trabajo
Humedad (%)	66,0 - 50,7	25,0 - 30,1	51,4	60,3	74,5
Materia volátil (%)	93,9 - 80,0	84,77	80,0	81,3	94,67
Cenizas (%)	6,1 - 20,0	15,23	20,0	18,7	5,33
Nitrógeno (%)	1,16	1,14	1,50	1,7	1,11
Carbono (%)	40,60	43,19	48,6	40,65	45,72

Tabla 3. Resultados de los análisis de algunos metales pesados y PCB en la FORSU.

	Cd	Zn	Cu	Pb	Hg	Cr	PCB
	(mg/kg, base seca)						
FORSU	0,999	1,0	50,0	74,0	0,393	36,7	< 0,05
Ontario	3	500	100	150	0,8	210	0,05

Tabla 4. Resultados de las determinaciones de los contenidos de sodio, magnesio, calcio y potasio.

	Na	Mg	Ca	K
	(% bse seca)			
FORSU	1,24	0,29	5,43	1,72
Ontario	-	0,30	3	0,20

Estimación del potencial de producción de biogás

De acuerdo con los resultados de la caracterización de las muestras estudiadas, se evaluó su posible empleo en una planta piloto demostrativa (10 a 20 t FORSU/d) a construir dentro del proyecto auspiciado por la ONUDI para la valorización de los RSU de Ciudad de La Habana.¹⁶

Como primer paso, se establecieron los contenidos de los elementos necesarios para estimar una fórmula empírica de la FORSU (Tabla 5).

A partir de estos resultados, tomando como base de cálculo una tonelada de FORSU y teniendo en cuenta el contenido de humedad de los residuos (74,5 %), se determinó la composición elemental en masa (en toneladas) (Tabla 6).

De acuerdo con estos resultados, la fórmula empírica (base seca) de la FORSU estudiada en este trabajo sería: C₄₈H₇₆O₃₃N, lo que representaría una masa molar de 1 194 g/mol.

Teniendo en cuenta la ecuación general de la digestión anaerobia (ecuación 1) para este caso particular, se tiene la ecuación 2.

Debe tenerse en cuenta que esta no es una ecuación general, si no particular para la composición química de los residuos estudiados en este

trabajo, la cual es muy dependiente del tipo de recogida de los RSU, la selección de los residuos, la época del año, hábitos de consumo de la población y otras características.

La composición estimada del biogás se encuentra dentro del intervalo reportado para la FORSU por Tchobanoglous,⁹ en el cual el contenido de metano puede estar entre 45 y 60 % y el de dióxido de carbono entre 40 y 60 %.

Considerando la generación de RSU de 1 500 t/d en Ciudad de La Habana, su contenido de materia orgánica (de acuerdo con la caracterización física realizada en 2004) de 71,86 %²⁴ y una fracción biodegradable de 0,409, se obtendría como resultado una generación diaria neta

de 489,9 t de materia volátil biodegradable (MVB), que produciría un total de 444 687 m³ normalizados de biogás/d (230 081 m³ normalizados de metano/d), de acuerdo con la ecuación 2.

Esto representaría una generación de 0,91 m³ normalizados de biogás/kg MVB, algo superior a la reportada por Tchobanoglous,⁹ para residuos orgánicos mezclados (0,75 m³ normalizados de biogás/kg MVB), diferencia atribuible a que en este trabajo solo se tuvieron en cuenta aquellos materiales que se descomponen rápidamente, de acuerdo con la clasificación establecida por este autor.

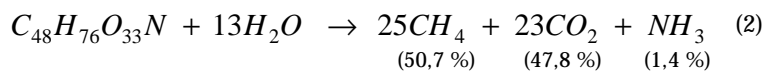
CONCLUSIONES

La amplia caracterización realizada a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos procedentes de viviendas y agromercados de Ciudad de La Habana, que abarcó 20 indicadores, permitió determinar que los residuos estudiados poseían las características necesarias para ser valorizados.

La estimación de la producción potencial de biogás a partir de la fracción biodegradable de la FORSU (0,91 m³ normalizados de biogás/kg MVB), dada la elevada generación de RSU en la Ciudad de La Habana, demuestra la gran cantidad de biogás (444 687 m³ normalizados de biogás/d), que podría obtenerse para diferentes fines, de aplicarse una alternativa de digestión anaerobia para la valorización de estos residuos.

Tabla 5. Composición elemental de la FORSU.

C	H	O	N	S	Cenizas
(% p/p, base seca)					
45,72	6,04	41,55	1,11	0,25	5,33



Ecuación 2. Ecuación de la digestión anaerobia de la FORSU estudiada en este trabajo.

Tabla 6. Composición elemental en masa (toneladas) de la FORSU.

Desechos orgánicos	Total	C	H	O	N	S	Cenizas
(t)							
FORSU	0,255	0,117	0,015	0,106	0,003	0,001	0,014
Agua	0,745		0,083	0,662			
Total con agua	1,000	0,117	0,098	0,768	0,003	0,001	0,014
Total seco	0,255	0,117	0,015	0,106	0,003	0,001	0,014

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) por el apoyo financiero para la ejecución de la caracterización de la FORSU.

BIBLIOGRAFIA

- López M., Espinosa M. del C., Escobedo R., Delgado J. Gestión integral de los residuos urbanos sólidos y líquidos en Cuba. **Revista Tecnología, Ciencia, Educación, del Colegio de Ingenieros Químicos de México**, **19**, 5-13, 2004.
- Hartmann H. and Ahring B.K. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure. **Water Research**, **39**, 1543-1552, 2005.
- Man-chang W., Ke-wei S. and Zhang Y. Influence of temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of municipal organic solid waste. **Journal of Zhejiang University - Science B**, **7**, 180-185, 2006.
- Waltzman D. Design and Development of a Solid Waste Biogas Conversion Facility. Technical Proposal. New Mexico State Land Office. New Mexico, Environment Department, August 1999.
- López M., Espinosa M. del C., Escobedo R. Tendencias Actuales en el Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos. **Revista Contribución a la Educación y la Protección Ambiental**, **5**, La Habana, 2004.
- Oficina Nacional de Estadísticas, Informe Anual, La Habana, 2005. www.one.cu. Consultado: 14 de noviembre de 2006.
- Sánchez E., López M., Roviroso N., Travieso L. y Morales J. Gestión para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de residuales urbanos en Cuba. **Revista Residuos**, **No. 51**, 90-93, 1999.
- López M. Procedimiento de pretratamiento para mejorar la digestión anaerobia de residuos sólidos. **Revista CENIC Ciencias Biológicas**, **No. 32**, 129-131, 2001
- Tchobanoglous, G., Thiesen, H. Vigil, S.. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw-Hill, Madrid, 1994.
- PNUMA, Delegación CITMA Ciudad de La Habana. GEO LA HABANA. Perspectivas del Medio Ambiente Urbano. Ciudad de La Habana, Centro de Información y Gestión Ambiental, 106, 2004.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. CITMA. Estrategia Ambiental Nacional. Ciudad de La Habana, Cuba, 27, 1999
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. CITMA Estrategia Ambiental de Ciudad de La Habana, Ciudad de La Habana, Cuba, 2004.
- Environmental Protection Agency. EPA. Office of Solid Waste. Test Methods for Evaluating Solid Waste. OSW 486, EE. UU., 2002.
- Sparks D.L. Methods of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3. Soil Science Society of America Book Series. Madison, Wiscconsin, EE. UU., 1996.
- Espinosa M., López M., Mayarí R., Escobedo R., Correa O., Rodríguez X., Ruiz M., León Y., Rodríguez A.C., Luna B., Ruiz A., Fraguera V. Caracterización de residuos sólidos urbanos en territorios de Ciudad de La Habana. **Contribución a la Educación y la Protección Ambiental**, **Volumen 4**. Instituto de Ciencia y Tecnología Nucleares, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Ciudad de La Habana, 2003.
- Susta M. R. Biogas Generation from OFMSW. UNIDO Project. CS/CUB/04/151/11-51. Preliminary Results. Havana - Cuba. November, 2005.
- Ryser W. United Nations Industrial Development Organization. Landfill Technology. Training Manuals. Volume 1 - revised Chapter. 8. MSWM China. UNIDO. September 16th, 2003
- Microsoft® Excel, version 9. Microsoft, EE. UU., 2002.
- STATISTICA for Windows, StatSoft, Inc., EE. UU., 1998.
- STATGRAPHIC plus for Windows 3.1. Statistical Graphics Corp. EE. UU., 1997.
- ISO 5725. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Parts 1-4. Geneva 1994.
- Anónimo. Residuos Sólidos. www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html#. Consultado: octubre 2004.
- CCME. Ontario guidelines for aerobic composting production and use. Canada CCME-106E. 1991.
- Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). Informe del Estudio del Plan Maestro sobre Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de La Habana, Dirección Provincial de Servicios Comunes, 2004.

OZOMED mini

OZOMED mini® está diseñado para las aplicaciones médicas del ozono.

Para el tratamiento de: neuropatías ópticas, glaucoma crónico, síndrome cócleo vestibular, retinosis pigmentaria, demencias seniles, anemia drepanocítica, prevención de sepsis, artrosis, arteriosclerosis obliterante y como medio de contraste en angiografías intradiafragmáticas.

Especialidades: Oftalmología, Geriatria, Ortopedia, Angiología y Medicina Interna.

Vías de aplicación: intravenosa, intra-arterial, intrarrectal, intramuscular, autohemoterapia mayor y menor, intracavitaria, subcutánea y tópica.

Instalación y montaje: solo requiere alimentación eléctrica y un botellón de oxígeno medicinal que se interconecta al equipo mediante una manguera de PVC flexible de diámetro interior 5 mm que se coloca a la entrada del flujómetro.



Características técnicas

Cubierta de poliestireno de gran densidad e impacto.
Dimensiones: (LXHP) (340X220X150) mm.
Peso: 2,8 kg (6,16 lb).
Alimentación: ~ 110 V ± 10 %; 60 Hz .
Temperatura de trabajo: 15 a 30 °C .
Humedad relativa: hasta 90 % .
Presión de O₂ a la salida del botellón: hasta 1 atm.
Concentración de ozono: hasta 70 mg/L .
Tiempo de trabajo continuo máximo: 20 min ± 10 % .
Potencia: 50 VA ± 2 % .
Flujo de trabajo de O₂ medicinal seco: hasta 1,5 L/min .



Centro de Investigaciones del Ozono

Avenida 15 y calle 230 No. 1313, Playa, Ciudad de La Habana, Apartado Postal 6412, Cuba.

Teléfono: (53) 7 271 2089. Fax: (53) 7 271 0233. ozono@infomed.sld.cu <http://www.ozono.cubaweb.cu>