

MODELO ESTADÍSTICO QUE PERMITE INFERIR CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN «COMPOST» PRODUCIDO A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS

CARMEN CAROLLA¹, REBECA SÁNCHEZ² Y EDIE MONTIEL³

¹ Universidad Central de Venezuela. Facultad de Medicina. e-mail: vicarolla@gmail.com , carollac@ucv.ve

² Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. e-mail: rebcaucv@gmail.com

³ Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. e-mail: emontiel69@cantv.net

Recibido: mayo de 2006

Recibido en forma final revisado: junio de 2007

RESUMEN

Entre los problemas que debe afrontar y resolver satisfactoriamente la Universidad Central de Venezuela se encuentra el asociado al manejo de los desechos sólidos que allí se generan. En el Comedor Universitario como consecuencia de sus actividades diarias se estimó una producción de desechos en el orden de 0,8 ton/día sólo en el área de la cocina del mismo. El manejo inadecuado de los desechos puede ocasionar la aparición de condiciones sanitarias inaceptables que conducen al deterioro del sitio de almacenamiento temporal. Entre las opciones universalmente aceptadas para minimizar estas condiciones, se encuentra la separación de aquellos de naturaleza orgánica para la preparación de abono («Compost»). El objetivo general del estudio fue elaborar un modelo de superficie de respuesta que permitiera estimar condiciones en la producción de abono orgánico cuyo aporte de potasio fuera reproducible. En la producción de abono orgánico se utilizaron los desechos sólidos generados en el área de la cocina del Comedor Universitario de la Universidad Central de Venezuela en la Ciudad Universitaria de Caracas. La experiencia se planteó aplicando el diseño factorial fraccionado de Box-Behnken, utilizando los factores identificados y rangos de variación obtenidos en ensayos preliminares los cuales fueron: cantidades agregadas de desechos (D), aserrín (C) y humedad agregada (A), así como el periodo de aireación (B). La respuesta seleccionada como indicador de aporte de nutriente fue el potasio. Ello permitió preparar una muestra de 29 abonos diferentes, donde se combinaron los factores considerados de acuerdo al diseño mencionado. El modelo de superficie consistió en la obtención de una función matemática que es de la forma: $y = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \beta_{ij} X_i X_j + \beta_i X_{ii} + \epsilon_{ij}$, $\leftrightarrow i = 1,2,3,4$ $J = 1,2,3$ donde y corresponde a la respuesta analizada, X_{ij} corresponde al factor i nivel j , finalmente ϵ_{ij} es el error aleatorio correspondiente a estas variables. Se obtuvo la ecuación correspondiente al modelo de superficie para la respuesta analizada (cantidad de potasio, y_4) y se agrupan de la siguiente manera: $y_4 = 27,16 + 1,40A - 1,43B - 12,80C + 12,56D - 0,51AB - 3,36AC - 4,92AD + 3,63BC - 1,70BD - 5,47CD$. Con la ecuación obtenida se optimiza hasta obtener el punto máximo. Esto último se logra empleando un método interactivo utilizando un software específico. Finalmente se logró diseñar un modelo que permite establecer las condiciones de mezcla inicial para preparar abono orgánico cuyo aporte de potasio se repite.

Palabras clave: abono, diseño estadístico, respuestas, factores, superficie de respuesta.

STATISTICAL MODEL TO INFER POTASSIUM CONCENTRATIONS IN COMPOST PRODUCED BY ORGANIC WASTE

ABSTRACT

Among the problems that must be satisfactorily faced and solved by the Universidad Central de Venezuela concerns the handling of solid waste produced by the University itself. The University Dining Hall, to take one extreme example, produces as much as 0.8 tons of solid waste a day. The inadequate handling of solid waste can give rise to unacceptable sanitary conditions that entail the deterioration of the temporary storage site. Among the options universally accepted to avoid this is the separation of organic solid waste to prepare compost. The general objective of this work was to set up a model that would allow us estimate conditions in the production of compost whose potassium contribution is reproducible. The solid waste generated in the kitchen of the University Dining Hall of the Universidad Central de Venezuela was used

to make compost. The experiment consisted of the Box-Behnken fractionated factorial design using the factors identified and ranks of variation obtained in preliminary tests which were: solid waste (D), sawdust (C) and added humidity (A), as well as the period of aeration (B). The selected answer as an indicator of nutrient contribution was potassium. We thus prepared 29 different mixes of solid waste, where the factors considered according to the mentioned design were combined. The surface model consisted of obtaining a mathematical function of the form: $y = \beta_0 + \beta_i X_{ij} + \beta_{ij} X_i X_j + \beta_{1i} X_{1i} + \epsilon_{ij}$, $\forall i = 1,2,3,4$ $J = 1,2,3$ where y corresponds to the analyzed answer, X_{ij} is the factor i level j , finally ϵ_{ij} the random error corresponding to these variables. The equation corresponding to the model of surface for the analyzed answer (amount of potassium, y_4) was obtained, grouped as follows: $y_4 = 27,16 + 1,40A - 1,43B - 12,80C + 12,56D - 0,51AB - 3,36AC - 4,92AD + 3,63BC - 1,70BD - 5,47CD$. This equation is optimized until obtaining the maximum point. This is obtained using an interactive method with specific software. Finally, a model was designed that allows us to establish the conditions of initial mixture to prepare compost whose potassium contribution is repeated.

Keywords: compost, statistical design, answers, factors, surface answer.

INTRODUCCIÓN

Es un hecho cada vez más claro a nivel mundial, la implementación de sistemas para la recolección y segregación de fracciones de la basura reciclables o compostables. Existe la conciencia de que los residuos deben ser considerados más como un recurso, y su manejo debe ser ambientalmente efectivo, económicamente posible y socialmente aceptable. Si esto se logra, entonces se contribuiría al desarrollo sustentable de la sociedad (Mc Dougall *et al.* 2004).

Diversos países desarrollados reciclan vidrio, papel, plástico, metales y además emplean parte de los desechos (la fracción orgánica) para elaborar compost, de esta manera disminuyen considerablemente, en la mayoría de los casos, la cantidad de desechos a disponer en los rellenos sanitarios.

En Venezuela se recicla parte del vidrio, papel y metal que se produce. En algunas universidades venezolanas existen experiencias relacionadas con el reciclaje de desechos orgánicos para elaborar abono. Un ejemplo de esto se presenta en la Universidad de Los Andes, así como en la Universidad Simón Bolívar. También el reciclaje de los desechos orgánicos para elaborar abono, lo realizan algunas personas y empresas de forma particular, sin embargo, esta actividad no progresa debido a que la legislación nacional no incorpora la sistematización y constancia para efectuar la recolección en el origen de los desechos orgánicos para la elaboración del mismo.

Cabe destacar que la reciente Ley de Residuos y Desechos Sólidos (2004), establece que la materia orgánica puede ser reciclada para elaborar abono. No obstante, los criterios para definir la calidad del abono que se pueda elaborar a nivel nacional, no están establecidos en dicha ley. Los mismos pudieran ser definidos, para indicar los requisitos que debe cumplir el abono orgánico y de esta manera facilitar su utilización y posible comercialización.

Resulta oportuno indicar que el compostaje representa una alternativa agroambiental valiosa para resolver problemas de contaminación del entorno causados por la acumulación de desechos. A la vez permite producir abonos orgánicos denominados composts ricos en compuestos húmicos que una vez incorporados al suelo benefician sus características físicas, químicas y biológicas (Madrid *et al.* 2000). Estas características favorecen las condiciones para el desarrollo de los cultivos. Sin embargo no se tiene una metodología estandarizada que permita elaborar abono, a partir de la fracción orgánica de los desechos sólidos, con calidad nutricional reproducible para su utilización. Esta metodología no se dispone al menos en el país.

En este sentido pudiera resultar útil desarrollar una herramienta que permita operacionalizar de una manera sencilla, la elaboración de abono a partir de los desechos orgánicos, separados en el origen, que se generan en el Comedor Universitario de la Universidad Central de Venezuela. La elaboración de abono orgánico en el seno de la institución contribuiría entre otros a la disminución de los desechos a manejar para su disposición.

En el proceso de compostaje la fracción orgánica biodegradable de los desechos corresponde al sustrato, el cual es la fuente de los nutrientes. Es importante que el producto final -el abono orgánico- contenga los macro y micronutrientes bajo la forma química, y cantidad adecuada. La cantidad de macronutrientes deben estar presentes en su forma química más simple en ambiente de humedad adecuada, para que sean aprovechados por los microorganismos y las plantas para su óptimo crecimiento. Por esto, la importancia de que sea reproducible el aporte de nutrientes en el producto elaborado. Sin embargo, los parámetros que pueden permitir la determinación de la calidad nutricional del abono orgánico no se han establecido de manera cuantitativa a nivel nacional.

Todo lo anteriormente expuesto conduce a proponer una metodología que permita determinar la combinación apropiada de los factores (mezcla inicial), es decir, que lleve a la obtención de abono orgánico cuyo aporte de nutrientes sea reproducible. Esta metodología consiste en la utilización del diseño multifactorial, herramienta estadística, que permite determinar la influencia que pueden tener los factores (variables independientes) sobre las respuestas, llamadas variables dependientes. Esta metodología lleva a la obtención de una superficie de respuesta. Los factores escogidos fueron los siguientes: cantidad de desechos, de aserrín, de humedad agregada y el periodo de aireación y la respuesta se relacionó con el aporte de nutrientes (cantidad de potasio) del abono orgánico obtenido.

En muchos casos la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes es desconocida. Por tanto, el primer paso es encontrar una aproximación adecuada para la verdadera relación entre Y y las variables independientes.

La Metodología de Superficie de Respuesta contiene o envuelve estrategias experimentales, métodos matemáticos e inferencias estadísticas, las cuales al ser adecuadamente combinadas, capacitan al investigador para realizar una eficiente exploración empírica del sistema bajo estudio (Chacín, 2000).

Una modalidad del diseño experimental para generar superficies de respuestas, se conoce como diseño de Box-Behnken (Khuri y Conell, 1966). El cual es un factorial con k factores a tres niveles (3^k) incompletos. El desarrollo de este modelo esta basado en la combinación de un experimento 2^k sobre un modelo en bloques incompletos de una manera apropiada. El mismo se utilizó para diseñar el experimento que se llevó a cabo en la presente investigación.

El método mencionado, se describe a continuación: Si se tienen cuatro factores a considerar entonces se puede crear un diseño en bloques incompletos balanceados de 4 factores, obteniéndose seis bloques ($C_4^2 = 6$) al combinar

los tratamientos. A cada combinación se le denomina bloque incompleto y el conjunto se denomina Diseño Factorial de Bloques Incompletos (DFBI). En este caso se obtendrán seis bloques. Si los dos tratamientos por bloques se identifican con la letra X, el diseño experimental quedaría tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Diseño en bloques incompletos balanceados de cuatro factores.

Bloques \ Factores	X_1	X_2	X_3	X_4
1	X	X		
2			X	X
3	X			X
4		X	X	
5		X		X
6	X		X	

Ahora se combinará el precedente DFBI con un diseño factorial ($2^k = 2^2 = 4$) que se coloca en la tabla 2, para cada uno de los bloques.

Tabla 2. Diseño factorial 2^2 .

X_i	X_j
-1	-1
1	-1
-1	1
1	1

Esta combinación se hace de la siguiente manera: cada fila o bloque identificado con la letra X se reemplaza con la matriz de diseño colocado anteriormente (tabla 2). Se agregan ceros cuando no exista X en las casillas de los diferentes bloques.

Tabla 3. Diseño factorial de Box-Behnken para cuatro factores a tres niveles.

Nº	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0
3	-1	1	0	0
4	1	1	0	0
5	0	0	-1	-1
6	0	0	1	-1
7	0	0	-1	1
8	0	0	1	1
9	0	0	0	0
10	-1	0	0	-1
11	1	0	0	-1
12	-1	0	0	1
13	1	0	0	1
14	0	-1	-1	0
15	0	1	-1	0
16	0	-1	1	0
17	0	1	1	0
18	0	0	0	0
19	0	-1	0	-1
20	0	1	0	-1
21	0	-1	0	1
22	0	1	0	1
23	-1	0	-1	0
24	1	0	-1	0
25	-1	0	1	0
26	1	0	1	0
27	0	0	0	0

En el diseño se incrementa el número de tratamientos, debido a la adición de puntos centrales (0,0,0), que corresponden al nivel cero o central. El diseño de tres niveles (-1, 0, 1) resultante de Box-Behnken para cuatro factores, consiste de 27 puntos producto de esta superposición quedando la matriz como se indica en la tabla 3.

A esta representación se le denomina matriz de diseño del experimento. Los niveles indicados (-1, 0, 1) están codificados, ya que cada valor representa a un nivel particular del factor considerado el más bajo (-1), el más alto (1) y el central (0).

En el desarrollo de la presente investigación se codifican los niveles de los factores para facilitar el manejo de las funciones matemáticas; sin embargo para obtener los valores originales se pueden descodificar posteriormente. Esta codificación se indica en la tabla 4.

En este sentido, se confeccionó un modelo de diseño multifactorial que permite estimar la combinación inicial apropiada de los factores escogidos, para obtener abono orgánico cuyo aporte del nutriente sea óptimo. La combinación inicial apropiada de los factores escogidos se les denomina mezcla inicial y el aporte de nutrientes del abono orgánico producido se relaciona con la determinación de la cantidad de potasio. El factor D -los desechos orgánicos- que se utilizaron fueron los generados en el área de la cocina del Comedor Universitario de la Universidad Central de Venezuela.

Tabla 4. Codificación de los factores.

FACTOR CONSIDERADO	CODIFICACIÓN
$X_1 = A =$ Humedad (Tazas)	-1 = 0 0 = 1 1 = 2
$X_2 = B =$ Aireación (Días)	-1 = 2 0 = 5 1 = 8
$X_3 = C =$ Aserrín (Kg)	-1 = 0,5 0 = 1,0 1 = 1,5
$X_4 = D =$ Desechos (Kg)	-1 = 1,0 0 = 2,0 1 = 3,0

El modelo de diseño multifactorial lleva a la obtención de la ecuación matemática que describe una superficie de

respuesta. La misma relaciona el aporte de nutriente del abono en función de las condiciones de mezcla inicial. Asimismo, permite seleccionar la mezcla inicial adecuada para lograr un producto cuyo aporte de nutriente sea reproducible. La herramienta obtenida permite lograr un producto con características que se repiten de un abono orgánico a otro. Aunque se debe manifestar que no se puede asegurar si dichas características son suficientes para satisfacer los requerimientos nutricionales de los diferentes cultivos o plantas.

Los resultados aquí mostrados constituyen uno de los hallazgos del Trabajo de Grado de Maestría, enmarcado en la línea de investigación sobre Tecnologías para el Tratamiento de Residuos, que adelanta el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UCV. En virtud de lo cual se estableció como objetivo general del estudio, diseñar un modelo estadístico que permita seleccionar y optimizar las condiciones para inferir la cantidad de potasio en la producción de abono orgánico a partir de los desechos sólidos generados en el Comedor Universitario de la UCV.

METODOLOGÍA

La propuesta metodológica para alcanzar los objetivos planteados se basa en el análisis sistemático de los factores que influyen en la obtención del abono orgánico y/o describen su aporte de nutriente, lo que permite enmarcarla en el contexto de la investigación de campo.

El material utilizado para el proceso de compostaje es el proveniente de la preparación de alimentos en el Comedor Universitario, separado en el sitio de origen mediante un sistema de manejo desarrollado para la instalación.

La práctica se planificó aplicando el diseño factorial fraccionado, desarrollado por Box-Behnken, utilizando los factores identificados y rangos de variación obtenidos en ensayos preliminares, los cuales fueron: cantidades agregadas de desechos a procesar, aserrín y humedad agregada, así como el periodo de aireación. El parámetro indicador del aporte de nutriente seleccionado fue el contenido de potasio, el mismo se escogió debido a que el protocolo experimental es más simple en relación a otros parámetros como el nitrógeno y fósforo. Ello permitió preparar una muestra de 29 experimentos con una duración de 48 días para obtener la matriz de resultados a partir de la cual se desarrolló el modelo objeto del estudio realizado.

El seguimiento del proceso de compostaje se realizó

mediante la medición periódica del pH y temperatura, así como la observación del cambio de color y textura del material procesado. La cuantificación de los parámetros seleccionados para evaluar la respuesta del sistema se realizó utilizando métodos analíticos propuestos por la «Community Bureau of Reference» (Quevauviller *et al.* 1994; Quevauviller *et al.* 1993; Ure *et al.* 1993 y la American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998. Para la estructuración del modelo y prueba de las bondades del mismo se utilizó el software: JMP (5.0.1); Systat (11); Statgraphics Plus (5.1) y Matlab (7.0.4).

ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades realizadas para la ejecución del estudio se pueden resumir en los siguientes términos:

Estudios preliminares y selección de variables

Con base en la información recabada en la bibliografía especializada y de experiencias previas en la preparación de abono orgánico, se realizaron tres experimentos, cuyos resultados permitieron seleccionar los factores y su rango de variación permisible para la obtención de abono orgánico con algunas características, medidas en términos cuantitativos a través de la determinación del aporte de nutriente (potasio) en el abono producido, así como en términos cualitativos, a través de la observación de cambios en el color, olor y textura del material.

Construcción del modelo

Se construye el Modelo de Superficie de Respuestas, a partir del cual se obtuvo la expresión matemática que representa cada una de las respuestas del sistema (variable dependiente) en función de los factores seleccionados en la fase anterior (variables independientes). Esa función es de la forma: $y = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \beta_{ij} X_i X_j + \beta_{1i} X_{1i} + \epsilon_{ij}$, $\forall i=1,2,3,4$ $J=1,2,3$, donde y corresponde al vector de los valores para cada una de las variables dependientes a ser analizada, X_{ij} corresponde a la variable independiente i nivel j , finalmente ϵ_{ij} es el error aleatorio correspondiente a estas variables.

El análisis de varianza para cada una de las funciones obtenidas permite establecer si el factor considerado ejerce efecto sobre la respuesta. Con la ayuda del software, se determinan los valores máximos que pueden tomar los factores considerados a fin de producir la mejor respuesta en términos del indicador del aporte de nutriente.

Aplicación del Modelo

Se preparó un nuevo experimento con las condiciones identificadas para obtener el máximo aporte de nutrientes y se estableció la correlación entre las respuestas predichas por el modelo y las medidas experimentalmente.

RESULTADOS

La tabla 5 resume las condiciones para el desarrollo del modelo. A manera de ejemplo se inserta la figura 1 que muestra la correlación encontrada entre el modelo diseñado para el caso de la cantidad de potasio del abono producido y los resultados obtenidos experimentalmente.

Tabla 5. Resumen de las condiciones para el diseño del modelo y resultados obtenidos.

Factor		Unidad	Mín Valor Aplicado	Máx Valor Aplicado	Mín Codificado	Máx Codificado	Condición Óptima
A	Humedad Agregada	tazas	0,00	2,00	-1,000	1,000	2,00
B	Aireación	días	2,00	8,00	-1,000	1,000	8,00
C	Aserrín	Kg	0,50	1,50	-1,000	1,000	1,05
D	Desechos	Kg	1,00	3,00	-1,000	1,000	2,60
Respuesta		Unidad	Mín Valor Obtenido	Máx Valor Obtenido	Transformación	Modelo	Condición Óptima
y_4	K - Potasio	mg/g abono	7,73	58,17	Ninguna	2 FI	27,16

La expresión matemática que describe el modelo para la cantidad de potasio se presenta a continuación:

$$y_4 = 27,16 + 1,40A - 1,43B - 12,80C + 12,56D - 0,51AB - 3,36AC - 4,92AD + 3,63BC - 1,70BD - 5,47CD \quad (1)$$

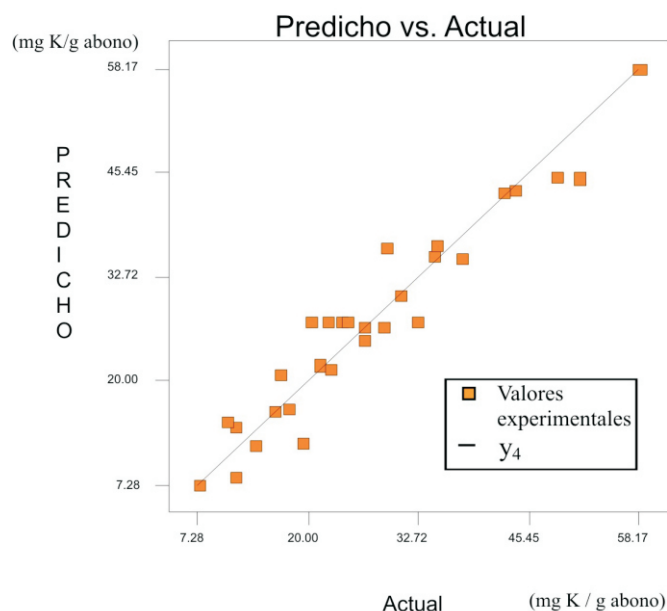


Figura 1. Comparación del modelo de superficie de respuesta y los valores obtenidos experimentalmente para el potasio del abono elaborado.

Se realizó el análisis de residuales o errores que permiten el ajuste de los datos de potasio al modelo. La normalidad de los errores se corroboró con la prueba de Lilleford. Posteriormente se efectuó el análisis de varianza que reconoce precisar si existe relación significativa entre los factores y la respuesta medida (tabla 6).

El análisis de varianza para la variable dependiente potasio, permite concluir que sólo los factores C (Aserrín) y D (Desechos) influyen sobre la variable considerada. Sólo estos factores ejercen efecto significativo sobre la variación de la

cantidad de potasio del abono que se elaboró, tal como se muestra en la figura 2. La cantidad de potasio depende además, de la interacción entre los factores AD (humedad agregada y cantidad de desechos) y CD (cantidad de aserrín y cantidad de desechos).

Estos resultados se obtienen por determinación de la probabilidad, la cual es menor que la probabilidad significativa esperada ($P < 0,05$), para cada factor (Montgomery, 2003; Montgomery y Runger, 2003; Steel R. y Torrie, 1990).

Tabla 6. Análisis de varianza para el potasio determinado en abono.

Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad Obtenida
Modelo	4233.05	1	423,30	21.86	0.0001
A (Hum. Agreg.)	23.63	1	23.63	1.22	0.2838
B (Aireación)	24.60	1	24.60	1.27	0.2745
C (Aserrín)	1965.57	1	1965.57	101.52	0.0001
D (Desechos)	1892.04	1	1892.04	97.72	0.0001
AB	1.06	1	1.06	0.055	0.8176
AC	45.16	1	45.16	2.33	0.1441
AD	96.83	1	96.83	5.00	0.0382
BC	52.78	1	52.78	2.73	0.1161
BD	11.59	1	11.59	0.60	0.4491
CD	119.79	1	119.79	6.19	0.0229
Residual	348.52	18	19.36		
Falta de ajuste	262.80	14	18.77	0.88	0.6227
Error puro	85.72	4	21.43		

La ecuación matemática que representa la cantidad de potasio en el abono orgánico en función de los factores que ejercen efecto significativo se puede simbolizar de la siguiente manera:

$$(y_4) = \text{Potasio} = 27,16 - 12,80 C + 12,56 D - 4,92 AD - 5,47 CD \quad (2)$$

Con esta ecuación se pueden manejar los factores para establecer las condiciones adecuadas, para obtener la cantidad de potasio que requiere el abono orgánico, tomando en cuenta el límite de confianza (17,76 – 36,56).

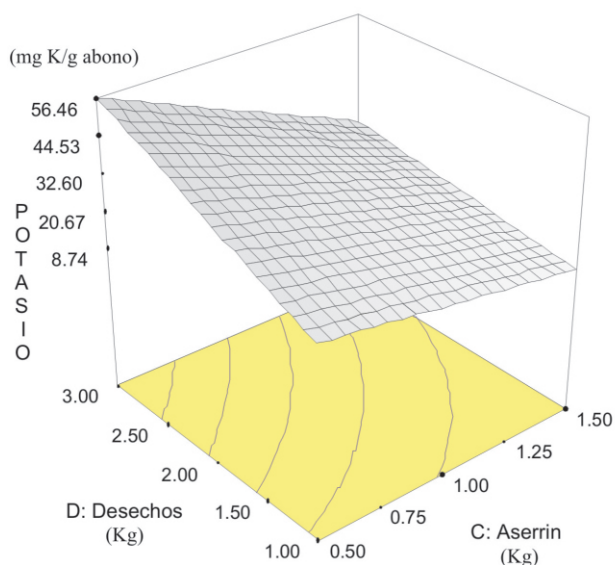


Figura 2. Comportamiento del potasio para el compost cuando varía la cantidad de desechos y aserrín. Humedad agregada = 2,00 tazas y aireación = 8,00 días.

Debido a la curvatura que describe la superficie de respuesta (figura 2) se puede decir que existen interrelaciones entre algunos factores (AD y CD) que influyen en la respuesta analizada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño factorial de Box-Behnken permitió la preparación de diferentes abonos orgánicos, a los cuales se le determinó la concentración de potasio (aporte de nutriente). Este resultado en conjunto con los factores permitieron elaborar el modelo de superficie de respuesta.

De acuerdo a la ecuación obtenida (2), se tiene que la cantidad de potasio del abono orgánico depende significativamente del periodo de la cantidad de desechos (D) y de la cantidad de aserrín (C), esto bajo las condiciones establecidas en el diseño experimental. La cantidad de potasio depende además, de la interacción entre los factores AD (humedad

agregada y cantidad de desechos) y CD (cantidad de aserrín y cantidad de desechos).

De acuerdo al análisis realizado, se obtienen los valores de los factores considerados para los cuales se produce el aporte de potasio máximo. En la fase de aplicación del modelo se preparó abono orgánico a partir de las especificaciones obtenidas por el mismo, encontrándose coincidencia entre los valores dados por el modelo y las determinaciones realizadas experimentalmente para el aporte de nutrientes máximo.

Se puede indicar que el modelo permite establecer las condiciones óptimas para preparar abono orgánico a partir de los desechos provenientes del Comedor Universitario, cuyo aporte de nutrientes es reproducible.

Se recomienda estudiar la presencia de las poblaciones de microorganismos durante el proceso de degradación de los desechos que darán origen al abono orgánico. Probablemente conociendo las condiciones en las cuales se desarrollan estas poblaciones durante el proceso aerobio, pudieran ser optimizadas y en conjunto con otros parámetros contribuir en la obtención del mejor proceso para preparar un abono cuyo aporte de nutrientes sea reproducible.

Realizar análisis microbiológico para determinar la presencia de agentes patógenos que puedan ser nocivos a la planta y a las personas que manipulan el producto o la mezcla en degradación.

Evaluar en otros trabajos de investigación, el aporte de nutrientes u otras características del abono orgánico producido con el modelo de superficie obtenido, en algunos cultivos.

REFERENCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION Y WATER ENVIRONMENT FEDERATION. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: Autor.
- CHACÍN, L. F. (2000). *Diseño y Análisis de Experimentos para generar Superficies de Respuesta*. Maracay: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.
- KHURI, A. I. Y CORNELL, J. A. (1966). *Response Surface*. USA: Marcel Dexker. 510 páginas.
- LEY DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS. (2004, Noviembre 18). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 38.068, Noviembre 18, 2004.

- MADRID, C., QUEVEDO, V. Y ANDRADE, E. (2000). Estudio de la biotransformación aeróbica de los desechos lignocelulósicos pergamino de café (*Coffea arabica* L.) y tallos de pasto guinea (*Panicum maximum*). *Revista Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 17: 505-517.
- MC DOUGALL, F., WHITE, P., FRANKE, M. Y HINDLE, P. (2004). *Gestión Integral de Residuos Sólidos: Inventario de Ciclo de Vida*. Caracas: Epsilon Libros.
- MONTGOMERY, D. (2003). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa.
- MONTGOMERY, D. Y RUNGER, G. (2003). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. México: McGraw Hill Interamericana Editores.
- QUEVAUVILLER PH., RAURET, G., MUNTAU, H., URE, A.M., RUBIO, R., LÓPEZ-SÁNCHEZ, J.F., FIEDLER, H.D. AND GRIEPINK, B. (1994). Evaluation of a sequential extraction procedure for the determination of extractable trace metal contents in sediments. *Fresenius Journal Analysis Chemical*, 349: 808-814.
- QUEVAUVILLER PH., URE, A., MUNTAU, H. Y GRIEPINK, B. (1993). Improvement of Analytical Measurements within the BCR-Programme: Single and sequential extraction procedures applied to soil and sediment analysis. *International Journal Environment Analysis Chemical*, 51, 129-134.
- STEEL R. Y TORRIE, J. (1990). *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. Mexico: McGraw-Hill.
- URE A., QUEVAUVILLER, PH., MUNTAU, H. AND GRIEPINK, B. (1993). Speciation of Heavy Metals in Soils and Sediments. An Account of the Improvement and Harmonization of Extraction Techniques undertaken Under the Auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *International Journal Environment Analysis Chemical*, 51, 135.-151.