

**Evaluación de las propiedades floculantes de *Malvaviscus arboreus*,
Heliocarpus popayanensis e *Hylocereus undatus*
para clarificación de aguas**

**Evaluation of the flocculating properties of *Malvaviscus arboreus*,
Heliocarpus popayanensis and *Hylocereus undatus*
for water clarification**

Lina Marcela Ramírez Estrada¹, Jean Deivi Suárez Córdoba¹,
Juan Fernando Ramírez Quirama^{1,2}

E-mail: lunaymar@misena.edu.co, jean_deivi@yahoo.es, juan.ramirez.quirama@gmail.com

¹Servicio Nacional de Aprendizaje, Centro Nacional de los Recursos Naturales
Renovables, La Salada, SENA Caldas, Antioquia.

²Línea de vigilancia tecnológica en bosques

Resumen.- *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* han sido reportados por pobladores ribereños como floculantes naturales. Se investigó en aguas de la quebrada La Salada (municipio de Caldas, Colombia) si los efectos floculantes se modifican por la especie (*Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus*), el tipo de material vegetal (seco o fresco) y la concentración del floculante orgánico (10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml). Se utilizó la metodología JAR, norma ASTM No. D2035-80. Se encontró que *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* presentaron poder de floculación (Valor P: 0.017), al aumentar la concentración de floculante aumentó la floculación (Valor P: 0.08), y que el almacenaje no alteró los efectos de las especies sobre el proceso de floculación (Valor P: 0.7813).

Palabras clave: Floculantes vegetales, tratamiento de aguas, productos no maderables.

Abstract.- *The Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* and *Hylocereus undatus* have been reported by river residents as natural flocculants. Waters were investigated in La Salada creek (in the municipality of Caldas, Colombia) to see if the effects are modified by the flocculant species (*Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* and *Hylocereus undatus*), the type of vegetal material (dry or fresh) and the concentration of organic flocculant (10, 20, 30, 40, 50 and 60 ml). JAR methodology was used, following the standard ASTM No. D2035-80. It was found that *Heliocarpus popayanensis* and *Hylocereus undatus* presented a flocculation power (P value: 0.017), that increasing the concentration of flocculent it increased the flocculation (P value: 0.08) and the storage did not alter the effects of species over the process of flocculation (P value: 0.7813).

Key words: flocculent vegetables, water treatment, non-timber products.

Introducción

Naturalmente el agua contiene sales, materiales solubles y sólidos; posee partículas coloidales cargadas negativamente, con gran estabilidad en disolución y con capacidad para modificar propiedades físicas y químicas como la coloración (Guzmán *et al.*, 2005). El proceso de floculación logra desestabilizar partículas coloidales, precipitar y agrupar sólidos suspendidos, facilitando la extracción por medio de la formación de flocs (Inchausti, *et al.*, 2000). El método de coagulación remueve partículas coloidales y suspendidas del agua, reduce la turbidez, el color y en menor medida, las bacterias (García, 2005). Este método puede utilizarse en el tratamiento de aguas crudas y residuales. Para la separación de contaminantes es común utilizar el tratamiento químico con coagulantes y floculantes (Gomella y Guerree, 1977), especialmente el sulfato de aluminio y polímeros industriales de alto costo (Cornejo y Alcalde, 2010).

Entre los coagulantes vegetales no maderables usados por la sabiduría tradicional de las poblaciones ribereñas se destacan los tallos, hojas y flores de *Malvaviscus arboreus* (San Joaquín; López y Osorio, 2003); *Heliocarpus popayanensis* (pestaña de mula) que actúa como floculante para la clarificación de la panela e *Hylocereus undatus* (Pitahaya silvestre). La investigación se propuso contribuir al conocimiento de las propiedades floculantes de productos no maderables (PNM) en el tratamiento de aguas crudas y servidas como alternativa de uso en las comunidades

campesinas y para minimizar el impacto ambiental derivado del uso de floculantes químicos.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó entre los meses de julio a noviembre de 2010 en el laboratorio de ciencias básicas del Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, Centro Nacional de los Recursos Naturales Renovables en La Salada, municipio de Caldas, Colombia (1800 msnm, temperatura promedio anual de 20°C, precipitación promedio anual de 2000 mm), que según Holdridge, corresponde a bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) (Espinal, 1992).

Se utilizó para de método de jarras (beaker de 800 ml) con aguas servidas (contenido orgánico alto, 68.6% de oxígeno disuelto, 19.4°C y pH 5.5) de la quebrada La Salada a la altura del SENA, sometidas al tratamiento con especies vegetales (*Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus*, Tabla 1). El tipo de almacenamiento fue en fresco y seco; la concentración del floculante fue de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml; se comparó con dos blancos (floculante sintético de sulfato de aluminio Al_2SO_4 y agua cruda sin tratar) y se consideraron tres hipótesis de investigación las cuales fueron: I. Las tres especies tienen efectos coagulantes según el reporte de los pobladores; II. A mayor concentración de floculante, más poder de floculación y III. El almacenaje no afecta las propiedades floculantes de cada una de las especies (Tabla 1).

Tabla 1. Atributos de las especies *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus*

Atributos	Especies		
	<i>H. popayanensis</i> (Tiliaceae)	<i>M. arboreus</i> (Malvaceae)	<i>H. undatus</i> (Cactaceae)
Nombres comunes	Balso blanco, palo bobo, pestaña de mula	Malvavisco, Falso Hibisco, San Joaquín	Cactus trepador, Reina de la noche, Pitahaya, Flor de cáliz, Pitajaya, Pitaya, Tasajo
Fitogeografía	Desde el sur de México hasta el norte de Argentina, entre 500 y 2500 msnm	América tropical desde el nivel del mar hasta los 1865 m	De amplia distribución
Porte	Árbol pequeño a mediano, de corteza gris y lisa	Arbusto de 1.50 a 3 m de altura	Semi-epífita de tallos largos, colgantes o trepadores
Hojas	Simples, alternas, de pecíolos largos, limbo lobulado, bordes dentados	Alternas, simples y pecíolos largos. Borde con dientes suaves o marcados y cubiertos de pelos estrellados	
Flores	Se disponen en inflorescencias tipo panículas, con sépalos y pétalos amarillos	Emergen en la unión de la hoja con el tallo, de color rojo y con estambres salientes que superan la corola	Color blanco polinizadas por murciélagos
Frutos	Ovalados o elípticos rojos, rodeados por cerdas que le dan el aspecto de pequeñas custodias o soles	Baya que se torna seca en la madurez	Comestibles
Localización en el paisaje rural	Riberas de ríos y quebradas, cafetales y rastrojos		Lugares sombreados por árboles o rocas (Missouri Botanical Garden, 2011)
Usos	Floculación de aguas	Ornamental, para extracción de taninos y descontaminación del agua (Fryxell, 2007).	

H. popayanensis y *M. arboreus* se recolectaron en el Centro Nacional de los Recursos Naturales Renovables, SENA La Salada y *H. undatus* en San Jerónimo, Sopetrán y Santa Fe de Antioquia (bosque seco tropical, Holdridge [1972], 500 a 600 msnm, 26°C, 800 mm) y luego se sembró en el invernadero del SENA en La Salada.

Preparación de la solución coagulante con material vegetal seco y verde

Trozos de 3mm de *H. undatus* sin cutícula y parénquima. Tallos y hojas picadas de *H. popayanensis* y de *M. arboreus*. Se secaron durante cinco días en invernadero y después se sometieron a 50 °C durante una hora. Para condiciones de almacenamiento verde se colectó el material el mismo día y se machacaron los trozos pequeños.

Con los materiales seco y verde se siguió el protocolo para obtención de extracto acuoso: Se maceró aproximadamente durante cuatro horas, se coló y se envasó. Con las tres especies se prepararon extractos combinando 100 gr de material *H. popayanensis* o *M. arboreus* o mucilago (o cristal de *H. hundatus*) con un litro de agua que se dejó hervir durante 10 minutos a 100 ° C. Cada planta se lavó con agua para retirar impurezas, tanto para tratamiento seco como verde.

Ensayo de jarras

Las jarras con diferentes dosis de coagulante y aguas servidas de la Quebrada La Salada se sometieron a mezcla rápida de 100 rpm durante un minuto, luego a mezcla lenta de 30 rpm

durante 30 minutos y se dejó sedimentar el floculo durante 60 minutos, de acuerdo con la norma ASTM No. D2035-80 (*Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*).

Posteriormente al sobrenadante de cada jarra sedimentada se le realizaron las pruebas de turbidez y color por medio de métodos de comparación con los blancos (floculante sintético sulfato de aluminio, Al_3SO_4 , y agua cruda sin tratar). Para la medición de la floculación se utilizaron métodos organolépticos (coloración visual), por medio de una escala de evaluación de 0 a 5, siendo 5 cuando el agua era similar a la floculación con el sulfato de aluminio y 0 cuando la floculación se parecía al agua sin tratar.

Tabla 2. Organización de los experimentos del ensayo de jarras

Ensayo	Especie	Almacenamiento	Beaker (ml de mezcla)					
			1	2	3	4	5	6
1	<i>H. popayanensis</i>	Verde	10	20	30	40	50	60
2	<i>H. popayanensis</i>	Seco	10	20	30	40	50	60
3	<i>M. arboreus</i>	Verde	10	20	30	40	50	60
4	<i>M. arboreus</i>	Seco	10	20	30	40	50	60
5	<i>H. undatus</i>	Verde	10	20	30	40	50	60
6	<i>H. undatus</i>	Seco	10	20	30	40	50	60

Desde el ensayo 1 al 6 se utilizaron los dos blancos. Condición ideal (5) con el sulfato de aluminio, Al_3SO_4 ; “el peor caso” (0) es el agua sin tratar.

Análisis de datos

Con el fin de disminuir el efecto de la *pseudoréplica* y aumentar los grados de libertad se definió como unidad experimental cada beaker. Por medio del modelo lineal generalizado (MLG, Ecuación 1) se evaluó la relación entre el

grado de floculación (f_c) y las variables independientes. El vector compuesto por los datos del f_c representa el nivel de floculación medida entre 0 y 5 (variable dependiente del modelo), derivado de todos los ensayos de la prueba de jarras. Las variables independientes del modelo fueron: la concentración

(variable cuantitativa), las especies y el estado de almacenamiento de la planta (variables cualitativas); en estas condiciones resulta el MLG constituido de la siguiente forma:

$$f_c = \mu + \alpha_i + \beta_j + \phi_k + \varepsilon \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde f_c es el nivel de floculación, μ es un efecto general, α_i es la variación debida a la i ésimo especie, β_j es la variación con respecto al j ésimo nivel de concentración, ϕ_k es el efecto del k ésimo estado de almacenamiento y ε es una variación aleatoria. Para evaluar la variabilidad explicada por el modelo, se utilizó el valor P en un análisis de varianza multifactorial. No obstante, la relevancia de cada variable dentro del modelo es definida por su significado, y fue calculada mediante una prueba de F ($\alpha < 0.05$).

Antes de correr los análisis, a la variable dependiente se le evaluó los supuestos de normalidad usando la prueba de Shapiro Wilk (S_w) y la homocedasticidad por medio de la prueba de Bartlett (B). Para el análisis estadístico se utilizó el programa *R Development Core Team* (2008) en su librería *Rcmdr* (2009). Por medio de una prueba de Pearson (r^2) se evaluó la correlación entre el nivel de floculación y la concentración del floculante, para cada una de las especies.

Resultados

La variable dependiente del modelo nivel de floculación no tiende a la normalidad (S_w : 0.04; valor P: 0.37). Sin embargo por los grados de libertad del modelo (gl : 15) se puede

asumir una normalidad asintótica. Esta variable es homocedástica (B : 2.36; $P < 0.05$) lo que valida el uso de métodos normales como los MLG para el procesamiento de datos. La suma de cuadrados del análisis de varianza y el valor P del modelo muestran que existe al menos una diferencia significativa en una de las variables independientes. Al analizar los efectos simples de las variables independientes, se ve que el tipo de almacenamiento no tuvo diferencia significativa, es decir, el nivel de floculación con plantas almacenadas y deshidratadas y con plantas verdes no varió.

La concentración fue parcialmente significativa (aunque su probabilidad no fue mayor de 0,05) lo que indica que a mayor concentración de floculante, mayor será el nivel de floculación. La variable especie presentó diferencias significativas con mayor nivel de floculación para *H. undatus*, seguido por *H. popayanensis*, aunque muy lejanas del blanco llamado el “mejor caso” (sulfato de aluminio). La especie *Malvaviscus arboreus* no presentó diferencias con relación al blanco llamado el “peor caso” (blanco sin tratamiento alguno).

Al correlacionar concentración y floculación se encontró que *H. popayanensis* se correlaciona en 10% (valor P: 0.19), *Hylocereus undatus* en 39% (P: 0.049) y *Malvaviscus arboreus* en 5% (valor P: 0.39), datos que confirman lo encontrado en los análisis de varianza (Tabla 3, Figura 1).

Tabla 3. Análisis de varianza para floculación

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	7.3267	4	1.8317	3.04	0.0317
Residuo	18.6733	31	0.6024		
Tipo de almacenamiento	0.0473	1	0.0473	0.08	0.7813
Especie	5.6011	2	2.8005	4.65	0.0171
Concentración	1.8466	1	1.8466	3.07	0.0899
Total (corregido)	26.0	35			

Nivel	Recuento	Media	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Media general	36	0.5502	0.1444	0.2557	0.8448
Tipo de almacenamiento					
Fresco	15	0.5930	0.2399	0.1036	1.0823
Seco	21	0.5075	0.1753	0.1499	0.8650
Especie					
<i>Helyocarpus popayanensis</i>	15	0.5675	0.2033	0.1530	0.9821
<i>Hylocereus undatus</i>	14	1.1660	0.2178	0.7218	1.6102
<i>Malvaviscus arboreus</i>	7	0.0128	0.3310	-0.7578	0.5922

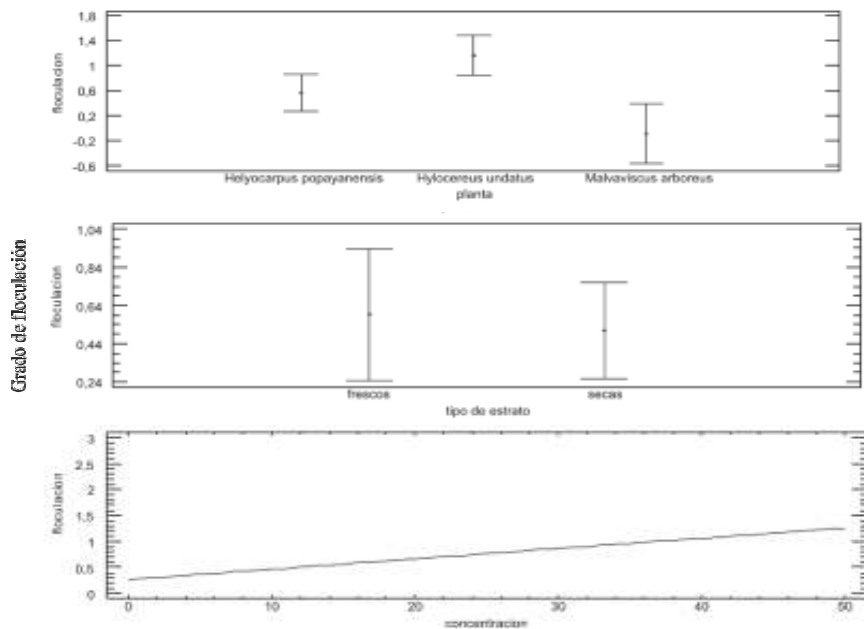


Figura 1. Relación entre nivel de floculación y concentración según el tipo de extracto.

Discusión y conclusiones

M. arboreus no presentó diferencia con el agua sin tratar mientras que *H. popayanensis* y *H. undatus* presentaron diferencias, aunque lejanas, con el mejor caso (Al_3SO_4), evidenciando efectos de floculación en aguas cargadas con baja cantidad de sedimentos. Resultados similares, aunque no aceptables por la norma técnica internacional, fueron reportados con semillas de *Moringa oleifera* (Caldera & Mendoza, 2007), algas marinas, almidones de papa y yuca (Degremond, 1991; Okuda *et al.*, 2001) y taninos vegetales (Konradt-Moraes *et al.*, 2007).

No obstante estos resultados, es importante continuar explorando floculantes de origen vegetal (Jahn, 1988; Lemtech, 2010) que contribuyan a disminuir los efectos residuales del aluminio y de los floculantes sintéticos, ya que la ingesta de este metal en altas concentraciones es perjudicial para la salud e impacta de manera negativa el medio ambiente.

Los resultados no coincidieron con lo reportado por las poblaciones locales, posiblemente porque floculan aguas con mayor carga de sedimentos y material orgánico. También puede deberse a que agregan gran cantidad de plantas frescas machacadas directamente en el agua, la cual tiene mayor temperatura. Estas consideraciones ameritan realizarse ensayos usando extractos más concentrados para lograr que la masa del floculo aumente y sedimente a mayor velocidad.

Aunque las normas técnicas expresan que estas aguas no son aptas para el consumo humano, los procesos de floculación pueden mejorar la calidad del agua para otros usos. Las propiedades aglutinantes y floculantes de San Joaquín (*Malvaviscus sp*) no se expresaron con agua cruda pero mezclada con algunos balsos (*Heliocarpus sp*) y otras especies clarifica jugos de panela (López & Osorio, 2003).

En la floculación con extractos de plantas se deben considerar variables como la temperatura del agua, factor que posiblemente incidió en los resultados ya que la temperatura de la Quebrada La Salada oscila entre 17 y 20°C. Para aumentar las propiedades de floculación de los materiales vegetales, algunos autores sugieren la utilización de elementos orgánicos coadyuvantes como el almidón, compuestos de celulosa, materiales proteínicos, gomas de polisacáridos y alginatos. Los coadyuvantes son importantes cuando hay cambios en la calidad del agua o cuando las temperaturas son bajas (Franco, 1997). Otras investigaciones han demostrado que el efecto del floculante depende del nivel de pH (Rovirosa-More W. *et al.*, 2003).

Las posibilidades técnicas y ambientales de utilizar especies nativas como coagulantes y/o floculantes en el tratamiento de aguas crudas para minimizar el impacto ambiental son factibles para las comunidades campesinas que necesitan utilizar insumos más limpios para el entorno.

Los resultados de esta investigación, aunque alejados del ideal exigido por la normatividad técnica, demuestran que es posible continuar explorando ingredientes activos vegetales para la clarificación de aguas rurales.

Como la carga sedimentaria y orgánica de la Quebrada La Salada no es muy alta, es posible que por el tamaño y el peso del material fraccionado no se aglutinara ni se sedimentara. Futuras investigaciones deben involucrar variables como velocidad, tiempo de floculación, pH, concentración del floculante, tiempo de sedimentación, aguas con más cargas suspendidas, turbidez, color, temperatura del agua y alcalinidad.

La primera hipótesis de investigación sobre el poder de floculación de las tres especies se acepta parcialmente porque *Malvaviscus arboreus* no mostró resultados positivos mientras que *Hylocereus undatus* y *Heliocarpus popayanensis* presentaron efectos significativos aunque muy distantes del estado "ideal".

La segunda hipótesis de investigación que relacionó concentración de floculante y poder de floculación, se puede aceptar aunque no presentó evidencias estadísticas sólidas, ya que al aumentar la concentración aumentó la floculación.

Se acepta la tercera hipótesis sobre el almacenaje y los poderes de floculación, puesto que la floculación no se alteró por procesos de deshidratación.

Agradecimientos

A Alex Yara por su disposición para hacer recomendaciones. A los profesores Gladys Martínez y Óscar López por las ideas iniciales en este proceso. Al Centro de los Recursos Naturales Renovables de La Salada, SENA por facilitar las instalaciones para el desarrollo de la investigación.

Referencias

- 1) Caldera, Y. & Mendoza, I. (2007). Eficiencia de las Semillas de *Moringa Oleifera* como Coagulante Alternativo en la Potabilización del Agua. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41(2), 244-254. Zulia, Venezuela.
- 2) Cornejo, L. & Alcalde, L. (2010). *Evaluación del proceso de sedimentación de almidón crudo de la papa china (Colocasia esculenta, L. Schott), utilizando floculantes naturales*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- 3) Degremont. (1991). *Water Treatment Handbook*. París, Francia: Lavoisier Publishing.
- 4) Espinal, L. S. (1992). *Geografía ecológica de Antioquia: Zonas de vida*. Medellín, Colombia: J. Lealon.
- 5) Espinosa, M., González, P., Pellón, A. & Roviroso, N. (2003). Tratamiento de aguas residuales en zonas costeras con intrusión marina salina. *Tecnología, Ciencia y Educación* 18(2), 71-80.

- 6) Franco, I. F. (1997). Diseño asistido por computador de estaciones depuradoras de aguas residuales. España.
- 7) Fryxell, P. (2007). Malvaceae. En B. E. Hammel, H. H. Grayum, C. Herrera & N. Zamora (Eds.), *Manual de Plantas de Costa Rica*. Vol. 6(11), 313-373.
- 8) García, S. A. (2005). *Estudio de la eficiencia de eliminación de radionúclidos naturales en procesos compatibles con el de potabilización de aguas*. Cáceres, España: Universidad de Extremadura.
- 9) Gomella, C. & Guerree, H. (1977). *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados.
- 10) Guzmán, L., Velásquez, L. & Restrepo, B. (2005). *Proyecto Agua Universidad de Antioquia*. Recuperado de <http://proyectoagua.galeon.com/productos268677.html>.
- 11) Holdridge, L. (1972). *The World Life Zone Classification System and Forestry*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- 12) Inchausti, I., Sasia, P. & Katime, I. (2000). *Floculantes poliméricos no iónicos obtenidos en emulsión inversa: Síntesis y caracterización*. Recuperado de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/inchausti.pdf>.
- 13) Jahn, S. (1988). Using Moringa oleifera seeds as coagulants in developing countries. *Journal American Water Works Assoc.* 80, 43-50.
- 14) Konradt-Moraes, L. & Bergamasco, R. (2007). Avaliação da eficiência de remoção de cor e turbidez, utilizando como agente coagulante os taninos vegetais, com a finalidade de obtenção de água tratada. En *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental*, Rio de Janeiro, Brasil. Disponible en <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24cbes/i-178.pdf>
- 15) Lenntech. (2010). *Tratamiento y purificación del agua*. Disponible en <http://www.lenntech.es/coagulantes-y-ofloculantes,htm#ixzz17kWFUKto>
- 16) López Osorio, J. G. y Osorio Cadavid, G. (2003). Evaluación y conservación de las especies aglutinantes o floculantes utilizadas en la agroindustria panelera de los municipios situados en jurisdicción de CORANTIOQUIA. En *Seminario Nacional y IV Internacional sobre especies promisorias: Biodiversidad y bioprospección* Medellín, Colombia.
- 17) Missouri Botanical Garden. (2011). *Flora of North America*. Disponible en http://www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=2
- 18) Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W. & Okada, M. (2001). Isolation and Characterization of Coagulant Extracted from Moringa Oleifera Seed by Salt Solution. *Water Research*, 35(2), 405-410.
- 19) R Development Core Team. (2008). *R: A language and environment for statistical computing*. R.F.F.S.

- 20) Computing. Viena, Austria. Disponible en <http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/christlieb/teaching/UKStaSS10/R-refman.pdf>
- 21) Sáez-Castillo A. 2010. *Métodos estadísticos con R y R Commander*. Universidad de Jaén. Departamento de estadística e investigación operativa. Disponible en <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Saez-Castillo-RRCmdrv21.pdf>

Recibido: 16 de junio de 2011
Aceptado: 15 de noviembre de 2011