

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS MINERALES EN LA OBTENCIÓN DE LECHOS HIGIÉNICOS PARA MASCOTAS

Maylín Laurel Gómez⁽¹⁾, Susana Rodríguez Muñoz⁽²⁾, Martha Velázquez Garrido⁽¹⁾, Emilio Montejo Serrano⁽¹⁾

Se estudia el empleo de la fracción fina residual de paligorskita del yacimiento "Pontezuela", generada en el proceso productivo del lecho filtrante para el turbocombustible de aviación JET A1, para su empleo como cama de mascotas, en formulaciones con zeolita y bentonita natrificada. Los lechos de mascotas deben poseer ciertas características como gran capacidad de absorción de líquidos y remoción de olores indeseables. Aplicando un diseño experimental de mezclas se emplearon diversas proporciones de paligorskita entre (50-70)%, bentonita natrificada entre (10-30)% y zeolita 20%. Se ensayaron nueve mezclas en las que se evaluaron la absorción de agua Westinghouse, pH, densidad aparente y rendimiento en peso de la fracción útil. Del análisis estadístico se determinó la formulación óptima que corresponde a una composición de 50% paligorskita, 30% bentonita y 20% zeolita. Se estableció una comparación entre la mezcla óptima y un producto comercial extranjero en la que adicionalmente se realizaron pruebas de aglutinación del mineral y remoción de olores. En el estudio comparativo el producto obtenido mostró un comportamiento superior respecto al lecho patrón extranjero. Las pruebas de uso con mascotas arrojaron resultados positivos, tuvo buena aceptación por parte de las mismas y se mantuvo absorbiendo los líquidos y removiendo los olores por más de quince días. A partir de los resultados obtenidos, se logra disminuir el impacto sobre el medio ambiente de la generación y acumulación de los residuos sólidos finos, con su aprovechamiento en la obtención de nuevos productos.

Palabras clave: paligorskita, lecho de mascota, diseño de experimento

Studies the uses of palygorskite's fine residual fraction of the deposit Pontezuela, generated in the productive process of the filter bed for the fuel of aviation JET A1, for his uses like pets's bed, in formulations with zeolite and bentonite. Characteristics like great capability of absorption of liquids and removal of undesirable smells must possess pets's beds. Applying an experimental design of mixtures diverse paligorskite's proportions among (50 -70)%, bentonite used among (10- 30)% and zeolite 20%. Nine mixings that the absorption of water Westinghouse, pH, apparent density and performance in weight of the useful fraction were evaluated. The optimal formulation determined itself of statistical analysis than is supposed to 50 %'s composition palygorskite, 30% bentonite and 20% zeolite. A comparison among the optimal mixture that additionally one accomplished tests of agglutination of the mineral and removal of smells in and a commercial foreign product were established. In the comparative study the product obtained he evidenced a superior behavior in relation to the bed foreign pattern. The tests of use with pets yielded worked out plus signs, he deemed good acceptance as part of the same ones and he remained absorbing liquids and reviving the smells for over fifteen days. Starting from the aftermath obtained, it is been able to decrease the impact on the environment of generation and accumulation of the solid fine leavings with his use, in the obtaining of new products.

Key words: palygorskite, litter pet, experimental design

Recibido: 15 de octubre del 2015

Aprobado en su forma original: 23 de febrero del 2016

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km^{1/2} Boyeros, La Habana, Cuba, CP-10800 Correo electrónico: maylín@cipimm.minem.cu

(2) Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", CUJAE, Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. Apartado Postal 19390

INTRODUCCION

Los minerales naturales como las arcillas y las zeolitas son empleadas tanto en forma natural como modificada en la obtención de productos de mayor valor agregado, para ser aprovechados en función de lechos o camas para los animales, dadas sus propiedades como absorbente, eliminadora de olores y controladores de vectores. Los productos destinados a lechos de animales domésticos (mascotas), son de alta demanda en el mercado internacional y su precio es perspectivo en un valor mínimo de 2-5 USD/kg de acuerdo a su tipo. Existen en el mercado numerosos productos de diferente índole y con características muy variadas. A las empresas productoras cubanas de minerales representa un efecto económico favorable fabricar con sus residuales estos productos. La posibilidad de producción y exportación de los mismos repercute positivamente en la economía del país, al consumir nuestros propios recursos minerales brindando alternativas limpias en su obtención. Los productos lechos de mascotas tienen en el mercado de frontera un uso limitado por las características y costumbres de Cuba, no obstante constituyen un renglón de demanda en el mercado de la moneda convertible para el turismo y otros clientes en el país, así como para la exportación.

Se requiere evaluar el empleo de la arcilla paligorskita del yacimiento cubano "Pontezuela" ubicado en el municipio Florida de la provincia de Camagüey, en la elaboración de los lechos de mascotas, aprovechando sus propiedades como absorbente natural. El antecedente de esta investigación está dado por la generación de fracciones finas por debajo de 0,6 mm, como consecuencia del procesamiento industrial del mineral arcilla natural paligorskita para tratar el turbocombustible de aviación JET A1 con un medio filtrante de dicha arcilla, con características especiales de alta calidad como son: más de 70% de paligorskita, fracción 90% en la malla 16/30 y una humedad menor de 8%, con vista a controlar el nivel de acidez y humedad requeridos por el combustible para su adecuado almacenamiento como reserva.

La demanda para las refinerías cubanas es de 100 t/año y las refinerías de Venezuela consumen 600 ton/año. La tecnología para obtener este medio filtrante presenta un 50% de rendimiento lo que significa disponer de más de 800 t/año aproximadamente de residuos sólidos finos, que requieren una respuesta de empleo en la industria, dadas las múltiples posibilidades de utilidad de las arcillas. El uso de estos finos en la producción de lechos de mascotas constituye una solución ambiental a la acumulación de dicho material, como una opción de producción más limpia al reciclar estos residuos y prevenir su impacto sobre el medio ambiente, lográndose el aprovechamiento económico de este recurso mineral.

Estos finos presentan una granulometría inferior a la requerida normalmente para ser empleada como lecho de mascotas, por tal motivo es necesaria la aglomeración del producto. En el proceso de aglomeración se emplea arcilla bentonita natrificada en diferentes proporciones, en las formulaciones también se utiliza zeolita natural tipo clinoptilolita del yacimiento cubano "Tasajeras" denominada ZOAD, obtenida de la molienda y trituración del mineral. Este material con una granulometría 100% bajo 1 mm, es un producto que aunque se emplea en alimentación animal y otros usos, quedan considerables excedentes de producción, por lo que su uso constituye una ventaja adicional, al aprovechar un material que no tenía posibilidades de empleo y del cual existen grandes cantidades en depósitos ó escombreras.

La zeolita como sólido poroso se caracteriza por su alta capacidad de adsorción reversible de vapores de amoniaco lo que permite su empleo como lecho para los animales. El procedimiento de obtención de los productos consiste en la combinación de diferentes materiales absorbentes como son zeolitas, bentonitas y paligorskitas para conformar una mezcla a determinadas granulometrías que garanticen un producto homogéneo para producir los aglomerados o pellets, los cuales son secados, caracterizados y embalados para

su uso posterior. El objetivo del presente trabajo radica en evitar la contaminación ambiental de las plantas procesadoras de minerales, a partir del empleo de sus residuos sólidos en la obtención de productos "lechos de mascotas", que cumplan los requisitos de empleo, tal que permita un uso racional de los recursos naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAS PRIMAS

Los materiales a estudiar en el presente trabajo lo componen:

1. Zeolita natural del yacimiento "Tasajeras" ubicado en la provincia de Villa Clara denominada ZOAD que constituye un excedente de producción en dicha Planta.
2. Paligorskita del yacimiento "Pontezuela" del municipio Florida en Camagüey obtenida como residuo en la investigación a escala ampliada del proceso de elaboración de un lecho filtrante de paligorskita para el tratamiento del turbocombustible de aviación JET A1.
3. Bentonita pulverizada del yacimiento "Managua" ubicado en la provincia de La Habana, que fue modificada a la forma sódica con una dosificación de un 4% de Na_2CO_3 para estudios anteriores, debidamente identificada y almacenada en sacos multicapas en la Planta Piloto del CIPIMM.
4. Producto lecho de mascotas fabricadas y comercializadas actualmente en Estados Unidos a base de arcilla natural, embalado en bolsas de papel con un peso de 4,54 kg.

MÉTODOS

Preparación de las muestras

Se tomó el peso inicial de cada muestra, se homogenizó y cuarteó por el método de los subconos y la cruceta hasta obtener una muestra representativa del total, a la cual se le realizaron los análisis y determinaciones correspondientes.

Caracterización mineralógica

La caracterización de las muestras se realiza con el objetivo de determinar la composición

cualitativa y realizar el análisis semicuantitativo de las mismas, mediante el empleo de la técnica de difracción de rayos-X.

Capacidad de absorción de agua por la norma Westinghouse

La capacidad de absorción de agua de un mineral, una vez sumergido en agua, se realizó según lo establece el procedimiento LAM 02-09 del Manual de Procedimientos del Laboratorio Aprovechamiento de Minerales del CIPIMM. El método para determinar la capacidad de retención de agua por la norma Westinghouse, se describe además en la norma francesa NFV 19 002: 1993.

Determinación de la densidad aparente

Es la relación peso de muestra entre el volumen que ocupa en un recipiente dado, expresada en g/L como se indica en la norma NC: 181-2002 (ONN 2002).

Análisis granulométrico

La distribución granulométrica de las muestras finas se realizaron por medio del equipo analizador de distribución de tamaño de partículas por dispersión láser de la firma HORIBA modelo LA-950V2 por vía húmeda. . El análisis granulométrico del producto comercial extranjero y de los productos lechos de mascotas obtenidos, se realizaron por vía seca en concordancia con el procedimiento LAM 02-02 del Manual de Procedimientos del Laboratorio Aprovechamiento de Minerales del CIPIMM. Las muestras se clasificaron por fracciones para determinar el porcentaje en peso en cada una con tamices malla metálica ASTM de aberturas 5,0 mm y 0,5 mm y tamizadora FILTRA modelo FTL-0200.

Determinación de humedad

Para la determinación del porcentaje de agua no estructural en materiales arcillosos se siguió el procedimiento establecido en el Manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio Aprovechamiento de Minerales del CIPIMM para trabajos con el equipo Analizador de Humedad Denver Instrument IR- 35 a 105 °C de temperatura hasta peso constante (CIPIMM, 2010).

Determinación de Ph

La técnica de determinación de pH para sólidos, es tradicionalmente conocida. En este caso se tomaron 10 g de mineral de cada muestra a ensayar y se añadieron a 100 ml de agua destilada en un vaso de laboratorio de 500 ml. Se agitó por medio de un agitador magnético durante 1 hora, se dejó reposar durante 10 minutos y se realizó la medición de pH potenciométricamente en el pHmetro digital pH METER P107 CONSORT, siguiendo el procedimiento descrito para la determinación del pH de un sólido del Manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio Aprovechamiento de Minerales del CIPIMM (CIPIMM, 2010)

Caracterización de los productos lechos de mascota obtenidos

A los productos cubanos elaborados se le determinaron propiedades físicas como: absorción de agua Westinghouse, pH, densidad aparente, humedad, y rendimiento en peso de la fracción útil obtenida durante la aglomeración de las mezclas. Las determinaciones antes mencionadas se le realizaron al producto extranjero patrón con el objetivo de establecer una comparación entre el producto cubano obtenido a partir de la formulación óptima y el extranjero. Otras pruebas adicionales se realizaron para evaluar de forma operativa ambos productos, estas

consistieron en estudios de aglutinación y de remoción de olores a nivel de laboratorio y pruebas de uso en mascotas.

Diseño de experimento

Se empleó un diseño de experimento para obtener la formulación que optimiza los valores de pH, absorción de agua Westinghouse y densidad aparente, pues estos son los principales parámetros que deben cumplir los lechos de mascota y constituyen las variables de respuesta analizadas. Para realizar el diseño experimental se utilizó el software Statgraphics Centurion XV. La clase de diseño seleccionada fue el de Mezcla tipo Simplex-Látice. Las variables experimentales estudiadas fueron dos (% de bentonita y % de paligorskita) los cuales deben sumar 80%. La zeolita que es el tercer componente es constante y se fija en un valor del 20%. El tipo de modelo especificado fue el lineal, con tres puntos replicados y se seleccionó la opción de aumentar el diseño para un total de 9 corridas experimentales. Los límites superiores e inferiores para cada uno de los componentes son los siguientes:

Componentes	Bajo	Alto	Unidades
Paligorskita	50,0	70,0	%
Bentonita	10,0	30,0	%
Total mezcla = 80,0 %			

La tabla que aparece a continuación muestra las diferentes variantes estudiadas:

Tabla I. Corridas experimentales.

No. de Corrida	Contenido de Paligorskita (%)	Contenido de Bentonita (%)
1	65,0	15,0
2	70,0	10,0
3	60,0	20,0
4	55,0	25,0
5	50,0	30,0
6	60,0	20,0
7	70,0	10,0
8	60,0	20,0
9	50,0	30,0

Descripción del proceso de aglomeración de los lechos de mascotas

Principales accesorios y equipos:

- Manta de nylon.
- Frasco para adición de agua.
- Cubos para recolectar los pellets.
- Palita para alimentar el sólido.
- Peletizador de disco (diámetro: 0,39 m y altura: 0,065 m) Fig. 1.
- Estufa para secado.

Las materias primas se mezclan en seco hasta obtener un producto totalmente homogéneo y se alimenta manualmente por medio de una palita al peletizador de disco, añadiendo simultáneamente agua. Los pellets formados se recolectan en un recipiente para luego ser secados en estufa a 105 °C hasta una humedad de 7-10%. El equipo opera con un ángulo de inclinación de 45° y velocidad de rotación de 30 rpm.



Figura 1. Peletizador de disco empleado en las pruebas

Rendimiento en peso de fracción útil

La fracción útil comprende el rango granulométrico desde 0,5 mm a 5,0 mm. Se tomó 1 kg de cada material luego de ser aglomerado y se pasó por los tamices de abertura 5,0 y 0,5 mm determinándose el porcentaje de fracción retenida en ambos tamices para cada producto.

Pruebas de aglutinación

Este procedimiento fue obtenido de la patente de Estados Unidos No. 6019063 Haubensack Otto and Werner Huber, Gimborn, Inc, Atlanta (Haubensack and Huber 2000). El procedimiento está diseñado para asignar un valor numérico a la resistencia del grumo formado por el producto lecho de mascota al ponerse en contacto con el líquido, tal que permita su fácil separación del resto de la arena. Los accesorios y reactivo requeridos aparecen a continuación:

Reactivo: Agua

Accesorios:

- a) Pala plástica.
- b) Cápsula de porcelana.
- c) Bureta de 100 ml con soporte y abrazadera.

Procedimiento:

- Llenar la cápsula con el material a ensayar.
- Colocar la cápsula debajo de la bureta con la punta de la bureta a 2 pulgadas de la superficie del material.
- Llenar la bureta con agua.
- Dejar fluir 30 ml de agua sobre el mineral.
- Permitir que los aglomerados o grumos formados por el agua permanezcan en reposo por 15 minutos.
- Remover el aglomerado o grumo con una pala e inspeccionarlo visualmente.
- Asignar un valor numérico (1, 2 ó 3) al aglomerado húmedo formado por el material empleando los siguientes criterios desde el punto visual.

1. Los aglomerados mantienen su forma durante la extracción y por al menos 24 horas, la cuchara con que se extrajo se mantiene limpia.
2. Los grumos pueden ser removidos sin romperse, pero las partículas caen durante la extracción y la cuchara generalmente permanece limpia.
3. Los grumos se rompen inmediatamente al tratar de levantarlos y la cuchara está sucia.

prueba consistió en depositar 50 g tanto del producto obtenido con la formulación óptima y del patrón en recipientes tipo placa petri, a los cuales se le adicionaron diferentes volúmenes de una solución de amoníaco al 1%: 10, 25 y 40 ml respectivamente, para un total de 6 muestras. Cada día durante una semana se determinó de forma cualitativa la intensidad del olor ambiental generado por cada muestra. En el experimento participaron 5 panelistas los que expresaron su criterio sobre la base de la escala siguiente:

Pruebas de remoción de olor

Este estudio se realiza para determinar la efectividad del producto en cuanto a la neutralización de olores indeseables. La

1	2	3
No se percibe olor a amoníaco	Ligero olor a amoníaco	Fuerte olor a amoníaco

En la definición del resultado se tuvo en cuenta el promedio de la valoración de todos los panelistas.

Pruebas de uso en mascotas

Con el propósito de realizar pruebas con animales se entregaron a varios usuarios porciones de 1 kg del lecho de mascota obtenido con las mejores características. Además se les entregó una planilla en la cual se recogen aspectos específicos a evaluar como: aceptación del lecho por parte de la mascota, eliminación efectiva de olores, absorción de secreciones líquida, desecación de las excretas, desintegración del producto,

limpieza del entorno, presencia de o no de efectos perjudiciales en las mascotas, etc.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Caracterización de los minerales

A los materiales empleados en las formulaciones de los lechos de mascota se les realizó una caracterización física, química y mineralógica cuyos resultados aparecen en la tabla II.

Tabla II. Caracterización de los materiales empleados en la obtención de los lechos.

CARACTERÍSTICAS	MATERIALES		
	Paligorskita Yacimiento "Pontezuela"	Bentonita natrificada Yacimiento "Managua"	Zeolita ZOAD Yacimiento "Tasajeras"
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%)			
Montmorillonita	17	80	1
Paligorskita	48	---	---
Calcita	---	5	2
Clinoptilolita- Heulandita	---	---	47
Mordenita	---	---	24
Cuarzo	35	15	10
Otros	---	---	16

PROPIEDADES DETERMINADAS			
Humedad (%)	12,65	13,50	6,3
Absorción de agua Westinghouse (%)	141,5	470,0	48,75
pH	8,72	9,98	8,63
Peso volumétrico (kg/m ³)	680	630,4	610,9
DISTRUBUCIÓN GRANULOMÉTRICA (%)			
- 1,0 mm + 0,7 mm	0,0	0,0	0,0
- 0,7 mm + 0,106 mm	51,9	25,92	34,96
- 0,106 mm + 0,074 mm	8,3	0,38	7,32
- 0,074 mm + 0,045 mm	14,51	0,41	12,99
- 0,045 mm	25,29	73,29	44,73
TOTAL	100	100	100

Los difractogramas de los minerales analizados muestran la composición típica de estos. El mineral de paligorskita analizado está compuesto por arcilla paligorskita como fase mayoritaria, montmorillonita y cuarzo. Se concluye de la misma manera que en el caso del mineral bentonita la fase mayoritaria es montmorillonita. En la zeolita como fases mayoritarias se tienen la clinoptilolita-heulandita y mordenita. Las fases que se encuentran en menor contenido son cuarzo y calcita como fases minoritarias. Desde el punto de vista mineralógico la muestra de paligorskita se corresponde con el tipo natural de mena III (contenido de paligorskita entre 30-50%) según la clasificación que propone (Alonso et al. 2013), la bentonita se comporta como mena Tipo I, en base a los contenidos de Montmorillonita y Beidelita (Tipo I > 80 %) (Montejo, Rivas et al. 2002) y la zeolita se corresponde con el Tipo I según NC 625: 2008 (ONN 2008) . El error relativo del análisis semicuantitativo es de $\pm 10\%$. De acuerdo a la distribución granulométrica de las muestras ninguna permite ser usada de forma directa como cama de mascotas pues presentan un porcentaje elevado por debajo de 0,5 mm que es el límite inferior de la especificación de calidad granulométrica (admite solo 2% por debajo de 0,5 mm), esta dificultad de elimina con el proceso de

aglomeración a partir del cual se obtienen gránulos con la granulometría requerida entre 5,0 mm y 0,5 mm. En la tabla anterior se aprecia además la alta capacidad de absorción de agua de la paligorskita y la bentonita, en el caso de la bentonita debido a que al estar modificada a la forma sódica mejora considerablemente este parámetro. La zeolita presenta una baja absorción de agua sin embargo es conocida por su buena capacidad de adsorción de vapores de amoníaco que le confiere su valiosa propiedad de adsorber olores.

Caracterización de los productos lechos de mascota obtenidos

Con el propósito de obtener un producto lecho de mascotas a partir de minerales residuales de la industria cubana que cumpla con los parámetros fundamentales que aparecen en la tabla III según la clasificación propuesta por Baltuille, 2005 se realizó un diseño de experimentos de mezcla en el que se realizaron 9 formulaciones con distintas proporciones de paligorskita y bentonita en las que además se utilizó zeolita en un 20, % para obtener 1 kg en base seca de cada formulación.

Tabla III. Características de los lechos absorbentes para animales de compañía. (Baltuille, 2005)

Tipo de producto	Absorción de agua (Método Westinghouse)	Granulometría (en el envasado)	Humedad (en el envasado)	pH	Densidad aparente (kg/m ³)
Standard	90 +/- 5%	Gránulos 0,5-6 mm. Mín. 98% Gránulos > 6 mm 0% Gránulos < 0,5 mm. Máx. 2%	Máx. 9%	7,9	715 +/- 5%
Calidad Superior	100 +/- 5%	Gránulos 0,5-6 mm. Mín. 99% Gránulos > 6 mm 0% Gránulos < 0,5 mm. Máx. 1%	Máx. 9%	7,5	600 +/- 5%

Los nueve productos elaborados se procesaron por el esquema representado en la figura 2. Una vez obtenidos se le determinaron parámetros de calidad como: Absorción de agua Westinghouse, rendimiento en peso de la

fracción útil, pH y densidad aparente, los cuales constituyen las variables de respuesta a analizar, cuyos resultados se muestran en la tabla 4.

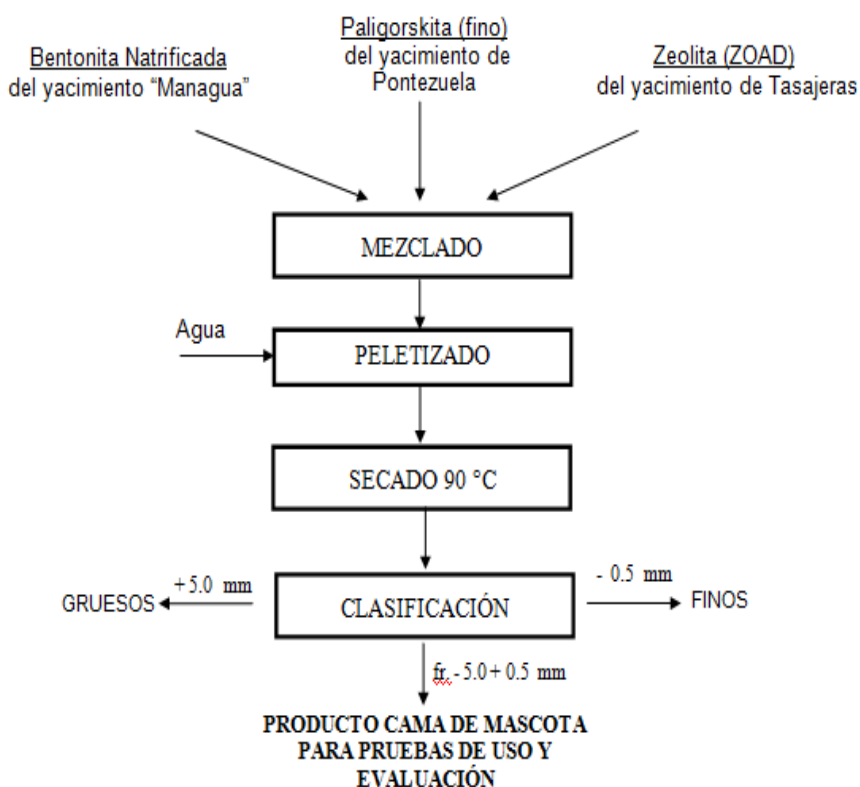


Figura 2. Esquema de preparación de muestras para la evaluación

Tabla IV. Características de los lechos de mascotas obtenidos.

Prueba	Cont. Paligorskita (%)	Cont. Bentonita (%)	Absorción de Agua Westinghouse (%)	pH	Rendimiento en peso fr. útil -5+0.5 mm (%) En el proceso de aglomeración	Densidad Aparente (kg/m ³)	Consumo de agua en la aglomeración (kg/t mezcla)
2	70	10	131.45	8,50	57,46	540,00	390,00
7	70	10	141.45	8,37	58,65	550,00	400,00
1	65	15	132.50	8,61	72,56	552,00	400,00
6	60	20	147.55	8,49	73,22	562,00	410,00
8	60	20	153.40	8,55	66,96	550,00	400,00
3	60	20	154.35	8,69	70,99	560,00	400,00
4	55	25	151.80	8,66	79,46	565,00	450,00
5	50	30	174.65	8,71	82,42	575,00	500,00
9	50	30	182.20	8,68	80,05	584,00	510,00

En la tabla anterior se observa cómo al aumentar la proporción de bentonita natrificada en la mezcla existe una tendencia al incremento de la absorción de agua Westinghouse, que es la propiedad más importante para este uso. El rendimiento en peso de la fracción útil obtenido durante el proceso de aglomeración de los productos, se incrementa con el aumento de la dosis de bentonita natrificada, lo que demuestra que esta arcilla tiene una importante participación tanto en la capacidad de absorción de agua Westinghouse como en la aglomeración de los finos. En la práctica este rendimiento es mejorado debido a que la fracción gruesa superior a los 5,0 mm es triturada y clasificada por los tamices correspondientes, igualmente la fracción fina por debajo de los 0,5 mm se aglomera nuevamente y se clasifica hasta que la totalidad del producto queda en la fracción útil establecida.

Al comparar los resultados obtenidos con la clasificación propuesta por (Baltuille, 2005)

tabla 3, se percibe que las mezclas cumplen con las características de un producto de calidad superior, excepto por el valor de pH. Este parámetro fluctúa entre 8,37 y 8,71 resultando más elevado, sin embargo estos valores de pH no resultan perjudiciales para la salud de los animales pues en estudios anteriores (Montejo, Rivas et al. 2002) demostró la inocuidad frente a gatos de un tipo de lecho con elevado valor de pH.

Procesamiento estadístico de los resultados

El análisis del diseño experimental muestra los modelos matemáticos, con los principales estadígrafos correspondientes, que relacionan las variables de respuesta estudiadas con las diferentes proporciones de los componentes en las mezclas. En la tabla V que aparece a continuación se resumen los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado para el modelo seleccionado en el diseño de experimento

Tabla V. Análisis de varianza de los modelos seleccionados

Variable respuesta	ANOVA				
	Modelo Seleccionado	Valor-P	R-cuadrada (ajustada por g.l.)	Error estándar del estimado	Falta de Ajuste Valor-P
pH	Lineal	0,0412	57,1338	0,0865	0,7434
Rend. en peso de fracción útil (%)	Lineal	0,0006	83,7734	2,4315	0,1145
Absorción de Agua Westinghouse (%)	Cuadrático	0,0023	84,2181	5,1386	0,1422
Densidad Aparente (kg/m ³)	Lineal	0.0022	89,4654	6,3966	0,8195

A partir del análisis de varianza de la tabla anterior se deduce que al ser el valor-P de los diferentes modelos seleccionados menor que 0,05, estos son los más útiles para predecir el comportamiento de las diferentes variables de respuesta, con un nivel de confianza del 95,0%. El R-Cuadrado ajustado indica en qué porcentaje el modelo explica la variabilidad en las variables de respuesta. La prueba de falta de ajuste, la cual se realiza para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para describir los datos observados, al arrojar un valor-P mayor que 0,05 indica que en todos los casos el modelo es el indicado para los datos observados al nivel de confianza del 95,0%.

La ecuación de los modelos estimados para los datos de cada variable respuesta es:

$$pH = 8,46*Paligorskita + 8,70*Bentonita$$

$$Rend. en peso fracción útil = 60,17*Paligorskita + 82,64*Bentonita$$

$$Densidad Aparente = 536,66*Paligorskita + 578,66*Bentonita$$

$$Abs. de Agua Westinghouse = 135,65*Paligorskita + 177,25*Bentonita - 34,45*Paligorskita*Bentonita$$

Optimización de múltiples respuestas

El diseño experimental de mezclas nos permite analizar globalmente al producto, considerando tres de las características evaluadas, con base en las diferentes corridas realizadas. No se tuvo en cuenta la densidad aparente pues en todos los tratamientos se obtuvo el valor deseado inferior a los 600 kg/m³. La preferencia global corresponde a la que proporciona una “función deseable” más alta. Este procedimiento ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimizan varias respuestas. Los hace maximizando la función de deseabilidad, que en el presente caso ha correspondido a la corrida 4 (mezcla 4) con 55% de paligorskita, 25% de bentonita y 20% de zeolita según puede apreciarse en la tabla VI.

Tabla VI. Resultados maximizados con tres variables respuestas.

Fila	pH	Abs. Agua Westinghouse	Rend Fracción Útil	Deseabilidad Prevista	Deseabilidad Observada
1	8,61	132,50	72,56	0,25887	0,127142
2	8,50	131,45	57,46	0,126935	0,000000
3	8,69	154,35	70,99	0,410948	0,361167
4	8,66	151,80	79,46	0,551252	0,482021
5	8,71	174,65	82,42	0,509432	0,000000
6	8,49	147,55	73,22	0,410948	0,466982
7	8,37	141,45	58,65	0,126935	0,133908
8	8,55	153,40	66,96	0,410948	0,410221
9	8,68	182,20	80,05	0,509432	0,670482

La combinación de componentes en la mezcla que alcanza la deseabilidad global óptima es la siguiente:

Optimizar Deseabilidad

Valor óptimo = 0,5933

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Paligorskita	50,0	70,0	52,03
Bentonita	10,0	30,0	27,96

Respuesta	Óptimo
pH	8,68
Abs. Agua Westinghouse	169,87
Rend Fracción Útil	80,12

Los resultados obtenidos muestran que la combinación de factores a la cual se alcanza el óptimo en las variables de respuesta es 52% de paligorskita y 28% de bentonita. Esta combinación de factores es bastante semejante a la prueba 5 del experimento con un 50% de paligorskita y 30% de bentonita, la

que para fines industriales resulta ser más práctica. Por tal motivo se determinó esta última como formulación óptima para la ejecución de las pruebas comparativas con el producto patrón lecho de mascotas.

Comparación entre el producto lecho de mascota obtenido y el comercializado en el mercado extranjero

Con el objetivo de evaluar y comparar el producto lecho de mascota obtenido con productos extranjeros que se emplean con esta finalidad, se adquirió una muestra de lecho para mascotas elaborado por una compañía estadounidense y que se comercializa en dicho mercado. A dicho producto se le realizaron los siguientes ensayos: análisis de difracción por rayos X para conocer la composición del material, análisis granulométrico, pH, humedad, densidad aparente y absorción de Agua Westinghouse. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla VII

Tabla VII. Resultados de la evaluación del producto extranjero para lecho de macotas

ENSAYOS	PRODUCTO EXTRANJERO
<i>DRX: Composición Mineralógica (%)</i>	
Cuarzo	44
Moscovita	23
Montmorillonita	12
Albita	8
Adularia	7
Caolinita	6

<i>Granulometría:</i>	
Gránulos 0.5-5 mm (%)	98,01
Gránulos > 5 mm (%)	0,00
Gránulos < 0.5 mm (%)	1,99
<i>pH</i>	7,90
<i>Humedad (%)</i>	5,46
<i>Densidad aparente (kg/m³)</i>	618,7
<i>Absorción de Agua Westinghouse (%)</i>	84,5

Atendiendo a los resultados de la difracción por rayos X el producto está compuesto por un 41 % de materia arcillosa (moscovita, montmorillonita y caolinita), como fase mayoritaria se encuentra el cuarzo y en menor medida albita y adularia. Tanto la moscovita como la caolinita son minerales absorbentes no aglomerantes.

El análisis de los resultados respecto a las especificaciones de productos absorbentes para animales de compañía (Baltuille, 2005) tabla 3, demuestran que la muestra adquirida, de acuerdo a los parámetros de absorción de agua Westinghouse, granulometría, humedad y pH se comporta como un producto de calidad standard. El valor de densidad aparente se corresponde con un lecho de calidad superior. Esta muestra al ponerse en contacto con el agua emitía una fragancia tenue, por lo que al

parecer es impregnada con algún tipo de producto perfumado para ejercer un mayor efecto desodorizante y neutralizar los olores. Pruebas adicionales se realizaron para evaluar de forma operativa ambos productos, estas consistieron en estudios de aglutinación, pruebas de remoción de olores a nivel de laboratorio y pruebas de uso en mascotas cuyos resultados se muestran a continuación.

Pruebas de aglutinación

El estudio consistió en agregar agua a ambos productos para luego retirar el grumo formado y evaluar la resistencia del mismo durante su extracción.

Los resultados obtenidos son los siguientes:



Fig. 3a

Fig. 3b

Figura 3. Imagen de las pruebas de aglutinación. Fig (3a) producto patrón y Fig (3b) producto lecho de mascota obtenido

Producto patrón: el grumo formado por el agua añadida y el material, durante la extracción se rompió parcialmente y algunas partículas cayeron con la manipulación, tal como se observa en la Fig. 3a, la cuchara permaneció sucia por lo que se le asignó calificación de 3

(entre 3 y 2). Una vez extraído, al cabo de las 24 horas, al intentar levantarlo se desintegró totalmente.

Producto lecho de mascota obtenido: el grumo formado por el agua añadida y el material,

durante la extracción se mantuvo intacto, tal como se observa en la Fig. 3b, la cuchara permaneció limpia por lo que se le asignó calificación de 1. A las 24 horas el grumo aún mantenía su forma y adquirió mayor dureza al tacto.

Los resultados obtenidos confirman lo esperado, pues en el envase del producto patrón declaraba el carácter no aglomerante del mismo, debido a su composición mineralógica. El nuevo lecho de mascota obtenido en la investigación, al poseer bentonita natrificada en su formulación, lo convierte en un producto aglomerante. Esta característica lo hace más valioso desde el

punto de vista económico ya que permite retirar los grumos formados por las excretas líquidas de las mascotas manteniendo el resto del producto intacto, evitando que se deseche totalmente como ocurre con los lechos no aglomerantes, extendiendo su uso por más tiempo.

Pruebas de remoción de olor

Los resultados de las pruebas realizadas a ambos productos para evaluar el poder desodorizante frente a una solución del hidróxido de amonio al 1% fueron los siguientes:

Tabla VIII. Promedio de la valoración de la remoción de olor de los lechos de mascota.

Días	Producto patrón			Producto obtenido		
	10 ml	25 ml	40 ml	10 ml	25 ml	40 ml
1	2	3	3	1	2	2
2	2	2	2	1	1	1
3	1	1	2	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1

Durante los días de evaluación cinco jueves emitieron sus criterios en cuanto al poder desodorizante de las muestras, colocándose en la tabla 9 el promedio de las valoraciones. Se colocaron tres recipientes con capacidad para 50 g de muestra de ambos lechos y se vertieron diferentes dosis de la solución de amoníaco. Los resultados obtenidos muestran la superioridad del producto elaborado a partir de minerales cubanos en comparación con el producto patrón. Al segundo día de prueba la totalidad de las muestras del lecho obtenido a partir de la presente investigación, había removido totalmente el olor, en cambio el patrón aún mantenía un ligero olor a

amoníaco. Además se observa que cuanto mayor es la cantidad de líquido adicionado más tarda en eliminar el olor.

Al finalizar el ensayo se observó que el producto obtenido a partir de minerales cubanos, estaba perfectamente seco mientras que el lecho patrón al que se le adicionaron 25 ml y 40 ml aún permanecía húmedo. Esto demuestra por tanto que el producto obtenido posee mayor capacidad de absorción de líquidos que el producto patrón, manifestando así su superioridad. En la figura 4 se evidencia el planteamiento anterior.

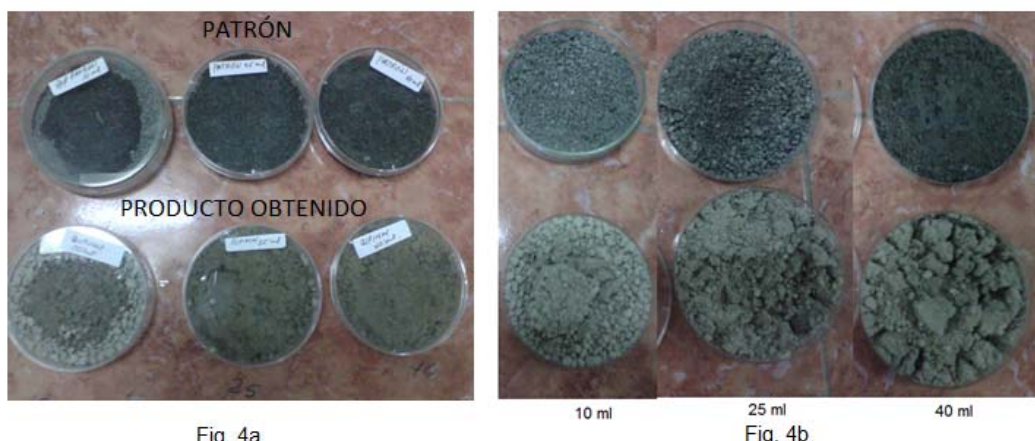


Figura 4. Imagen de las pruebas de remoción de olor. Fig. (4a) al inicio del ensayo y Fig. (4b) al final del período evaluado.

En la imagen de la fig. 4a se muestra la coloración que tenían las muestras en el momento de adición de la solución de hidróxido de amonio y en la fig. 4b, al concluir el estudio, se observan las tres muestras del producto obtenido completamente secas, en tanto el producto patrón permanecía parcialmente húmedo con 25 ml de solución y completamente húmedo con la adición de 40 ml. En esta última condición ya las partículas están completamente saturadas de líquido por lo que se considera que el producto ya no puede ser utilizado. La absorción de agua Westinghouse del lecho patrón es 84,5 % por

lo que teóricamente se usó en la absorción de los 40 ml de solución, 47,33 g del material para un 94,6 % de rendimiento en uso (se emplearon en el ensayo 50 g de producto). Mientras que la absorción de agua Westinghouse del nuevo producto obtenido corresponde a 185 % por lo que sólo se han usado 21,6 g para un 43,24 % de su capacidad lo que permite que se pueda seguir utilizando, al permanecer seco y sin olor.

En la tabla IX que aparece a continuación se resume la comparación efectuada entre el producto extranjero y el obtenido en la investigación.

Tabla IX. Comparación de resultados entre el producto patrón extranjero y el obtenido.

ENSAYOS	Producto Patrón	Producto obtenido
<i>Granulometría:</i>		
Gránulos 0,5-5 mm (%)	98,01	98,00
Gránulos > 5 mm (%)	0,00	0,00
Gránulos < 0,5 mm (%)	1,99	2,00
<i>pH</i>	7,9	8,60
<i>Humedad (%)</i>	5,46	9,21
<i>Densidad aparente (kg/m³)</i>	618,7	598,5
<i>Absorción de Agua Westinghouse (%)</i>	84,5	185,01
<i>Aglutinación</i>	3	1
<i>Remoción de olor (al segundo día de evaluación)</i>	2	1

Del análisis comparativo se observa que en cuanto a la granulometría ambos lechos son

muy similares. En el caso del pH existe una diferencia de 0,7 unidades entre los dos

materiales, sin embargo esto no limita el uso del nuevo producto como cama de mascotas pues se conoce que muchas arenas sanitarias a base de bentonita, presentan un valor de pH semejante y son empleadas con este fin. Con respecto al valor de la densidad aparente vemos que ambos se ubican en la clasificación de los lechos ligeros, entre 400 y 700 kg/m³. Esta característica es importante pues influye en el aspecto económico al considerar que los lechos se venden por peso, pero se utilizan en volumen.

El parámetro absorción de agua Westinghouse sí presenta una diferencia significativa entre los productos, el nuevo lecho desarrollado es superior al producto extranjero en un 100%. Esta diferencia indica que el producto desarrollado posee una mayor capacidad de absorción de líquidos (orina) y de disminución de la humedad. Cuánto más absorbentes son los lechos, menos es su consumo y tienen mejor rendimiento.

Los resultados de las pruebas de aglutinación muestran que el producto desarrollado puede incluirse en el grupo de los lechos aglomerantes, esta característica hace que tengan un mayor rendimiento y un alto grado de higiene. Los pellets actúan absorbiendo las deposiciones del animal y aglomerándose formando terrones sólidos y compactos. De esta manera elimina rápidamente los líquidos y olores sin formar barros ni acumularse en la parte inferior de la bandeja. Esto permite un inmediato control de olores y hongos. Protege la salud de los animales y de las personas.

El producto patrón se incluye en la clasificación de lechos tradicionales al no formar aglomerados estables con las deposiciones de los animales, lo que impide su fácil extracción. Esto limita sus capacidades de absorción y de supresión del mal olor.

El nuevo producto muestra resultados positivos para su empleo en cama de mascotas, tiene un comportamiento superior respecto al producto comercializado en el extranjero, destinado para este fin.

Pruebas de uso en mascotas

Con vista a corroborar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados a nivel de laboratorio, se entregaron porciones de un kg de lecho de mascota a varios usuarios, elaborado a partir de la formulación óptima. Además se entregó a uno de los usuarios un kg del producto patrón para pruebas comparativas.

En las pruebas de uso se recogen que las mascotas, específicamente gatos, tienen una buena aceptación del producto, el mismo elimina con efectividad los olores. Presenta un alto poder absorbente de líquidos y deseca las heces, no ensucia significativamente los pisos y llega a durar hasta más de quince días eliminando con efectividad los olores. El material se aglomera y es fácil su extracción. Parte del producto se desintegra por la acción del gato al tapar las excretas sólidas, lo que puede provocar la presencia de finos, que con el orine se compactan y extraen. Cuando el lecho se satura puede exponerse a los rayos solares lo que permite su reactivación y prolongar el uso. Los resultados muestran además que el consumo tiende a ser de 1 kg/gato adulto, pues cuando lo utilizan dos gatos requiere un reemplazo mayor. No se observaron reacciones de toxicidad en ninguna de las mascotas.

Estos resultados indican que el valor del pH no parece ser un factor importante en la aceptación del producto por la mascota. En el caso específico de la bentonita se han realizado pruebas en laboratorios especializados, que han concluido que no es tóxica ni irritante para humanos y que puede por tanto tener uso farmacológico. Como ventaja adicional es que los materiales empleados no son tóxicos y se emplean como aditivos en alimentación animal, por lo que son inocuos en caso de ingestión por los hábitos de aseo de los gatos (lamerse).

En el Anexo 1 se muestran imágenes de una mascota (gato) haciendo uso del nuevo producto obtenido, donde se observan los aglomerados formados por el mineral y las

excretas líquidas las que pueden ser retiradas del resto del material sin dificultad.

El producto patrón tuvo buena aceptación por la mascota, demostró eliminar olores y absorber los líquidos secretados por la gata durante diez días. Este lecho en comparación con el otro producto evaluado, demora más en desecar las heces y su capacidad de absorber líquidos es inferior. Requirió someterlo al sol para eliminar humedad y al volverse a usar la aceptación del olor fue poca.

Propuesta para la disposición final del producto agotado

El lecho de mascota al concluir su función de absorción de líquidos (orina) y remoción de olores indeseables, no constituye un contaminante para el medio ambiente, sino que permite ser usado como sustrato para las plantas ornamentales.

La orina, como fertilizante, contiene nutrientes útiles para las plantas como grandes cantidades de nitrógeno en forma de urea, que se convierte rápidamente en amoníaco, y una pequeña cantidad en forma de ácido úrico. También contiene potasio además de otros nutrientes necesarios en menor cantidad como el magnesio y el calcio, todos ellos de asimilación rápida. Aunque al poco tiempo de ser expulsada la orina huele muy fuerte a amoníaco, al utilizarla como abono en dosis adecuadas no debería oler. Las plantas y los microorganismos lo deben absorber.

Los minerales empleados en la formulación del lecho de mascota, por sus propiedades de absorción/desorción, retienen en su estructura los nutrientes que aporta la orina. Del mismo modo son liberados de forma controlada y adsorbidos por las plantas lo que contribuye positivamente en su desarrollo.

CONCLUSIONES

1. La formulación mineral para lecho de mascota, con mejores propiedades, resultó la compuesta por 50% de paligorskita, 30% de bentonita natrificada y 20% de zeolita.

2. Es posible el empleo de los residuos sólidos de plantas de procesamiento de minerales cubanos, en la obtención de lecho de mascotas, con calidades superiores a productos extranjeros.
3. Las pruebas de usos realizadas señalan que no existen rechazos por las mascotas (gatos) al empleo del producto a pesar de incumplir en el pH, que es superior a las exigencias.
4. El nuevo producto demostró que es inocuo para los animales, tiene una buena capacidad de remoción de olores, manteniendo sus propiedades hasta más de quince días.
5. La posibilidad de reciclar los finos residuales de paligorskita para la obtención de nuevos productos, permite evitar el impacto sobre el medio ambiente; así como el aprovechamiento óptimo de los recursos minerales.
6. El lecho de mascota al saturarse no constituye un residuo sólido contaminante para el medio ambiente sino que se convierte en un sustrato de liberación controlada de nutrientes y como mejorador del suelo

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, José. A y Otros. (2013) Caracterización de menas paligorskíticas del yacimiento Pontezuela. II Taller de Técnicas Analíticas de las Geociencias. Instituto Politécnico del Petróleo. La Habana. Cuba.
- Alvarez, B. A., M. E. Arias, et al. (2005). Composition which is absorbent and inhibitive of the formation of bad smells in animal litter, method for the preparation thereof and use in hygienic litter for cats, Google Patents.
- Alvarez Berenguer A., Duch Martínez I., Cámara Gandarillas M.A. (2000) Nueva cama absorbente a base de sepiolita para animales y procedimiento para su preparación., in: TOLSA. S.A (Ed.), España. pp. 14.
- Baltuille J., J. Rivas, J. Vega, J. Zapardiel, C. Marchán. (2005) Inventario Nacional de Arcillas Especiales (Paligorskita/Attapulgita, Sepiolita, Bentonita). Instituto Geológico y Minero de España. Recursos Minerales N°3.
- Biagi S. (2001) A granular absorbent material for pet litters, Google Patents.

- Bradanovic T.P. (2007) Arcillas y bentonitas, Soc. Com. Hermes Ltda, Arica. pp. 10.
- Cabaleiro, Y. Metodología para la caracterización física de minerales arcillosos. Geociencias 2013: V Simposio Minería y Metalurgia (MINIMETAL). ISSN-2307-499X; pp 523-535. La Habana.
- “Características de los lechos absorbentes”. Disponible en Web: <http://www.zoopasion.com/consejos/cuidados/cuida1.htm> [30 de enero de 2015.]
- Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIMM. 2010 "Procedimiento para la determinación del % de Humedad". Manual de procedimientos técnicos. Laboratorio de Aprovechamiento de Minerales: Departamento de Investigaciones Tecnológicas.
- Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIMM. 2010 "Procedimiento para la determinación del pH de un sólido". Manual de procedimientos técnicos. Laboratorio de Aprovechamiento de Minerales: Departamento de Investigaciones Tecnológicas.
- Dokter, W. H., W. T. Hulshof, et al. (2006). Precipitated silica particles for cat litter, Google Patents.
- Elazier-Davis, C., G. W. Beall, et al. (1995). Method of agglomerating a smectite clay litter, Google Patents.
- Franc M., Caretti P. (2008) Agglomerating absorbent mass, Google Patents.
- García, E., M. Suárez. “Las arcillas: propiedades y usos”. Disponible en Web: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm>. [30 de enero de 2015.]
- Haubensak O., Huber W. (2000) Mixture of hormite clay, sodium esmectite and alkali metal compound, Google Patents.
- Hughes J. (1991) Deodorizing animal wastes, agglomeration, Google Patents.
- Martín P., J.M, López-Cozar N. (1987) Prospección de arcillas especiales e investigación de su potencial económico en el sector noroeste de la depresión del Duero (Valladolid-Palencia-Aranda de Duero-Cuéllar), Conv. Coop. Univ. Salamanca y Consej., Junta de Castilla y León, Salamanca, España. pp. 133.
- Montejo E., Rivas M., Frómata M., Estrada J. (2002) Estudio de la producción de cama de mascota a partir de bentonitas del yacimiento “Managua”, CIPIMM, Ciudad de La Habana.
- Moreno C., Fernández R., Fernández A., Díaz L. (2005) Implementación de las tecnologías para Producciones Más Limpias, in: <http://www.monografias.com/trabajos87/>, Pinar del Río. [2 de marzo de 2015.]
- Murray H.H., Zhou H. (2006) Palygorskite and sepiolite (hormites). Industrial Minerals and Rocks, 7th Edition, Jessica Elzea, Kogel, Nikhil Trivedi, James N. Backer Stanley T. Krukowski:401-406.
- ONN (2002). Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo. NC: 181-2002 Cuba.
- ONN (2008). Zeolitas Naturales-Requisitos. NC 625: 2008. Ciudad de La Habana.
- Otto, H. and H. Werner (2000). Litter product and process for its manufacture, Google Patents.
- Pérez, O. (2013). Zeolitas naturales en el mejoramiento ambiental del zoológico de Santa Clara. V Congreso Cubano de Minería. VI Taller de zeolitas naturales, usos y aplicaciones., La Habana, Cuba, Memorias en CD-Rom.
- Rasner K., Eitan N., Gilo Z. (2008) Non-clumping animal litter granules, Google Patents.
- Romero J., Rodríguez T., Otros y. (1988) Estudio de las características de las zeolitas naturales del yacimiento “Piojillo - Tasajeras”, para su uso como lecho de animales domésticos., IT No 77. CIPIMM.
- Trumbull, R. (2013). Aplicaciones comunes de las zeolitas. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS 2013, La Habana, Memorias en CD-Rom.
- Villalba T. (2014) Características de los lechos para gatos, Disponible en Web: <http://www.infomascota.info/2014/04/21/caracteristicas-de-los-lechos-para-gatos/>. [2 de marzo de 2015.]
- Wimmer W. (2005) “2nd Ecodesign Workshop”, La Habana.

Anexos

Anexo 1. Imágenes de un gato utilizando el lecho de mascota obtenido en la investigación.

