

# **INTERSEDES**

**REVISTA ELECTRÓNICA DE LAS SEDES REGIONALES  
DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**



**Vista panorámica de la ciudad de San José, Costa Rica**

---

**[WWW.INTERSEDES.UCR.AC.CR](http://WWW.INTERSEDES.UCR.AC.CR)**

**Vol. XVI, N°33 (2015)**

**ISSN 2215-2458**

**Consejo Editorial Revista InterSedes**

**Director de la Revista:**

M.Ph. Jimmy Washburn Calvo. Sede del Atlántico

**Consejo Editorial:**

M.Sc. Jorge Bartels Villanueva. Sede del Pacífico. Economía  
M.L. Edwin Quesada Montiel. Abarca. Sede del Pacífico. Enseñanza del  
Inglés  
Dra. Ethel García. Sede de Occidente. Historia.  
Dra. Magdalena Vásquez Vargas. Sede Occidente. Literatura  
M.L. Guillermo González. Sede Atlántico. Filología  
M.Ph. Jimmy Washburn Calvo. Sede Atlántico. Filosofía. Bioética  
M.L. Mainor González Calvo. Sede Guanacaste. Filología  
Ing. Ivonne Lepe Jorquera. Sede Limón. Administración. Turismo  
Dra. Ligia Carvajal. Sede Limón. Historia

Editor Técnico: Bach. David Alonso Chavarría Gutiérrez. Sede Guanacaste  
Editora: Licda. Margarita Alfaro Bustos. Sede Guanacaste

**Consejo Científico Internacional**

Dr. Raúl Fonet-Betancourt. Universidad de Bremen, Alemania.  
Dra. Pilar J. García Saura. Universidad de Murcia.  
Dr. Werner Mackenbach. Universidad de Potsdam, Alemania. Universidad de  
Costa Rica.  
Dra. Gabriela Marín Raventós. Universidad de Costa Rica.  
Dr. Mario A. Nájera. Universidad de Guadalajara, México.  
Dr. Xulio Pardelles De Blas. Universidad de Vigo, España.  
M.Sc. Juan Manuel Villasuso. Universidad de Costa Rica.

Indexación: Latindex / Redalyc / SciELO

Licencia de Creative Commons

Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica,  
todos los derechos reservados.

Intersedes por [intersedes.ucr.ac.cr](http://intersedes.ucr.ac.cr) está bajo una licencia de Creative  
Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica  
License.



# ANÁLISIS MULTICRITERIO DE VARIABLES QUÍMICAS, FÍSICAS Y BIOLÓGICAS EN 10 MEZCLAS DE SUSTRATOS HORTÍCOLAS EN GUANACASTE, COSTA RICA.

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL VARIABLES OF 10 HORTICULTURAL SUBSTRATE MIXTURES IN GUANACASTE, COSTA RICA

*Juan Gabriel Garbanzo León<sup>1</sup>*

*Juan Ramón Navarro Flores<sup>2</sup>*

Recibido 25 de noviembre del 2014    Aprobado 14 de enero del 2015
--

## Resumen

Se evaluó el efecto de diez mezclas de sustratos para la producción de almácigos hortícolas en la zona de Guanacaste, las mezclas se elaboraron a partir de materiales locales tales como bocashi, compost y lombricompost, arena, suelo, fibra de coco y granza de arroz. El objetivo del trabajo fue encontrar una mezcla que sustituya efectivamente al Peat Moss importado que es el sustrato que se emplea con mayor frecuencia en la industria de los almácigos. Para la evaluación de las mezclas se midieron variables químicas, físicas, microbiológicas y agronómicas. La planta seleccionada para evaluar los sustratos fue tomate (*Solanum lycopersicum*). El diseño empleado para la prueba fue el Irrestricto con cuatro repeticiones; la unidad experimental utilizada fue bandejas de 72 celdas, de las cuales la parcela total fue de 48 celdas y 24 celdas compusieron la parcela útil. En total se evaluaron 11 variables agronómicas, 14 químicas, 8 físicas y 3 microbiológicas para un total de 36 variables. Debido a la complejidad de seleccionar el sustrato que reuniera las mejores características se decidió emplear un método multicriterio que resumiera el resultado de las 36 variables en un solo valor que ponderara cada una de las características evaluadas por cada una de las variables. A cada una de las variables se le asignó un valor de ponderación ( $V_i$ ) de acuerdo con la importancia que cada una de ellas tuviera en el contexto del ensayo. Cada variable se sometió al análisis de variancia y las mezclas se agruparon por medio de la prueba de diferencia mínima significativa; en cada caso la separación de las medias de los tratamientos produjo tres grupos que recibieron la calificación de 1, 2 o 3 ( $X_j$ ) según el grupo asignado por la prueba. El Índice Ponderado (I.P.) se obtuvo sumando el resultado de multiplicar los valores  $V_i \times X_j$  y para tener este valor en términos relativos la sumatoria obtenida se dividió entre el máximo puntaje posible y el resultado se multiplicó por 100. Se encontró que las mezclas: (50% Lombricompost + 25% Bocashi + 25% Granza), (50% Bocashi + 25% Compost + 25% F. coco) y (50% Compost + 25% Bocashi + 25% F. coco) obtuvieron valores de I.P. mayores que el de Peat Moss abriendo

<sup>1</sup> Parte de la tesis de licenciatura del autor. [jgabriel.garbanzo@gmail.com](mailto:jgabriel.garbanzo@gmail.com)

<sup>2</sup> Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica [juan.navarro@ucr.ac.cr](mailto:juan.navarro@ucr.ac.cr)

posibilidades de disminuir costos por sustitución de insumos importados en la producción de almácigos bajo las condiciones de Liberia, Guanacaste.

**Palabras clave:** Método multicriterio, almácigo, sustratos, costos de producción

### **Abstract**

The effect of ten substrate mixtures used to produce horticultural seedbeds in the region of Guanacaste was assessed. They were made from local materials such as bokashi, compost, and worm compost, sand, soil, coconut fiber and rice hulls. The objective of the study was to find a mixture that effectively replaces imported peat moss, which is the most frequently used substrate in the seedbed industry. Chemical, physical, microbiological and agronomical variables were measured to assess the mixtures. The tomato plant (*Solanum lycopersicum*) was chosen to assess the substrates. The test method used was a completely randomized design with four repetitions. The test units used were 72-cell trays. The total area was 48 cells and 24 comprised the useful area. A total of 36 variables (11 agronomical, 14 chemical, 8 physical and 3 microbiological) were assessed. Due to the complexity of choosing the substrate with the best characteristics, using a multi-criteria method was chosen to summarize the outcome of the 36 variables in a single value that weighted each of the characteristics tested by each of the variables. A weighted value ( $V_i$ ) was assigned to each of the variables according to its importance in the context of the test. Each variable was submitted to a variance analysis and the mixtures were grouped by the least significant difference test. In each case, the difference between the means of the treatments created three groups, which received a number of points: 1, 2 or 3 ( $X_j$ ) according to the assigned group for the test. The Weighted Index (I.P.) was obtained by adding the result of multiplying the  $V_i$  and  $X_j$  values. The obtained sum was divided by the maximum possible points and the result multiplied by 100 in order to obtain a value relative to the others. It was found that the mixtures of (50% worm compost + 25% bokashi + 25% rice hulls), (50% bokashi + 25% compost + 25% coconut fiber) and (50% compost + 25% bokashi + 25% coconut fiber) obtained weighted index values greater than those of peat moss. This opens up the possibility of reducing costs by replacing imported input in the production of seedbeds under the conditions of Liberia, Guanacaste.

**Keywords:** multi-criteria methods, seedbeds, substrate mixture, production costs

## **INTRODUCCIÓN**

Las propiedades físicas, químicas, microbiológicas y sus efectos directos sobre el crecimiento de las plántulas de almácigo son factores importantes para caracterizar un sustrato que aporte condiciones agronómicas precisas y balanceadas para los almácigos. Estos factores individualmente han sido estudiados por muchos

investigadores con el fin de encontrar niveles óptimos para el mejor crecimiento de la plántula, sin embargo, al hacerse cada vez más larga la lista de aspectos que se cuantifican individualmente, también se hace proporcionalmente más complejo el proceso de decisión para seleccionar el sustrato que reúna las mejores condiciones.

Los métodos que ofrece el análisis multivariado (Cayuela, 2010; Azorin y Cuadras, 1990) son una alternativa para las evaluaciones que comprenden gran cantidad de variables y se requiere de una reducción de las dimensiones del problema – sin perder la representatividad y la eficiencia – que facilite la toma de decisiones. Sin embargo, presentan la limitante de que no pueden manejar variables de muy distinta naturaleza en un mismo proceso y en la mayoría de las ramas de la agricultura se utilizan variables tanto de naturaleza cuantitativa como cualitativa para calificar prácticas y/o productos (Vazquez y Bernard, 1988).

Los métodos multicriterio son procedimientos intermediarios de la toma de decisiones que reúnen varios criterios individuales; orientan y ayudan a la comprensión de problemas complejos de decisión, permiten el juicio comparativo entre problemas similares y tienen la ventaja de ser capaces de agrupar variables de muy diversa naturaleza. El objetivo del método multicriterio es alcanzar una solución mediante la simplificación del problema, respetando las particularidades de cada uno de los criterios y/o variables que involucre. (Zopounidis y Doumpos, 2002).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema multicriterio que permitiera simplificar el proceso de selección de sustratos fundamentado en criterios físicos, químicos, microbiológicos y agronómicos que a la vez sirviera de ejemplo práctico para demostrar el procedimiento de construcción de un sistema multicriterio.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se llevó a cabo en el invernadero de la Sede de Guanacaste en Liberia, con una elevación de 154 m.s.n.m. Se evaluó el efecto de diez mezclas de sustratos para la producción de almácigos hortícolas tal y como se presenta en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Mezclas de distintos ingredientes para la fabricación de las fuentes evaluadas en la prueba de sustratos para almácigos hortícolas. Liberia, Guanacaste. 2012.

<b>Mezcla</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Proporción</b>
1	50BLG	50% B + 25% L + 25% G
2	50BCF	50% B + 25% C + 25% F.
3	50BAS	50% B + 25% A + 25% S.
4	50LBG	50% L +25% B + 25% G.

5	50LCF	50% L + 25% C + 25% F.	2:1:1
6	50LAS	50% L + 25% A + 25% S.	2:1:1
7	50CLG	50% C + 25% L + 25% G.	2:1:1
8	50CBF	50% C + 25% B + 25% F.	2:1:1
9	50CAS	50% C + 25% A + 25% S.	2:1:1
10	100PM	100% P M.	testigo

---

**A:** Arena; **B:** Bocashi; **C:** Compost; **F:** Fibra de Coco; **G:** Granza; **L:** Lombricompost; **PM:** Peat Moss; **S:** Suelo Solarizado.

Las mezclas fueron evaluadas desde el punto de vista físico, químico, microbiológico y agronómico. Los análisis físicos se efectuaron en el laboratorio de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (E.E.A.F.B.M). Las pruebas químicas se hicieron en el Laboratorio de Suelos y Foliare; las pruebas microbiológicas se midieron en el Laboratorio de Microbiología Agrícola, estos dos últimos ubicados en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. Paralelo a estas evaluaciones, se realizó un ensayo en una casa de mallas donde se evaluó las condiciones agronómicas de los sustratos. Se midió: porcentaje de germinación, peso seco de tallo y raíz, grosor de tallo, número de hojas, contenido de clorofila, tasa media de crecimiento relativo (TMCR) y la tasa de crecimiento cultivo (TCC).

La prueba en la casa de mallas se realizó dentro del modelo de un diseño Irrestringido con cuatro repeticiones; cada una de las 10 mezclas fueron los tratamientos. La unidad experimental fue una bandeja de 72 celdas de las que se utilizaron 48 que correspondieron a la parcela total; de estas 48 24 celdas fueron borde y 24 celdas parcela útil. Las variables evaluadas para los sustratos y en el almácigo se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Total de variables y sus correspondientes valores de ponderación ( $V_i$ ) que se evaluaron en la prueba de sustratos para almácigos hortícolas realizada en Liberia, Guanacaste. 2012.

Variables Agronómicas	$V_i$	Variables Físicas	$V_i$	Variables Químicas	$V_i$
Longitud del tallo. (cm)	4	Partículas entre 8,0-2,0 mm	4	pH	5
Longitud de la raíz. (cm)	3	Partículas entre 1,0 -2,0 mm	4	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	4
Peso Seco del Tallo. (g)	5	Partículas entre 0,5 - 1,0 mm	3	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	4
Peso Seco de la Raíz. (g)	5	Partículas entre 0,25 - 0,5 mm	2	Ca mg/l	4
Grosor del tallo. (cm)	4	Partículas menores de 0,25 mm	2	Mg mg/l	2
Número de Hojas	4	Porosidad (%)	5	K mg/l	2
Contenido de Crolofila	2	Capacidad retención de Agua. (%)	5	P mg/l	4
Estructura del adobe (escala visual)	5	Densidad de masa (g/ml)	4	Fe mg/l	2
Germinación	4	<b>Variables Microbiológicas</b>	$V_i$	Zn mg/l	1
Tasa media de crecimiento relativo (TMCR sem. 4)	5	Bacterias (u.f.c./g)	3	Cu mg/l	1
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	5	Hongos (u.f.c./g)	3	Mn mg/l	1
		Actinomicetes (u.f.c./g)	1	Na mg/l	1
				S mg/l	1
				CE mS/cm	5

Cada una de estas variables se sometió al análisis de variancia correspondiente y los tratamientos se clasificaron por medio de la prueba de diferencia mínima significativa. Esta clasificación se utilizó luego para la calificación del sistema multicriterio empleado para facilitar la decisión final respecto del mejor o mejores sustratos.

### Análisis multicriterio

Debido a la cantidad de variables (cuadro 2) que se evaluaron en este ensayo, decidir cual sustrato reúne las mejores características para la producción de almácigo se hace bastante complejo; por esta razón se utilizó un sistema multicriterio que resumiera en un solo valor la información aportada por las 36 variables evaluadas.

El método multicriterio consiste en trasladar todas las variables a calificaciones según la fórmula desarrollada a partir del sistema de toma de decisiones descrito por Gerez y Grijalva (1976):

$$I.P. = \frac{\sum V_i X_j}{Max.} \times 100$$

**Ec 1.** Ecuación multicriterio.

Donde:

$I.P.$  = Índice ponderado de todas las variables;

$V_i$  = Valor asignado a la variable (ponderación)

$X_j$  = Calificación dentro de la variable (valor de posición).

Max. = Es la máxima calificación que puede obtener un registro

Los valores  $V_i$  son valores asignados subjetivamente de acuerdo con la importancia de la variable (cuadro 2); este valor puede provenir de un análisis multivariado donde cada variable reciba un peso específico, o puede

ser asignado por medio de un panel de expertos que opinen sobre la importancia de cada una de las variables evaluadas. En este caso, los valores fueron asignados con base en la experiencia de los miembros del comité evaluador del trabajo de graduación del primer autor. Los valores  $X_j$  se asignaron de acuerdo con el resultado de la prueba de diferencia mínima significativa que se realizó en cada caso.

Se calculó un Índice Ponderado (I.P.) para cada grupo de variables y por último se obtuvo un I.P. promedio para cada una de las mezclas de materiales utilizadas como sustrato. En el cuadro 3 se presenta un ejemplo del procedimiento seguido con cada una de las 36 variables.

**Cuadro 3.** Procedimiento de asignación de los valores  $X_j$  a cada una de las mezclas empleadas en el ensayo de sustratos realizado en Liberia Guanacaste. 2012.

Mezclas	Long tallo. (cm)	sep.	( $X_j$ )
100PM	9,0	a	1
50CLG	12,6	ab	2
50BLG	13,6	ab	2
50CAS	14,1	ab	2
50LCF	14,6	ab	2
50LAS	14,9	ab	2
50BAS	16,1	ab	2
50BCF	16,3	b	3
50LBG	17,4	b	3
50CBF	17,8	b	3

**Cuadro 4.** Cálculo del Índice Ponderado (I.P.) parcial para las variables Agronómicas evaluadas en las mezclas empleadas como tratamientos en la prueba de sustratos par almácigos hortícolas realizada en Liberia Guanacaste. 2012.

$V_i =$	4	3	5	5	4	4	2	5	4	5	5	I.P.agro
Mezclas	Long tallo.	Long raíz.	PS Tallo.	PS Raiz.	Grosor tallo.	No. Hojas	Cont. Crolofila	Escala adobe	Germ.	TMCR	TCC	
50BLG	2*	1	2	2	2	3	1	2	1	2	1	59,42
50BCF	3	1	3	3	2	3	2	2	1	2	1	71,01
50BAS	2	1	2	2	2	3	2	1	1	3	2	64,49
50LBG	3	2	3	3	3	3	1	2	2	2	2	81,16
50LCF	2	2	2	2	1	2	1	3	3	2	1	65,22
50LAS	2	2	2	3	2	3	2	2	3	2	1	72,46
50CLG	2	2	2	2	2	2	1	3	3	2	1	68,12
50CBF	3	1	3	3	3	3	1	2	2	2	3	82,61
50CAS	2	1	2	3	2	2	3	1	3	2	1	65,22
100PM	1	3	1	1	1	1	1	2	2	1	1	44,20

\* Valores  $X_j$



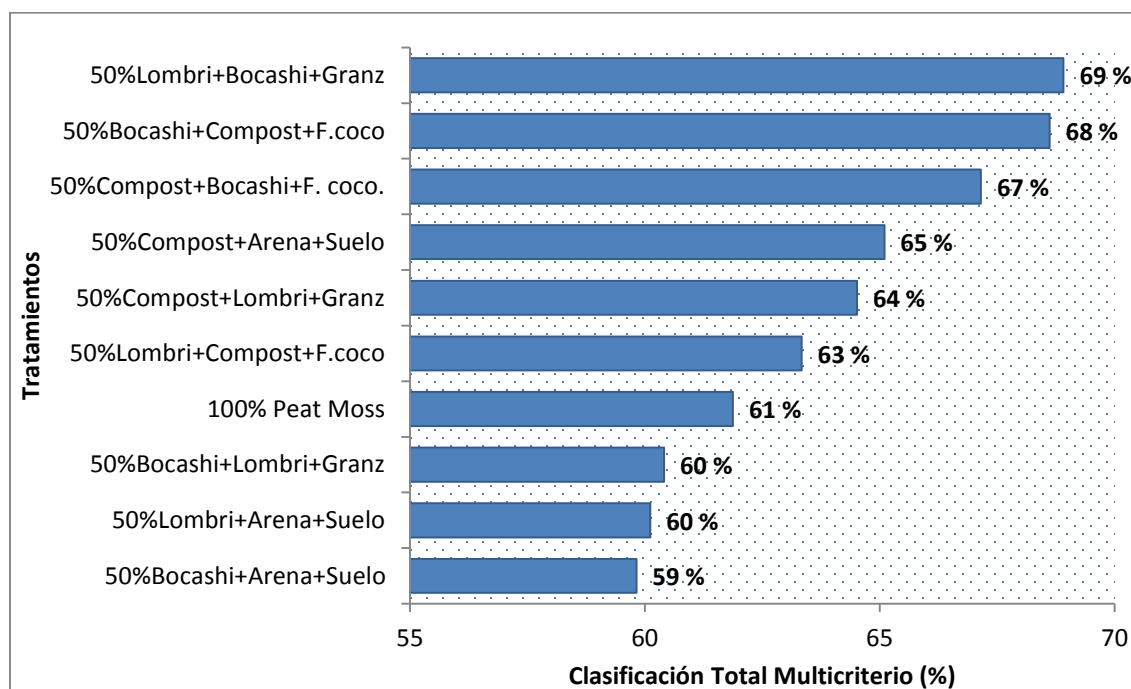
El valor 59,42 para la mezcla 50BLG se obtuvo de la siguiente forma:

$$\left( \frac{(4 \times 2) + (3 \times 1) + (5 \times 2) + (4 \times 2) + \dots + (5 \times 2) + (5 \times 1)}{138} \right) \times 100$$

el valor 138 es la máxima calificación que podría obtener una mezcla y se obtiene multiplicando el valor  $V_i$  por la máxima  $X_j$  que en este parcial es de 3 para cada variable.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta los I.P. promedios de las 36 variables evaluadas, para cada una de las mezclas probadas en el ensayo. Se encontró que las mezclas que presentaron un I.P. mayor del 65% fueron: (50%Lombricompost + Bocashi + Granza) con un 69 %, seguido por (50% Bocashi + Compost + Fibra de coco) con un 68%; (50% Compost + Bocashi + Fibra de coco) con un 67% y (50% Compost + Arena + Suelo) con un 65%.



**Figura 1.** Índices Ponderados (I.P.) promedios de las 36 variables evaluadas en el ensayo de mezclas para utilizar como sustratos de almácigos hortícolas realizado en Liberia Guanacaste, 2012.

Es importante destacar que mezclas en las que intervinieron materiales locales como la fibra de coco la granza, el lombricompost, etc. presentaron valores I.P. mayores que el Peat Moss que es el sustrato empleado con mayor frecuencia en la industria de los almácigos. Por ser una materia prima importada el Peat Moss es el sustrato a sustituir con el fin de bajar costos en la producción de almácigo.

El análisis multicriterio ofrece una alternativa real de simplificación. En este caso, por haberse utilizado la separación de medias para la obtención de los valores  $X_j$  el procedimiento multicriterio adquiere una objetividad adicional que no posee el método cuando todos los valores son asignados arbitrariamente.

**LITERATURA CITADA.**

Azorin, F.; Cuadras, C. (1990). "Sobre la conveniencia de utilizar el término análisis multivalente." *Estadística Española*. 32(124). pp. 451-454.

Cayuela, L. (Junio, 2010). "Análisis multivariante. EcoLab." Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada. Disponible en:  
<http://158.49.96.73:8080/documenta/bitstream/00000001/27/1/6-Analisis%20multivariante.pdf>

Gerez, V.; Grijalva, M. (1976). *El enfoque de sistemas*. México, Limusa.

Vásquez, M.; Bernard, M. (1988). "Técnicas del análisis estadístico multivariado: objetivo y aplicación" (en línea). *Rev. Cubana psicol.* 5(1). pp. 65-73.

Zopounidis, C.; Doumpos, M. (2002). "Multicriteria classification and sorting methods: A literature review." *European Journal of Operational Research* (138) 229–246.