

Comparación de Dos Sustratos Orgánicos en la Producción de Plantas de Ornato de la Especie Coralito Enano

Comparison of Two Organic Substrates in Production of Ornamental Plants of the Dwarf Coralito Species

Investigación

M.C. Miguel Escamilla-López, M.C. Jesús Francisco Tejeda-Castrejón, M.C. Johann Mejías-Brito, Dr. Jorge Meza-Jiménez, M.C. Miguel Ríos-Farías, Calleros Valencia Julieta E.*, Romero Uribe Saúl M.*
TecNM/Instituto Tecnológico de Colima, Departamento de Ingeniería Industrial
Avenida Tecnológico No.1, C.P. 28976 Villa de Álvarez, Colima, México.
Tel/Fax (312) 3129920 y 3126393 Ext. 244, E-mail: miguel.escamilla@itcolima.edu.mx

Resumen

En la presente investigación se comparan dos sustratos orgánicos disponibles en el mercado (cachaza y composta), con el objetivo de determinar cuál de estos es mejor en la producción de plantas de ornato de la especie Coralito Enano (*Ixora coccinea*), mezclándolos cada uno con polvillo de coco y jal; se realizó un experimento de mezclas utilizando un diseño simplex de vértices extremos, para observar el efecto de cada mezcla de sustrato sobre cuatro características físicas de la planta. Los resultados obtenidos muestran que la mezcla de cada sustrato con polvillo de coco y jal, con la cual se obtienen las mejores características en las plantas puede ser diferente; aunque se observó que utilizando composta se obtienen ligeramente mejores resultados que con la cachaza, esta diferencia no es estadísticamente significativa y por lo tanto se concluye que ambos sustratos tienen el mismo efecto sobre las características físicas de la planta Coralito Enano (*Ixora coccinea*).

Palabras clave: Mezcla, sustrato orgánico, jal, cachaza, composta, polvillo de coco, diseño simplex.

Abstract

In the present investigation, two organic substrates available on the market (waste filter cake and compost) are compared, with the objective of determining which of these is better for the production of ornamental plants of the specie Dwarf Coral (*Ixora coccinea*), mixing them each with coconut powder and pumice; a mixture experiment was carried out using a simplex design of extreme vertices, to observe the effect of each substrate mixture on four physical characteristics of the plant. The obtained results shows that the mixture of each substrate with coconut powder and pumice with which the best characteristics in the plants are obtained can be different; although it was observed that using compost slightly better results are obtained than with the waste

filter cake, this difference is not statistically significant and therefore it is concluded that both substrates have the same effect on the physical characteristics of the Dwarf Coral plant (*Ixora coccinea*).

Keywords: Mixture, organic substrate, waste filter cake, compost, coconut powder, pumice, simplex design.

Introducción

La demanda de plantas de ornato en el mundo se encuentra estrechamente asociada al desarrollo económico de las naciones; en América Latina, se espera que en la medida que se mejoren los niveles de ingreso y de bienestar, se registre un interesante aumento de esta demanda. México es considerado entre las naciones con mayor riqueza y diversidad biológicas, debido a su posición geográfica y sus diferentes climas. En el estado de Colima la actividad hortícola tiene gran importancia, debido a las condiciones agroclimáticas con las que cuenta su territorio; se estima que actualmente existen en el estado cerca de 45 productores dedicados a la producción y venta de plantas de ornato, que generan fuentes de empleo para aproximadamente 1,700 personas. Las plantas de ornato son todas aquellas especies que por sus flores, follajes, formas, colores, ciclos de vida y hábitos de crecimiento, son instrumentos de adorno [1].

Para las empresas que se dedican a cultivar y comercializar plantas de ornato, es fundamental contar con sustratos adecuados, ya que estos sustituyen al suelo en la función de sostenerlas, interviniendo directamente en su buen desarrollo desde el primer día que se coloca la planta en el sustrato, así como en la buena absorción de nutrimentos que requiere para su crecimiento. El desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo en contenedor; a partir de ahí se plantea la necesidad de un cambio conceptual con respecto al cultivo tradicional en el suelo.

Un sustrato orgánico es un medio sólido e inerte con ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas, que tiene una doble función: la primera es anclar y aferrar la raíz de la planta protegiéndola de la luz y permitiéndole la respiración, la segunda es contener el agua y los nutrientes que la planta necesita [2].

El problema que abordó la presente investigación fue realizada en una empresa hortícola del estado de Colima, que actualmente utiliza una mezcla de sustratos compuesta por 50% de tierra de bordo, 30% de polvillo de coco y 20% de jal, la que brinda buena porosidad, retención de agua y ligereza; sin embargo, aunque la tierra de bordo proporciona adecuados nutrimentos para el desarrollo de las plantas, se ha observado que con este sustrato las plantas presentan características físicas que no les gustan a los clientes, así como problemas de enfermedades y plagas [3].

Por otra parte, las autoridades ambientales y los grupos ambientalistas, insisten en que la tierra al ser un recurso no renovable debe utilizarse en forma racional, de lo anterior surge la necesidad de utilizar sustratos orgánicos alternativos para producir plantas de ornato con mejor apariencia física; en esta investigación se utilizan dos sustratos orgánicos disponibles en el mercado (cachaza y composta) como sustitutos de la tierra de bordo, mezclados cada uno con polvillo de coco y jal, para analizar su efecto en cuatro características físicas de la planta de ornato de la especie Coralito Enano.

El objetivo fue determinar la mezcla de cachaza o composta, con polvillo de coco y jal, que permita producir plantas de ornato de la especie Coralito Enano, con las mejores características físicas.

El polvillo de coco es un producto natural y ecológico derivado del fruto de la palmácea (*Cocos nucifera*); es un material puesto a punto para su empleo en plantas ornamentales, es un sustrato ideal para mezclarse con cualquier tipo de tierra u otro sustrato orgánico [4]. El jal es un material ligero, similar a la caliza o a la arenisca, es de color beige y como componente en una mezcla de sustratos brinda porosidad y ligereza. Es un sustrato orgánico de origen natural que se obtiene a partir de rocas o minerales de origen volcánico, también es conocido como piedra pómez [5]. La cachaza, también conocida como torta de filtro, es el subproducto del proceso de clarificación del guarapo en los ingenios azucareros; es un material marrón oscuro constituido por una mezcla de fibra de caña, sacarosa y coloides entre otros, contiene 40% de materia orgánica y componentes como nitrógeno, potasio, calcio y magnesio [6]; en este caso, se utilizará el subproducto del ingenio "Carlos Septién" de Quesería, Colima. La composta es una mezcla de

materia orgánica en proceso de descomposición, que es llevado a cabo por organismos y microorganismos del suelo bajo condiciones aeróbicas (que requieren oxígeno); este proceso ocurre en la naturaleza con o sin intervención directa del ser humano, por lo cual se considera una forma natural de reciclaje [7].

La composta, la cachaza y el polvillo de coco son sustratos orgánicos; la primera clasificada como residuo y los últimos dos como subproductos, mientras que el jal es un material inorgánico de origen natural; todos estos cuentan con valor en horticultura [5]. Se ha comprobado la reducción del uso de fertilizantes y altos rendimientos debido al uso de la composta en hortalizas [8]. A la cachaza se le han evaluado principalmente sus propiedades como fertilizante, por su alto contenido de nitrógeno, fósforo, calcio y materia orgánica y se ha probado su influencia en la reacción del suelo [9]. También se ha demostrado que el polvillo de coco puede utilizarse como sustrato para la producción de plantas para trasplante de especies ornamentales [10]. El jal o piedra pómez es ampliamente utilizado como sustrato para la producción de diversos cultivos de hortalizas y flores en contenedor, dada la disponibilidad y bajo costo [5].

Fundamentos teóricos

Un experimento es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida; los métodos de diseño experimental tienen un cometido importante en el desarrollo y depuración de procesos productivos para mejorar su rendimiento [11].

Los diseños experimentales permiten estudiar de manera confiable un problema dado, para interpretar resultados y determinar soluciones; son eficientes y permiten analizar una o múltiples variables a la vez, generando resultados más precisos y veraces de los que se obtienen empleando el método alternativo de estudiar variable por variable [12].

Experimentos con mezclas. En este tipo de experimentos, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y por consiguiente, sus niveles no son independientes; si x_1, x_2, \dots, x_p denota las proporciones de p componentes en una mezcla, entonces:

$$0 \leq x_i \leq 1; \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (1)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = 1; \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

Para dos componentes, el espacio de los factores del diseño incluye todos los valores de los dos componentes que están sobre el segmento de recta $x_1+x_2=1$, con cada componente siendo acotado por 0 y 1; con tres componentes, el espacio de la mezcla es un triángulo con vértices que corresponden a las mezclas puras (100% de un solo componente) [13].

Los diseños simplex reticulares se utilizan para estudiar los efectos de los componentes de una mezcla sobre la variable de respuesta; un diseño simplex reticular $\{p,m\}$ para p componentes, consta de los puntos definidos por los siguientes arreglos de las coordenadas: las proporciones asumidas por cada componente toman los $m+1$ valores que están separados por una distancia igual de 0 a 1 y se utilizan todas las combinaciones posibles (mezclas) de las proporciones de cada componente; sean $p = 3$ y $m = 2$, entonces [13]:

$$x_i = 0, \frac{1}{2}, 1 \quad i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

y el diseño simplex reticular consta de las seis corridas siguientes:

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0), (\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}), (0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) \quad (4)$$

Los tres vértices $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$ y $(0, 0, 1)$, son las mezclas puras, mientras que los puntos $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$, $(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ y $(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$, son mezclas binarias o mezclas de dos componentes localizados en los puntos medios de los tres lados del triángulo; existen también diseños simplex reticulares $(3,3)$, $(4,2)$ y $(4,3)$; en general, el número de puntos en un diseño simplex reticular $\{p,m\}$ es [13]:

$$N = \frac{(p + m - 1)!}{m! (p - 1)!} \quad (5)$$

Los diseños simplex de centroide son una alternativa de los diseños simplex reticulares; en un diseño simplex de centroide con p componentes, hay $2^p - 1$ puntos, que corresponden a las p permutaciones de $(1,0,0, \dots, 0)$, las $\binom{p}{2}$ permutaciones de $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, \dots, 0)$, las $\binom{p}{3}$ permutaciones de $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0)$, ..., y el centroide global $(\frac{1}{p}, \frac{1}{p}, \dots, \frac{1}{p})$, [13].

Una crítica general a los diseños simplex descritos, es que la mayoría de las corridas ocurren en la frontera de la región experimental, incluyendo solo $p-1$ de los p componentes; es decir, no hay corridas que incluyan a los tres componentes en una misma mezcla. Los modelos para mezclas difieren de los polinomios usuales empleados en los diseños de superficies de respuesta, debido a la restricción $\sum x_i = 1$; las formas estándares de los modelos para mezclas que se utilizan ampliamente son el lineal y el cuadrático [13].

Frecuentemente se tienen problemas de mezclas en los cuales los componentes de la mezcla a analizar tienen restricciones tanto en la frontera inferior como en la frontera superior de todos los componentes; entonces la región de experimentación factible deja de ser un diseño simplex reticular o de centroide y será un polígono irregular, ya que la región experimental no tiene forma estándar; entonces los diseños generados por computadora conocidos como diseños de vértices extremos, son muy útiles para este tipo de problemas de mezclas; en la Figura 1 se muestra un diseño de este tipo [13].

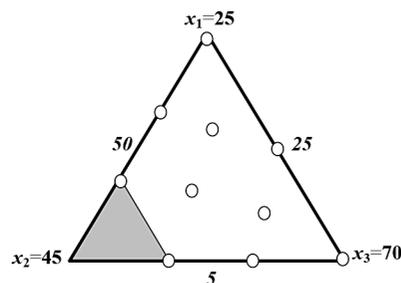


Figura 1. Diseño de vértices extremos creado por el software *Minitab* con restricciones en las fronteras superior e inferior ($5 \leq x_1 \leq 25$, $25 \leq x_2 \leq 40$, $50 \leq x_3 \leq 70$), con punto central y puntos axiales.

Materiales y métodos

El método utilizado en la presente investigación, se describe a continuación.

Variables de respuesta. Los clientes siempre compran plantas de ornato por su mejor apariencia, la cual la constituyen principalmente 4 aspectos físicos, que se tomaron como características a mejorar:

1. Altura de la planta.
2. Diámetro de la planta.
3. Número de flores.
4. Color de la planta (clorosis).

Estas cuatro características físicas fueron analizadas en la especie Coralito Enano, que es la que históricamente ha presentado más problemas de apariencia física durante la fase trasplante-maduración, de acuerdo a información proporcionada por la empresa. La medición de estas características es sencilla; la altura y el diámetro de la planta se miden en centímetros con incrementos de dos, utilizando un flexómetro, el número de flores es un conteo de estas en cada planta y el color se mide visualmente de acuerdo al nivel de color verde que las plantas presentan, con base a un patrón y una escala porcentual de 0 a 100% con incrementos de 20%.

Ya que los clientes siempre prefieren plantas con mejores características físicas, es decir, con mayor altura, mayor diámetro, más flores y un mejor color, en este caso el valor óptimo de las cuatro características no se encuentra determinado, será el mayor valor que se obtenga de cada característica y por lo tanto son características del tipo “L” (mientras mayor sea el valor obtenido, es mejor).

Selección del diseño simplex. Ya que se prueban dos sustratos orgánicos (cachaza y composta), mezclados cada uno de estos con polvillo de coco y jal, necesariamente todas las mezclas deben contener un porcentaje de cada componente, por lo tanto no es factible considerar mezclas de un solo componente, ni mezclas de dos componentes.

Por otra parte, también existen restricciones para los porcentajes de cada componente de la mezcla en sus fronteras superior e inferior; la Tabla 1 muestra estos límites para cada componente [14]. De acuerdo a lo anterior, no es posible utilizar un diseño simplex reticular ni de centroide; en este caso se debe utilizar un diseño simplex de vértices extremos para $p=3$ componentes ($x_1+x_2+x_3=1$).

COMPONENTE DE LA MEZCLA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Cachaza o composta	10%	40%
Polvillo de coco	40%	80%
Jal	10%	40%

Tabla 1. Límites inferior y superior para los componentes de la mezcla.

Debido a que el proceso que se analiza no requiere demasiada precisión, se optó por un diseño simplex de grado 1 aumentado con puntos axiales y central sin réplicas para ajustar un modelo lineal; mediante el software *Minitab* se obtuvo este diseño el cual se muestra en la Figura 2, donde observa que consiste de 11 puntos de prueba con un área de experimentación restringida que no incluye las áreas cercanas a los vértices cachaza o composta y jal, así como el orden aleatorio para cada prueba.

Desarrollo de las pruebas. Cada prueba consistió en el trasplante de una planta de la especie Coralito Enano con una edad de 30 días a una maceta con la mezcla de cachaza o composta-polvillo de coco-jal respectiva, poniendo especial atención en que las proporciones fueran exactas y sus componentes perfectamente mezclados, cada maceta se identificó con base al número de corrida y se colocó en un lugar bajo las mismas condiciones de sol y sombra, todas las macetas utilizadas en el experimento fueron

de características similares y tanto el riego como la fertilización de las plantas, se realizaron con la misma oportunidad y cantidad; la misma cantidad de agua y la misma cantidad y tipo de fertilizante.

Resultados y discusión

Después de transcurridos 90 días a partir del trasplante que es cuando las plantas alcanzan una edad adecuada para su venta, se midieron cuidadosamente las cuatro características físicas o variables de respuesta (diámetro, altura, número de flores y color); se realizó un análisis completo para cada variable de cada sustrato. A manera de ejemplo, se describe el análisis realizado para la mezcla cachaza-polvillo de coco-jal, para la variable de respuesta altura de la planta.

Modelo ajustado. Con un 95% de confianza, el modelo lineal para la variable altura, presenta un valor p de cero, indicando que es útil para predecir la variable de respuesta, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8849, lo cual indica que aproximadamente el 88.49% de la variabilidad de la altura es explicado por el modelo, quedando de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \text{ALTURA} = & 44.049 \cdot \text{Cachaza} + \\
 & 34.773 \cdot \text{Polvillo de coco} + \\
 & 7.126 \cdot \text{Jal}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

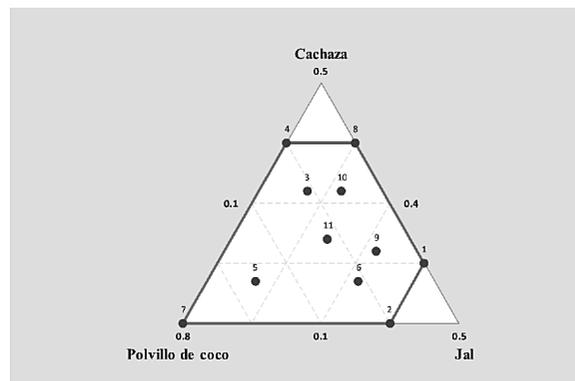


Figura 2. Área experimental, puntos de prueba y orden aleatorio del diseño simplex de vértices extremos para las mezclas, realizado mediante el software *Minitab*.

Gráficos de respuestas. La Figura 3 muestra la superficie de contornos y la Figura 4 muestra la superficie tridimensional del modelo lineal para la variable altura, donde se puede observar que su área de optimización; es decir, donde se maximiza o donde se obtienen los mejores resultados, ocurre en el punto de prueba 4.

Análisis de residuos. En la Figura 5 se muestra la gráfica de residuos del modelo ajustado, donde se observa que estos varían aleatoriamente alrededor de la línea central contra los valores predichos, la Figura

6 muestra la gráfica de residuos contra los cuantiles de una distribución normal; aquí se observa que el error experimental sigue una distribución normal todo lo anterior indica un buen ajuste del modelo.

Mezcla óptima. Este mismo análisis fue realizado para el resto de las características o variables de respuesta (diámetro de la planta, número de flores y color de la planta), para la mezcla cachaza-polvillo de coco-jal; en todos los casos el modelo lineal obtenido para cada variable durante el periodo de tiempo determinado resultó adecuado y el análisis de residuos demostró el buen ajuste del modelo; la Figura 7 muestra las superficies de contornos superpuestas de las cuatro variables, en la que se optimiza la mezcla para la cachaza, donde se observa que en el área de respuesta máxima ocurre en el punto 4, en el cual la mezcla óptima es:

- Cachaza 40%
- Polvillo de coco 50%
- Jal 10%

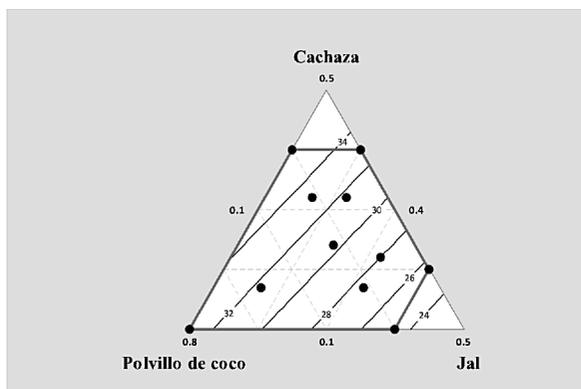


Figura 3. Superficie de contornos para la variable de respuesta altura.

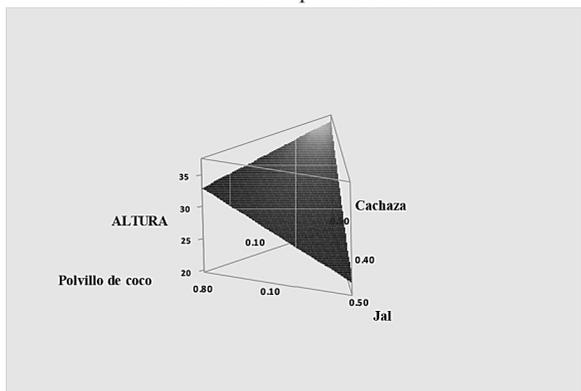


Figura 4. Superficie de respuesta tridimensional para la variable de respuesta altura.

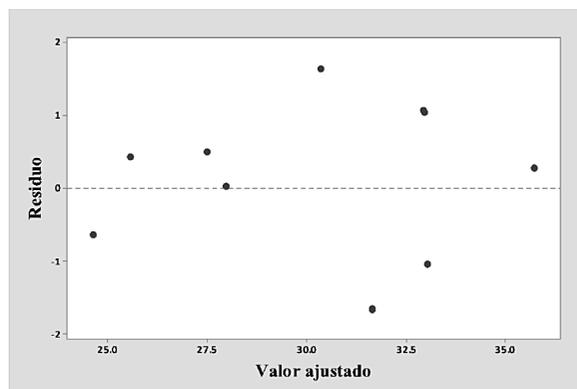


Figura 5. Gráfico de residuos del modelo ajustado para la variable de respuesta altura.

Así mismo, la figura 8 muestra las superficies de contornos superpuestas para la composta; aquí se observa un área de optimización más amplia que la de la cachaza, en la cual se encuentran tres puntos de prueba (3, 4 y 8), las proporciones de las mezclas en cada punto se muestran en la tabla 2. Pruebas de hipótesis con un nivel de significancia de 0.05 y $11+11-2=20$ grados de libertad [15], aplicadas a las características o variables de respuesta evaluadas (altura, diámetro, flores y color), demostraron la igualdad de medias para la composta y la cachaza en los cuatro casos; es decir, no existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos con los dos sustratos, sobre las características físicas de las plantas de la especie Coralito Enano.

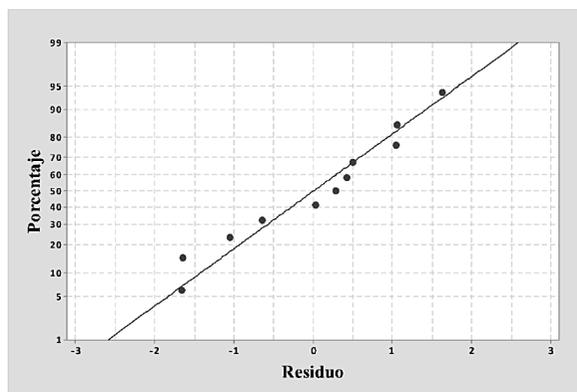


Figura 6. Gráfica de probabilidad normal de residuos del modelo ajustado para la variable de respuesta altura.

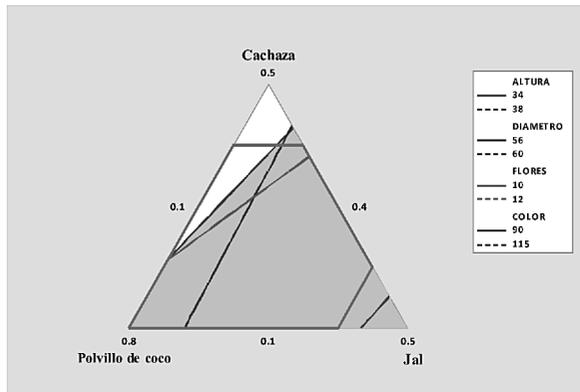


Figura 7. Superficies de contornos superpuestas de la cachaza para las variables altura, diámetro, flores y color.

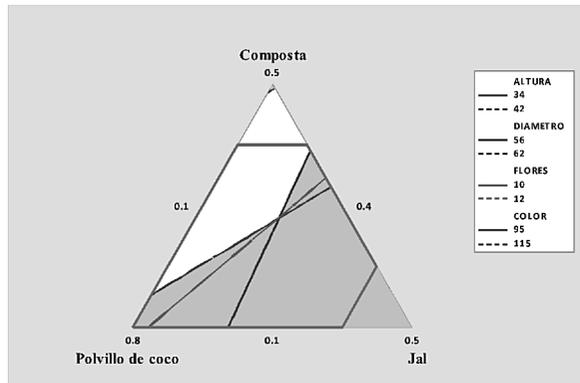


Figura 8. Superficies de contornos superpuestas de la composta para las variables altura, diámetro, flores y color.

Conclusiones

La mezcla óptima para la cachaza, en la cual se maximizan las cuatro características físicas de la planta, ocurre en un área reducida donde solo se encuentra el punto de prueba 4, mientras que en el caso de la composta ocurre en una área más amplia en la que se encuentran tres puntos de prueba (3, 4 y 8); esto indica que la mezcla óptima para la composta es más manejable, ya que se pueden utilizar tres proporciones diferentes y para la cachaza solo una.

Punto de prueba	Composta	Polvillo de coco	Jal
3	32%	51%	17%
4	40%	50%	10%
8	40%	40%	40%

Tabla 2. Proporciones de las mezclas en los puntos de prueba óptimos 3, 4 y 8 para la composta.

Aunque se observó que se obtienen características de calidad ligeramente mejores en las plantas utilizando composta que utilizando cachaza, las pruebas de

hipótesis demostraron en todos los casos, que las medias son iguales; es decir, se puede afirmar que estadísticamente no existe diferencia entre la cachaza y la composta sobre las características físicas de las plantas de ornato de la especie Coralito Enano y por lo tanto es posible utilizar cualquiera de los dos sustratos sin que esto afecte su apariencia física.

Por otra parte, existe una clara relación positiva entre las características físicas de la planta y la cantidad de cachaza o composta en la mezcla; se observó que mientras estas cantidades se acercan a su límite superior de 40%, las características en la planta son mejores, en este caso se recomienda realizar experimentos en los cuales se utilicen porcentajes mayores al 40% de cachaza y composta, para observar sus efectos en las plantas, también repetir el experimento con réplicas para ajustar un modelo de segundo orden y observar el efecto de la curvatura en la superficie de respuesta del modelo o bien, realizar un análisis de costo-beneficio para determinar con base a esto cual sustrato es conveniente utilizar. Finalmente, cabe decir que ni con la cachaza ni con la composta se observó que las plantas presentarían problemas de enfermedades y plagas, como las que presentan utilizando la tierra de bordo.

Referencias

- [1] Grenon Cháscales, G. N. y Rebolledo Correa, M. A., (1989). Enraizamiento de esquejes de brote con hoja de rhododendron en diferentes medios de enraice bajo condiciones de invernadero. *1er. Congreso Nacional Sobre Floricultura en México*, Memoria, SEP, UAEM, CONACYT, Toluca, México.
- [2] Calderón Sáenz, F. y Cevallos, F. (2001). “*Los sustratos*”, Laboratorios Ltda.
http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm (visitado el 10 de noviembre de 2017).
- [3] Empresa hortícola, (2014), *Información propia*, Colima, Colima, México.
- [4] Izkander Cabrera, R. (2002). *Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta*. Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University, <http://www.uaaam.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencia06.pdf> (visitado el 01 de noviembre de 2017).
- [5] Cruz et al. (2012). *Sustratos en la horticultura*. revista *Bio Ciencias* Universidad Autónoma de Nayarit, pág. 23.

- [6] Gómez P., J.F. (2006). *Bioabono de la Cachaza*. Servicio de información agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/azucar/cachaza.htm>. (visitado el 08 de enero de 2018).
- [7] Fernández, F. (2004). *La composta*. Secretaría de Ecología, México, <http://www.ecología.yucatan.gob.mx> (visitado el 08 de enero de 2018).
- [8] Azores-Hampton, M. *Guía para la Utilización Exitosa de Composta en Hortalizas*, <https://www.intagri.com> (visitado el 22 de agosto de 2018).
- [9] Zérega M. Luis, (1993). Manejo y Uso Agronómico de la Cachaza en Suelos Cañameleros, *Revista Caña de Azúcar*, Vol. 11 N° 2, FONAIAP, Venezuela.
- [10] Ayala, Sierra A. y Valdez, Aguilar L. (2008). *El Polvo de Coco como Sustrato Alternativo para la Obtención de Plantas Ornamentales para Trasplante*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- [11] Montgomery, D. C., (1991). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- [12] Hernández, M. J., (2001). *Diseño de mezclas para tabicón de concreto por medio de diseño experimental, caso ALPE*. México, ITC.
- [13] Montgomery, D. C., (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Limusa.
- [14] INIFAP-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecomán.(2015). *Los sustratos orgánicos*. Colima, México.
- [15] Miller, I. R., Freund, John E., Johnson, R. (1992), *Probabilidad y estadística para ingenieros*, México: Prentice Hall, 4ta. Edición.
- * Estudiantes de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Industrial.
- Recibido:** 19 de enero de 2018
Aceptado: 8 de junio de 2018