

Tecnología

en marcha

ISSN 0379-3982 • Vol. 16-4

- Efecto de altas presiones en esporas de *Bacillus cereus* en carne de vacuno.
Castillo A., L.A.; Mészáros, L. y Kiss, I.F. 3
- Filtración de glicerina de una solución modelo por ósmosis inversa y nanofiltración.
Koris A.; Mora M. J.; Vatai G. y Bekassy-Molnar, E. 8
- Análisis del sistema radicular del almendro (*Dipteryx panamensis* –Pitt.– Record & Mell) en la zona norte de Costa Rica.
Ileana Moreira y Luis Fournier13
- Voluntad de pago, impacto y plan de manejo de desechos en la comunidad de Tuis de Turrialba, Costa Rica.
Lilliana Abarca y Blanca Inés Nava23
- Títulos valores negociables en Costa Rica.
Ana Isabel Solano33
- Una introducción a la teoría del grado topológico.
Carlos E. Azofovea Z.39
- Cultivo *in vitro* de tempate (*Jatropha curcas*).
J. Muñoz; K. Valerín; S. Alvarenga y E. Alan54
- Fragmentación de datos en bases de datos distribuidas.
Ricardo Chinchilla Arley61
- Aspectos biológicos, usos agrícolas y medicinales del “tomate de palo” (*Cyphomandra betacea*).
A. Alvarado; A. G. Arroyo; A. T. Fournier; C. Sánchez; M. C. Villalta y G. Garro69

Los artículos publicados en Tecnología en Marcha expresan la opinión de sus autores y no necesariamente la del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Se autoriza su reproducción total o parcial siempre que se cite la fuente.

Director: Mario Castillo M.

Comisión Editorial: Mario Castillo Méndez
Ana Ruth Vílchez Rodríguez
Fernando Ramírez Chacón
Carlos Araya Rodríguez
Francisco Jiménez Boulanger

Encargado de publicidad: Editorial Tecnológica
Edición técnica: Fernando Ramírez Chacón
Revisión filológica y corrección de pruebas: Luis Solórzano
Diagramación: Grettel Rocío Calderón A.
Diseño de cubierta: Felipe Abarca F.



TEC
Instituto Tecnológico de Costa Rica



Editorial Tecnológica
de Costa Rica

Apdo 159-7050 Cartago, Costa Rica
Tel.: (506) 550-2297, 550-2336 • Fax (506) 552-5354
Correo electrónico: editorial@itcr.ac.cr

Recomendaciones para los autores que deseen publicar en *Tecnología en Marcha*

Esta revista del Instituto Tecnológico de Costa Rica acepta artículos en español, de difusión de resultados de investigación y de la práctica profesional y docente en temas científicos y tecnológicos, así como de análisis del papel e importancia de las diferentes disciplinas tecnológicas en el desarrollo.

1. El autor del documento deberá hacer la solicitud escrita de publicación al Director de la revista y enviarla a la siguiente dirección:

Sr. Mario Castillo Méndez, Director
Tecnología en Marcha
Editorial Tecnológica de Costa Rica
Apartado 159-7050
Fax (506) 552-5354
Cartago-Costa Rica o por correo electrónico
editorial@itcr.ac.cr

2. La Comisión Editorial analizará el documento y, con base en el juicio de un especialista, decidirá si lo acepta o lo rechaza. Esta decisión se dará a conocer al autor en un plazo no mayor de un mes después de haber sido tomada.
3. La Comisión podrá sugerir al autor modificaciones de forma y (o) contenido del documento, cuando considere que con ello el artículo gana en claridad. El autor se comprometerá a analizar los cambios propuestos y a incorporar en el artículo aquellos que sean pertinentes.
4. Ningún manuscrito debe ser enviado con miras a su publicación en *Tecnología en Marcha*, si ya ha sido publicado por otra revista o si va a publicarse.
5. La extensión de los trabajos debe oscilar entre 5 y 15 páginas de 21,5 x 28 cm (8,5 x 11 pulgadas). Trabajos mayores se aceptarán excepcionalmente, a juicio de la Comisión Editorial de la revista.
6. Los artículos deberán presentarse impresos en papel y enviar copia del archivo en *word* en registro electrónico.
7. La lista de la literatura citada aparecerá al final del documento, ordenada alfabéticamente por el apellido del autor o consecutivamente, según el orden de aparición en el artículo. Debe contener la información descriptiva necesaria para su identificación.
8. Si el artículo incluye fotografías, deberán entregarse en blanco y negro o color.

Si se envían rastreadas estas deben venir a 260 dpi como mínimo.
9. En lo pertinente, se usará el Sistema Internacional de Pesos y Unidades de Medida.
10. Incluir nombre del autor o autores teléfonos, profesión, lugar de trabajo, correo electrónico y las palabras clave de acuerdo con los temas que trata el artículo.
11. Resumen del tema que trata el artículo.

Datos de catalogación en publicación

Tecnología en marcha / Editorial Tecnológica
de Costa Rica. - - Vol. 16, no. 4 (2003) –
Cartago: la Editorial, 2003 –

Trimestral

1. CIENCIA Y TECNOLOGÍA –
PUBLICACIONES PERIÓDICAS CDD:600

Efecto de altas presiones en esporas de *Bacillus cereus* en carne de vacuno

Castillo A., L.A. ¹
Mészáros, L. ²
Kiss, I. F. ³

*Se estudió el efecto del tratamiento a alta presión (HPP) solo y en combinación con la nisina sobre esporas de *Bacillus cereus* en carne de vacuno. La presión en un intervalo de 0 a 800 MPa por sí misma, como en combinación con nisina (670 IU g⁻¹), fue estudiada en carne molida envasada al vacío.*

Palabras clave

Fratamiento no-térmico, tratamiento altas presiones, nisina, decontaminación microbiana.

Resumen

Se estudió el efecto del tratamiento a alta presión (HPP) solo y en combinación con la nisina sobre esporas de *Bacillus cereus* en carne de vacuno. La presión en un intervalo de 0 a 800 MPa por sí misma, como en combinación con nisina (670 IU g⁻¹), fue estudiada en carne molida envasada al vacío.

Las esporas de *Bacillus cereus* (inoculación artificial) fueron muy resistentes ($D_{10} = 800$ MPa) al tratamiento hidrostático. El estudio de la eficacia del tratamiento HPP en combinación con la nisina requiere más trabajo de investigación.

Introducción

La contaminación microbiológica inicial de los alimentos y las condiciones de su almacenamiento determinan el tiempo de conservación de estos. Por esto es de suma importancia una carga bacteriana pequeña. Con la aplicación de los métodos de fabricación correcta (GMP) es posible lograr una carga microbiológica del orden de 10^3 g⁻¹ de contaminación y mantenerla durante un tiempo.

Sin embargo, para alcanzar el objetivo de la prolongación del tiempo de conservación y la eliminación de microorganismos patógenos se justifica la utilización de algún tipo de descontaminación microbiológica, como parte integral de la tecnología, e incrementar su efecto por medio del tratamiento combinado. Esto es particularmente importante teniendo en cuenta la elevada resistencia de las esporas bacterianas, en general, y el efecto del medio en que se encuentran (Gould, 1973; Hoover *et al.* 1989; Knorr, 1993; Smelt,

- 1 M.Sc. Luis A.G. Castillo Ar. (lcastillo@itcr.ac.cr). Funcionario académico. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos.
- 2 M.Sc. L. Meszaros. (huto@omega.kee.hu). Colaborador científico de la Facultad de Ciencias Alimentarias. Departamento de Refrigeración Universidad St Istvan de Budapest- Hungría.
- 3 Dr. I. F. Kiss. (kissif@omega.kee.hu). Catedrático de la Facultad de Ciencias Alimentarias. Departamento de Refrigeración. Universidad St Istvan de Budapest-República de Hungría H1118 Budapest. Villanyi ut 29-43 <http://www.food.kee.hu/english.php>.

1998; Capellas *et al.* 2000). El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de las altas presiones solo y en combinación con nisina sobre esporas de *Bacillus cereus* y, de si la nisina incrementa el efecto del tratamiento hidrostático sobre las esporas en carne molida de vacuno.

Materiales y métodos

Fue utilizada carne de vacuno (musculus psoas maior) de 24 horas después de la matanza. La carne fue molida e inoculada con una suspensión de esporas latente de *Bacillus cereus* (cepa psicotrófica F 46.29.90 ATO-DLO, Wageningen). En una de las investigaciones para eliminar las células vegetativas, la suspensión de esporas fue tratada térmicamente a 60 °C 10 minutos antes de su uso, el recuento total fue de 10^6 - 10^7 CFU g⁻¹. En otra experiencia la suspensión de esporas fue activada a 80 °C 10 minutos y mezclada con la carne molida, resultando así un recuento de 10^7 CFU g⁻¹.

El preparado NISAPLIN (Aplin & Barrett Ltd., U.K., 1.0×10^6 IU nisina g⁻¹) fue usado en los experimentos. Fue disuelto en 50% de alcohol etílico, luego centrifugado (MLW T-24) durante 2 minutos a 15×10^3 U min⁻¹ y filtrado con MILLEX®-GV 0,22 µm (MILLIPORE) obteniéndose, de esta forma, una solución de nisina con una concentración de 670 IU g⁻¹. Esta solución fue preparada y mantenida a 4 °C, 24 horas antes de su uso.

Las muestras inoculadas con esporas de *Bacillus cereus* fueron almacenadas a 4 °C de temperatura como máximo 60 minutos antes del tratamiento a alta presión.

El tratamiento hidrostático fue realizado por medio del FOOD LAB 900 (STANSTED, U.K) en un intervalo de presión de 100-800 MPa; el tiempo de tratamiento fue de 20 minutos y la temperatura de proceso se mantuvo entre 0 y 40 °C, durante los tratamientos.

Las muestras fueron almacenadas en refrigeración a una temperatura de 4 °C, durante su estudio. Las investigaciones microbiológicas de las muestras, tanto inoculadas como no inoculadas, se llevaron a cabo en función del tratamiento HPP, en función del tratamiento HPP en combinación con nisina y en función del tiempo de almacenamiento.

Una muestra de 10 g de carne molida fue homogeneizada en 90 ml de diluyente de recuperación máxima (0,1% peptona, 0,85% NaCl) con un Stomacher. De esta suspensión base se prepararon series de diluciones decimales. Para el recuento total de organismos viables, en general, se usó el método de recuento por medio de la siembra en espiral de las placas (técnica Spiral Plater) y en el caso de recuentos de cifras bajas de microorganismos viables, el método del número más probable (MPN).

El recuento de esporas de *Bacillus cereus* después del tratamiento térmico y el recuento de esporas de *Bacillus cereus* fue determinado en Cereus Selective Agar Base (MERCK, 1.05267) incubado a 30 °C por 24 horas.

El efecto de los diferentes tratamientos sobre los microorganismos fue evaluado por los cambios de las células viables. Los promedios, la desviación standard y las ecuaciones de regresión fueron calculados de los datos y las curvas de supervivencia fueron ajustadas.

Resultados

La resistencia de las esporas bacterianas es alta en los diferentes tratamientos, por esta razón el efecto de la presión y su combinación con nisina sobre las esporas sobrevivientes de *Bacillus cereus* en carne molida de vacuno fue estudiado.

La suspensión de esporas latente de *Bacillus cereus* fue tratada térmicamente a 60 °C por 10 minutos (eliminación de las

Las muestras fueron almacenadas en refrigeración a una temperatura de 4 °C, durante su estudio.

células vegetativas), luego se mezcló con carne molida y se le adicionó la nisina. El recuento de colonias fue reducido 1 ciclo logarítmico en el intervalo de presión 200-800 MPa, lo que indica una resistencia muy elevada (fig.1.).

La pendiente de la ecuación de regresión fue de -0,0013. La nisina no mejoró el efecto de reducción de la carga microbiológica por presión. Después de dos semanas del tratamiento, la reducción del recuento fue de 3 ciclos logarítmicos comparado con el inicial; la pendiente de la ecuación de

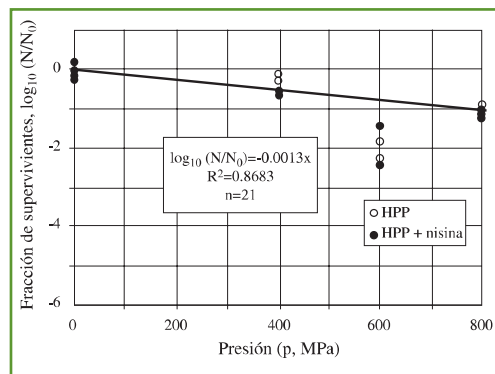


Figura 1
Fracción de supervivientes de esporas latentes de *Bacillus cereus* en carne molida de vacuno en función del HPP y la nisina, inmediatamente después del tratamiento.

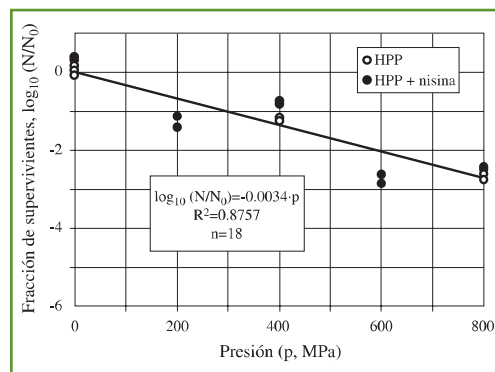


Figura 2
Fracción de supervivientes de esporas latentes de *Bacillus cereus* en carne molida de vacuno en función del HPP y la nisina 14 días después a 4 °C.

regresión fue -0,0034 en el intervalo de presión de 600-800 MPa (fig.2.).

Cuando la suspensión de esporas fue activada térmicamente, 80 °C 10 minutos, y adicionada a la carne molida, el recuento viable en el intervalo de presión 200-800 MPa cayó 1 ciclo logarítmico y este no se vio influenciado por la presencia de la nisina (fig.3.).

La reducción del recuento viable fue solo de 0,5 ciclos logarítmicos después de 16 días a 4 °C. Las diferencias entre los recuentos de colonias inmediatamente después del tratamiento y 16 días más tarde podrían indicar la reparación de las esporas dañadas (fig.4.).

Conclusiones

Generalmente las esporas bacterianas son muy resistentes a los métodos de conservación, por lo tanto, elevadas presiones, como las aplicadas en esta investigación, son para reducir la contaminación por esporas (Shigehisa *et al.* 1991; Carlez *et al.* 1994). Teniendo en cuenta esta cuestión el tratamiento combinado tiene una importancia relevante en la conservación de los

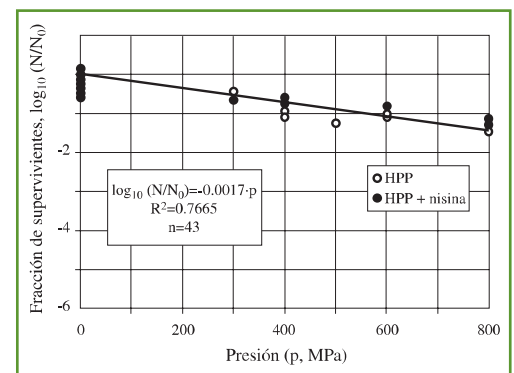


Figura 3
Fracción de supervivientes de las esporas de *Bacillus cereus* tratadas térmicamente en carne de vacuno en función del HPP y la nisina, inmediatamente después del tratamiento.

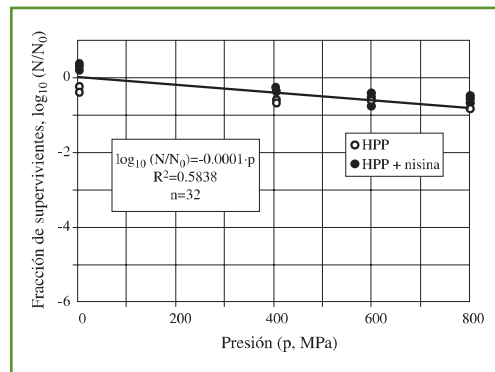


Figura 4
Fracción de supervivientes de las esporas de *Bacillus cereus* tratadas térmicamente en carne de vacuno en función del HPP y la nisina, 16 días después a 4 °C.

En la presente investigación no se pudo detectar ningún efecto adicional de la nisina sobre las esporas latentes. Las esporas activadas térmicamente mostraron un comportamiento similar, pero 16 días después las esporas tratadas mostraron elevada supervivencia.

alimentos. La nisina es muy útil contra las esporas bacterianas inhibiendo su germinación, teniendo por resultado un estado de desarrollo en la espора, el cual es tan susceptible como las células vegetativas. Las esporas latentes de *B. cereus*, aquí, fueron muy resistentes. El recuento de colonias fue reducido solo 1 ciclo logarítmico en los 800 MPa.

En la presente investigación no se pudo detectar ningún efecto adicional de la nisina sobre las esporas latentes. Las esporas activadas térmicamente mostraron un comportamiento similar, pero 16 días después las esporas tratadas mostraron elevada supervivencia. El daño subletal de las esporas durante el tiempo de almacenamiento podría ser reparado; este no se vio afectado por la nisina. De acuerdo con Hoover (1993) en el caso de esporas de *B. coagulans* (en diferente combinación, alta temperatura con mayor tiempo de tratamiento) el tratamiento hidrostático fue muy efectivo (Styles *et al.* 1991).

Se requiere investigación adicional para estudiar la supervivencias de las esporas al HPP.

La presente investigación se hizo dentro del marco del FAIR-CT96-1148 con asistencia del Comité Nacional Húngaro

de Desarrollo Tecnológico (OMFB No. 0061/99).

Los autores desean expresar su agradecimiento, por la amable ayuda; al Sr. Steve Lodge, APLIN & BARRETT Ltd. U.K., por la asistencia con la nisina; al catedrático universitario Sr. Prof. Dr. József Farkas, Universidad Szent István, Departamento de Refrigeración, Budapest, por la asistencia con las cepas de *Bacillus cereus*; así como a la Escuela de Ciencias y Letras de la Sede San Carlos (SSC) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

Referencias

- Capellas, M., Mur, M.M., Gervilla, R., Yuste, J. and Guamis, B. (2000): "Effect of high pressure combined with mild heat or nisin on inoculated bacteria and mesophiles of goat's milk fresh cheese". Food Microbiol. 17, 633-641.
- Carlez, A., Cheftal, J.C., Rosec, J.P. and Richard, N. (1994): "Bacterial growth during chilled storage of pressure treated meat". Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 27, 48-54.
- Gould, G.W.(1973): "Inactivation of spores in food by combined heat and hydrostatic pressure". Acta Alimentaria, 2 (4), 377-383.
- Hoover, D.G. (1993): "Pressure effects on biological systems". Food Technol. 47(6), 150-155.
- Hoover, D., Metrick, C., Papineau, A.M., Farkas, D. and Knorr, D. (1989): "Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms". Food Technol. 43(3), 99-107.
- Knorr, D. (1993): "Effects of high hydrostatic pressure on food safety and quality". Food Technol. 47(6), 156-161.
- Shigehisa, T., Ohmori, T., Saito, A., Taji, S. and Hayashi R. (1991): "Effects of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products". Int.J. of Microbiol. 12, 207-216.
- Smelt, J.P.P. (1998): "Recent advances in the microbiology of high pressure processing". Trends in Food Sci.and Technol. 9, 152-158.
- Styles, M.F., Hoover, D. and Farkas, D. (1991): "Response of *Listeria monocytogenes* and *Vibriopara haemolyticus* to high hydrostatic pressure". J. of Food Sci. 56(5), 1004-1407.

Filtración de glicerina de una solución modelo por ósmosis inversa y nanofiltración

Jesús Mora ^{1,2}
Meszaros P. ¹
Gyula Vatai ¹
Erika Bekassy-Molnar ²

La glicerina es un líquido incoloro, espeso y dulce, que se encuentra en todos los cuerpos grasos como base de su composición. Se usa mucho en la industria alimentaria como preservante, en la industria confitera como aditivo y en la industria cosmética como materia prima del jabón.

Palabras clave

Ósmosis inversa, Nanofiltración, Agua residual, Solución glicerina-agua.

Resumen

La glicerina es un líquido incoloro, espeso y dulce, que se encuentra en todos los cuerpos grasos como base de su composición. Se usa mucho en la industria alimentaria como preservante, en la industria confitera como aditivo y en la industria cosmética como materia prima del jabón. Químicamente es un alcohol que se disuelve bien en agua y en

otros alcoholes, es muy higroscópico y su peso molecular es de 92,09 Dalton. La eliminación de la glicerina de las aguas residuales es muy importante desde el punto de vista económico y de la protección ambiental; por eso en esta investigación se estudió la posibilidad de la filtración de la glicerina de una solución de concentración baja. En el experimento se usó una solución modelo de glicerina-agua del 3%, la recirculación del flujo se mantuvo constante (300 l/h), la temperatura fue de 27 °C y se trabajó con diferentes presiones. Los parámetros calculados fueron: el flujo del permeado a través de la membrana, asimismo la densidad relativa del permeado y del concentrado de la solución inicial. En el experimento de ósmosis inversa se

- 1 Szent Istvan University, Faculty of Food Science, Department of Food Engineering H-1118 Menesi str. 44. Budapest, Hungary, Tel: +36-1-372-62-32, Fax: +36-1-372-63-23. Emails: (jmora@omega.kee.hu), (gvatai@omega.kee.hu), (bmolnar@omega.kee.hu.)
- 2 Dirección permanente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, Escuela de Ciencias y Letras. Apartado: 223-4400 Ciudad Quesada-Costa Rica, Tel: (506)-475-5033, Fax: (506)-475-5395, Email: (jesusmm@costarricense.cr.)

utilizaron las membranas: BM 1/D, BM 0,5/D fabricada por la compañía Berghof y en nanofiltración la membrana RA 55, fabricada por la compañía Millipore, todas de material poliamida. Se pudo establecer que la ósmosis inversa dio mejor resultado en el rechazo de la glicerina; sin embargo, en la nanofiltración el flujo fue más alto.

Introducción

La ósmosis inversa (OI) y la nanofiltración (NF) son los procesos de membrana utilizados más comúnmente para tratamiento de agua potable en Estados Unidos y países árabes. Como para cualquier proceso de tratamiento de agua, la ósmosis inversa y nanofiltración se seleccionan con base en costo y calidad, teniendo el costo una significación principal la mayoría de las veces (Andriy, 2002, Sanchuan, 2001). La OI es capaz de rechazar contaminantes o partículas con diámetros tan pequeños como $0,0001 \mu\text{m}$, mientras que la NF puede rechazar contaminantes tan pequeños como $0,001 \mu\text{m}$. Ambas, la OI y la NF, pueden describirse como procesos de difusión controlada en que la transferencia de masa de iones a través de las membranas está controlada por difusión (Yaacov, 2001, Semiat, 2001). Consecuentemente, estos procesos pueden llevar a la remoción de sales, durezas, patógenos, turbidez, desinfección de subproductos precursores, compuestos orgánicos sintéticos, pesticidas y la mayoría de los contaminantes del agua potable conocidos hoy. La mayoría de los gases disueltos, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de azufre (SO_2) y el dióxido de carbono (CO_2), y algunos pesticidas pasan a través de las membranas de OI y NF. Sin embargo, la tecnología de las membranas puede utilizarse para tratar un mayor número de contaminantes del agua potable y del agua residual, más que ninguna otra tecnología de tratamiento (Mallevalle, 1998, Marki, 2001).

Teoría

La ósmosis inversa y la nanofiltración son operaciones de membrana en las que la fuerza actuante es una diferencia de presión a través de la membrana.

La ósmosis inversa

La OI es una operación de membrana en la que, por medio de una presión, el solvente de una solución se transfiere a través de una densa membrana fabricada expresamente para retener sales y solutos de bajo peso molecular. Si una solución salina concentrada está separada del agua pura por este tipo de membrana, la diferencia de potencial químico tiende a promover la difusión del agua desde el compartimento diluido al compartimento concentrado para igualar las concentraciones. En el equilibrio, la diferencia de niveles entre los dos compartimentos corresponde a la presión osmótica de la solución salina. Para producir agua pura de una solución salina, debe aplicarse una presión que sea mayor a la presión osmótica de la solución. Del mismo modo, para obtener flujos o caudales económicamente viables, al menos debe ejercerse el doble de la presión osmótica; por ejemplo, para agua marina se usan presiones de 5 a 8 Mpa (Mulder, 1998, Porter, 1990).

Nanofiltración

La NF, también llamada ósmosis inversa a baja presión o desdurecimiento por membranas, relaciona la OI y la UF en términos de selectividad de la membrana, la cual está diseñada para eliminar iones polivalentes (calcio y magnesio) en operaciones de ablandamiento. Más recientemente, la NF ha sido empleada para eliminar o separar la materia orgánica. En esta técnica, los iones monovalentes son rechazados débilmente por la membrana. Esto explica por qué la NF permite una contrapresión osmótica

La ósmosis inversa y la nanofiltración son operaciones de membrana en las que la fuerza actuante es una diferencia de presión a través de la membrana.

mucho menor que la experimentada por la OI (Mallevalle,1998, Mora, 2002).

Materiales y métodos

El propósito básico de este experimento fue examinar cuál de los dos procesos (ósmosis inversa y nanofiltración) es más apto para la eliminación de la glicerina de solución modelo glicerina-agua. En el experimento se usó una solución modelo de glicerina-agua del 3%, la recirculación del flujo se mantuvo constante (300 l/h), la temperatura fue de 27 °C y se trabajó con diferentes presiones. Los parámetros calculados fueron el flujo del permeado a través de la membrana, rechazo de la glicerina por medio de la densidad relativa del permeado y del concentrado de la solución inicial. En el experimento de ósmosis inversa se utilizaron las membranas: BM 1/D, BM 0,5/D, fabricadas por la compañía Berghof, y en nanofiltración la membrana RA 55, fabricada por la compañía Millipore, todas de material poliamida. Los aparatos utilizados para las mediciones fueron: el DDS Minilab 20 (ósmosis inversa) y el Millipore Y-prolab 2 (nanofiltración). Las características de las membranas utilizadas en los experimentos se muestran en la tabla 1. Para la caracterización de eficiencia de filtración del flujo (J) de permeado y de

rechazo (R%) se empleó la siguiente ecuación: $R = 1 - (C_p/C_f)$, donde C_p y C_f son las concentraciones de permeado y alimentación.

Resultados y discusión

Basado en el modelo de solución-difusión, a continuación se describe el transporte de solvente (J_w) y soluto (J_s) a través de las membranas en términos de las afinidades relativas de estos componentes para la membrana y su transporte difusivo por el interior de la fase membrana:

$$J_w = -K_w \frac{(\Delta p - \Delta \Pi_w)}{\delta} \quad J_s = -D_s K_d \frac{(c_f - c_p)}{\delta}$$

donde K_w es la permeabilidad hidráulica, Δp es la presión diferencial a través de la membrana, $\Delta \pi$ es la presión osmótica diferencial, δ_m es espesor de la membrana, D_s es el coeficiente de difusión del soluto y K_d es el coeficiente de distribución que describe la afinidad relativa del solvente por la membrana.

En la tabla 2 se pueden observar los cocientes (K_w/δ y $D_s K_d/\delta$) que caracterizan la membrana, determinados por medio de estas dos ecuaciones (Mallevalle, 1998). Claramente se puede observar que el cociente K_w/δ fue mayor en la membrana de nanofiltración (5,48),

El propósito básico de este experimento fue examinar cuál de los dos procesos (ósmosis inversa y nanofiltración) es más apto para la eliminación de la glicerina de solución modelo glicerina-agua.

Tabla 1
Características de las membranas utilizadas en ósmosis inversa y nanofiltración.

Tipo de	Fabricante	Material de la membrana	PMC* [Dalton]	Rechazo del NaCl** [%]	Flujo del agua* [L/m ² h]	Superficie de la membrana [cm ²]
BM 0,5/D	Berghof	Poliamida	50	97	18	180
BM 1/D	Berghof	Poliamida	100	96	45	180
RA 55	Millipore	Poliamida	200	80	90	3000

* Peso molecular de corte ** 40 bar, 25 °C

Tabla 2
Cocientes K_w/δ y D_sK_d/δ de las membranas ósmosis inversa y nanofiltración.

Membranas	BM 0.5/D	BM 1/D	RA 55
$K_w/\delta \cdot 10^7 \left[\frac{m^3}{m^2 \cdot s \cdot bar} \right]$	1,06	2,58	5,48
$D_sK_d/\delta \cdot 10^7 \left[\frac{m^4}{kg \cdot s} \right]$	0,92	2,18	-

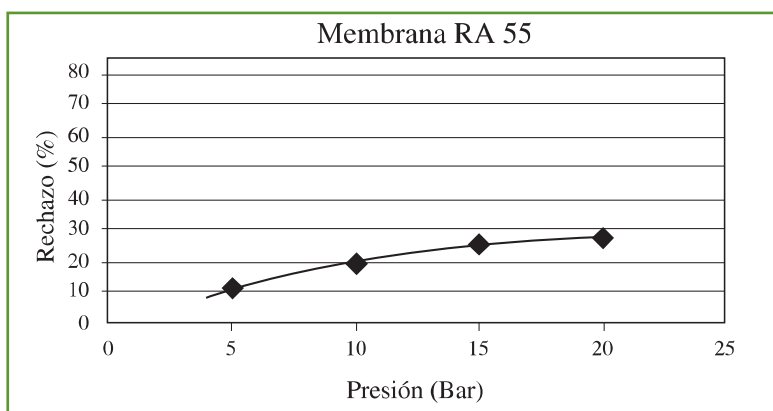


Figura 1
Rechazo de la glicerina versus presión en la membrana RA 55 (proceso de nanofiltración)

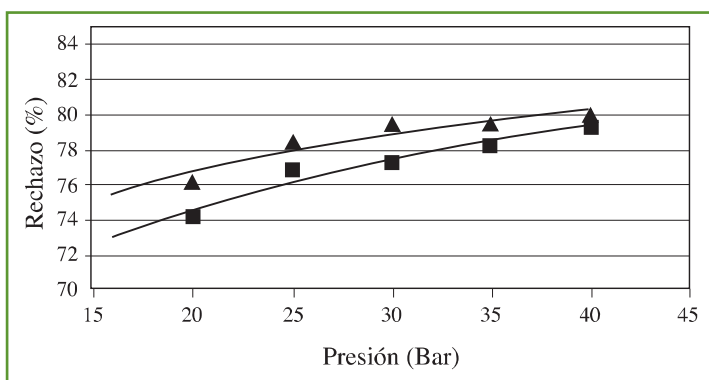


Figura 2
Rechazo de la glicerina versus presión en la membrana BM 0.5/D y BM1/D (proceso de ósmosis inversa)

lo que indica que cuanto mayor sea este número mayor es el flujo del agua limpia (solvente), lo cual quedó demostrado en el experimento. Luego le sigue la membrana de ósmosis inversa BM 1/D con 2,58 y la BM 0.5/D con 1,06. En el caso del cociente D_sK_d/δ que se refiere al soluto (flujo de la glicerina) también se comportó de la misma manera.

En la figura 1 se puede observar (en la membrana RA 55, proceso de nanofiltración) cómo el rechazo de la glicerina de la solución modelo fue muy bajo en comparación con las membranas BM 0.5/D y BM1/D (proceso de ósmosis inversa), siendo la membrana BM 0.5/D (figura 2) la más eficiente. Queda demostrado que con el aumento de la presión se incrementa el rechazo de la glicerina de las tres membranas examinadas.

En la figura 3 se puede observar cómo el flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia (en la membrana RA55, proceso de nanofiltración) aumenta al incrementarse la presión. En los dos casos el aumento es similar, lo que indica que en la nanofiltración el flujo fue más alto que en la ósmosis inversa, como lo indican las figuras 4 y 5.

En el caso de las membranas BM 0.5/D y BM1/D (proceso de ósmosis inversa) se puede observar que el flujo del agua limpia aumentó linealmente con el aumento de la presión; no obstante, en el caso de la solución modelo el aumento no fue lineal, lo cual concuerda con el modelo descrito en la literatura: "Relación entre el flujo del permeado y la presión transmembrana" (Hu, 2002), que dice: "Con el aumento de la presión de filtración aumenta el flujo, pero después de cierto punto no aumenta más, debido a que se forma una resistencia de difusión a causa de la formación de torta en la membrana, y diferencia de concentración de la masa principal de la solución".

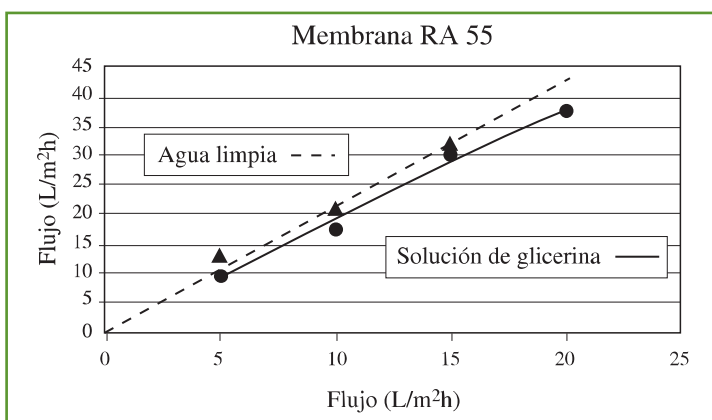


Figura 3

Flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia versus presión en la membrana RA55 (proceso de nanofiltración)

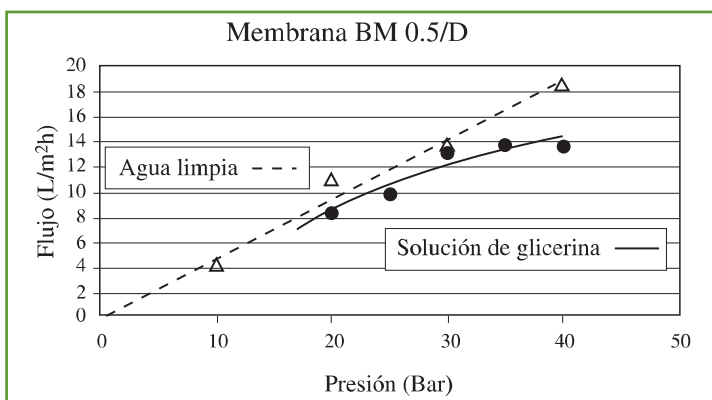


Figura 4

Flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia versus presión en la membrana BM 0.5/D (proceso de ósmosis inversa)

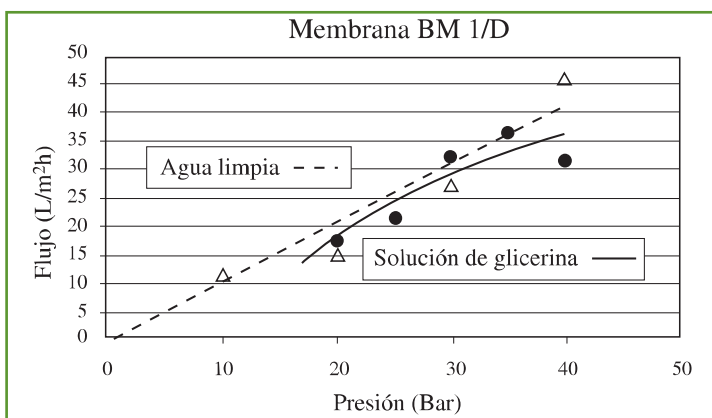


Figura 5

Flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia versus presión en la membrana BM 1/D (proceso de ósmosis inversa)

Conclusiones

Se demostró que el flujo del permeado de la solución modelo glicerina-agua y agua limpia aumenta con el incremento de la presión, esto en las tres membranas examinadas. Con base en los resultados se puede establecer que las dos membranas de ósmosis inversa dieron mejores resultados en el rechazo de la glicerina (80%), en la membrana de nanofiltración el rechazo fue apenas del 30%; sin embargo, el flujo fue más alto. También se comprobó la teoría del modelo según la cual el flujo del agua limpia aumenta linealmente con el aumento de la presión; no obstante, en el caso de la solución modelo (o agua residual) el incremento no es lineal y después de cierto punto no aumenta más. También los resultados de los cocientes $K_w/\delta D_s K_d/\delta$ determinados de las tres membranas concordaron con los resultados de flujos del solvente y soluto obtenidos en la investigación.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer las grandes contribuciones del ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica), MICIT (Ministerio de Ciencias y Tecnologías), CONICIT (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas) y de la Fundación OTKA número T 29977 y T 37848.

Referencias bibliográficas

- [1] Andriy E. Yaroshchuk, "Rejection of single salts versus transmembrane volume flow in RO/NF: thermodynamic properties, model of constant coefficients, and its modification", *Journal of Membrane Science* 198, 285-297, 2002.
- [2] Durham B., Marguerite B.M., Pankratz T. "Membranes as pretreatments to desalination in wastewater reuse: operating experience in the municipal and industrial sectors", *Desalination* 138, 83-90, 2001.

- [3] Hu X., Separation of oil-in-water emulsion for environmental protection", PhD. Thesis, Szent Istvan University, Budapest, 2002.
- [4] Mallevialle J. et al. "Water Treatment membrane Processes", *American Water Works Association Research Foundation Publications*, 1998.
- [5] Mora M. J., Vatai Gy., Bekassy-Molnar E., "Aplicación de la Nanofiltración y Pervaporación en el tratamiento de aguas residuales", Aceptado para ser publicado en la *Revista Tecnología en Marcha* No. 15-2-2002.
- [6] Marki E., Lent. B., Vatai Gy., Bekassy-Molnar E. "Clean technology for acetone absorption and recovery", *Separation and Purification Technology*, vol. 22-23, 377-382, 2001.
- [7] Mulder M. "Basic Principles of membrane Technology", *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht/Boston/London, 1997.
- [8] Porter M. C. "Handbook of Industrial Membrane Technology", *Noyes Publications*, United States of America, 1990.
- [9] Sanchuan Y., Congjie G., Su H., Liu M., "Nanofiltration used desalination and concentration in dye productin", *Journal of Membrane Science* 140, 97-100 (2001).
- [10] Yaacov H., Dan R., Gailil N., Semiat R., "Evaluation of membrane processes to reduce the salinity of reclaimed wastewater", *Journal of Membrane Science* 137, 71-189, 2001.

Análisis del sistema radicular del almendro (*Dipteryx panamensis* –Pitt.– Record & Mell) en la zona norte de Costa Rica

Ileana Moreira González ¹
Luis A. Fournier Origgí [†]

Palabras clave

Raíces, árboles tropicales, almendro, *Dipteryx panamensis*, muestreo radicular.

Resumen

Se estudiaron árboles de *Dipteryx panamensis* (almendro) en cuatro parcelas ubicadas en el cantón de Sarapiquí, provincia de Heredia, Costa Rica. Las parcelas que se identificaron con los nombres de Canadá, raleadas y no raleadas se encuentran en finca La Selva. La parcela Chilamate está conformada por árboles ubicados en zonas de protección en la región de Pueblo Nuevo de Chilamate.

El estudio se realizó de mayo a octubre de 1997. En un árbol de cada parcela se trazó una línea entre los puntos cardinales este y oeste, y se ubicaron los puntos de muestreo en el suelo a partir del fuste del individuo: a media copa, copa, copa y media. En cada uno de esos puntos se extrajeron tres muestras de

suelo con un barreno de diseño especial, a 10, 20 y 50 cm de profundidad. La muestra extraída se zarandó y se obtuvieron las raíces finas, las cuales se identificaron y se colocaron en bolsas plásticas. En el laboratorio se les determinó el peso seco, para estimar la densidad por punto de muestreo. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante la comparación entre los valores (GLM, options lsmeans), entre puntos cardinales por parcela, por puntos de muestreo y por profundidad. No se encontraron diferencias significativas en la densidad radicular respecto de las parcelas, los puntos cardinales, ni la profundidad de muestreo.

Un aspecto que se debe contemplar en todo estudio sobre autoecología de una especie es el desarrollo del sistema radicular. Este debe ser del conocimiento del investigador en todo proceso que involucre un uso adecuado de las especies forestales, pues las potencialidades hereditarias de las especies y el medio

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Biología. (imoreira@itcr.ac.cr).

ambiente son factores que influyen en la adaptación de los individuos a las condiciones donde crecen.

La competencia por agua y nutrientes minerales depende de la distribución relativa de las raíces finas de los árboles en el suelo. Estas permiten absorber la mayor cantidad de nutrientes pues en ellas estos pasan a través de tejidos de poco grosor y se extienden en las zonas donde hay la mayor cantidad de agua disponible. (Spek y Purnomosidhi, 1995).

El crecimiento de las raíces y el del del vástago dependen, en varios aspectos, uno del otro y si el crecimiento de uno de ellos se ve muy alterado, lo probable es que al otro le suceda lo mismo. El desarrollo radicular de cada especie está codificado genéticamente y de este depende el buen desenvolvimiento de la parte aérea. El tipo de suelo en el que se desarrolla la planta es el primer factor limitante. Hay raíces que no tienen flexibilidad para superar los obstáculos en suelos con mucha piedra y pocos nutrientes. Los requerimientos nutricionales de la planta limitan el buen desarrollo de esta y si el suelo no los brinda, esta morirá o tendrá un crecimiento raquíutico (Waisel y Amran, 1991).

Estudios realizados por Morales (1997) para *Eucalyptus* sp y *Coffea* sp mostraron que el crecimiento radicular está más concentrado en la parte superficial del suelo y solo la raíz pivotante puede llegar a profundizar en este si las condiciones lo permiten. En *Eucalyptus* sp las raíces laterales pueden crecer cerca de la superficie hasta un radio de 12 m, pero estas varían según las condiciones del suelo, acceso a nutrientes y humedad. En café, las raíces superficiales crecen entre 1,35 y 1,65 m de radio. Las raíces finas decrecen con la profundidad. A 10 cm hubo mayor número de raíces que a 30 cm, donde se acumuló el 73% de las raíces finas.

El crecimiento radicular en especies de importancia comercial ha sido relacionado con la temperatura del suelo y la textura de este (Conlin y Lieffers, 1992). En *Dipteryx panamensis* (almendro), se produce follaje durante la estación húmeda acompañado de un crecimiento radicular muy notorio.

Esta investigación tiene como objetivo determinar la densidad radicular de los árboles de *Dipteryx panamensis* (almendro) en cuatro condiciones de crecimiento.

Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo de mayo a octubre de 1997, en la zona norte de Costa Rica, Región Atlántica, cantón de Sarapiquí, provincia de Heredia. Se trabajó en tres parcelas ubicadas en finca La Selva, sector de La Guaria, Puerto Viejo de Sarapiquí, identificadas como parcela raleada, no raleada y parcela Canadá (árboles de plantación). También se incluyó una parcela de árboles adultos ubicados en una zona de protección identificada como parcela Chilamate.

En cada una de las parcelas se escogió un individuo lo más aislado posible y se muestreó, tomando unas líneas entre los puntos cardinales este-oeste, a partir de la base del árbol seleccionado. Las muestras de suelo se tomaron con un barreno de 10 cm de diámetro, en tres puntos sobre cada línea (media copa, copa y copa y media) (Fig 1). En cada punto se extrajeron muestras a una profundidad de 10, 20 y 50 cm y se colocaron en una superficie plana para extraer las raíces finas del árbol, las cuales fueron llevadas a laboratorio para determinar el peso seco y el peso fresco.

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante la comparación entre los valores promedio (GLM, option lsmeans) (SAS, 1999); entre puntos cardinales por parcelas, por puntos de muestreo, por profundidad, por densidad.

Esta investigación tiene como objetivo determinar la densidad radicular de los árboles de Dipteryx panamensis (almendro) en cuatro condiciones de crecimiento.

Resultados y discusión

La mayor densidad de raíces por peso seco, se presentó en la parcela Canadá (árboles de nueve años de edad), donde el árbol muestreado está a una distancia de cuatro metros del más próximo (Cuadro 1).

En la parcela donde no se raleó, se obtuvo el menor promedio de raíces, lo que sugiere que el sistema radicular no muestra un desarrollo adecuado en los árboles de almendro que crecen en parcelas con distanciamientos de 2x2 m y que no se ralean en un tiempo prudencial.

Por otro lado, la mayor densidad de raíces se obtuvo a una profundidad de 50 cm, para todos los puntos muestreados, excepto para el borde de copa del sector oeste. Esto podría estar condicionado por los movimientos de la capa freática ya que el muestreo fue realizado en época seca. En muestreos posteriores del suelo se observó un mayor crecimiento de raíces en el estrato más superficial, cuando la precipitación fue mayor, lo que se contrapone a lo expresado por Waissel y Amran (1991) quienes indican que los árboles producen menos raíces cuando hay más lluvia.

Hubo una mayor densidad de raíces al borde de copa y el crecimiento del

sistema radicular tiende a tener un mayor desarrollo hacia el lado oeste de las parcelas (Cuadro 1) lo que coincide con lo encontrado por Gómez (1984) en *Tabebuia rosea*. Esto puede estar relacionado con la zona de goteo del árbol, pues es en el borde de copa donde hay una mayor concentración de follaje, lo que pareciera permitir una mayor cantidad de agua que cae directamente al suelo, estimulando el desarrollo radicular en esa área. Esto puede presentarse aun en épocas de baja precipitación por la condensación nocturna en el follaje.

Con respecto a los puntos cardinales, en el oeste se encontró una mayor concentración radicular. Esto se puede deber a que este recibe menos luz que el lado este, lo cual permite la acumulación de una mayor humedad que puede favorecer el desarrollo radicular. Según Veendelaal *et al.* (1995) un exceso de humedad afecta los procesos de absorción de agua y nutrimentos por la raíz, debido a la deficiencia de oxígeno y acumulación de bióxido de carbono, lo cual podría provocar un crecimiento mayor de raíces que permita a la planta resolver esa situación.

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en la densidad de raíces entre

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en la densidad de raíces entre puntos cardinales, parcelas y las diversas profundidades de muestreo.

Cuadro 1
Peso seco (g) de raíces de *Dipteryx panamensis* extraídas del suelo muestreado en parcelas ubicadas en finca La Selva y Chilamate, Puerto Viejo, Sarapiquí. Costa Rica

Parcela	Peso seco de raíces																		
	OESTE									ESTE									
	1/2 COPA			COPA			COPA y 1/2			1/2 COPA			COPA			COPA Y 1/2			
	10 cm	30 cm	50 cm	10 cm	30 cm	50 cm	10 cm	30 cm	50 cm	10 cm	30 cm	50 cm	10 cm	30 cm	50 cm	10 cm	30 cm	50 cm	10 cm
Canadá	1.04	1.52	7.53	6.17	11.33	4.76	0.95	0.6	0.93	0.31	0.41	0.77	0.25	0.64	0.61	0.75	0.69	3.02	2.349
N.Raleada	0.51	0.77	0.27	0.11	0.63	2.36	0.15	0.29	1.35	2.8	2.02	0.31	0.44	1.11	0.66	0.16	0.12	0.46	0.807
Raleada	0.4	0.52	1.68	0.12	0.39	0.88	0.03	0.82	1.51	0.4	1.14	1.05	1.11	1.56	0.52	2.41	3.66	2.88	1.171
Chilamate	0.74	1.94	1.59	0.15	1.33	2.79	0.16	1.85	6.33	0.66	0.4	3.56	0.2	1.09	6.09	0.14	0.28	1.19	1.694
	0.673	1.188	2.768	1.638	3.42	2.698	0.323	0.89	2.53	1.043	0.993	1.423	0.5	1.1	1.97	0.865	1.188	1.888	

puntos cardinales, parcelas y las diversas profundidades de muestreo.

Conclusiones

A pesar de que estadísticamente no se puede comprobar que hay diferencias significativas entre los puntos cardinales, profundidades y sitios, es importante aclarar que los resultados marcan una serie de tendencias dignas de tomarse en cuenta cuando se están estableciendo ensayos de distanciamientos en plantación para las diferentes especies nativas que se quieren introducir como opciones para reforestar y aprovechar. Actualmente, se utilizan distanciamientos

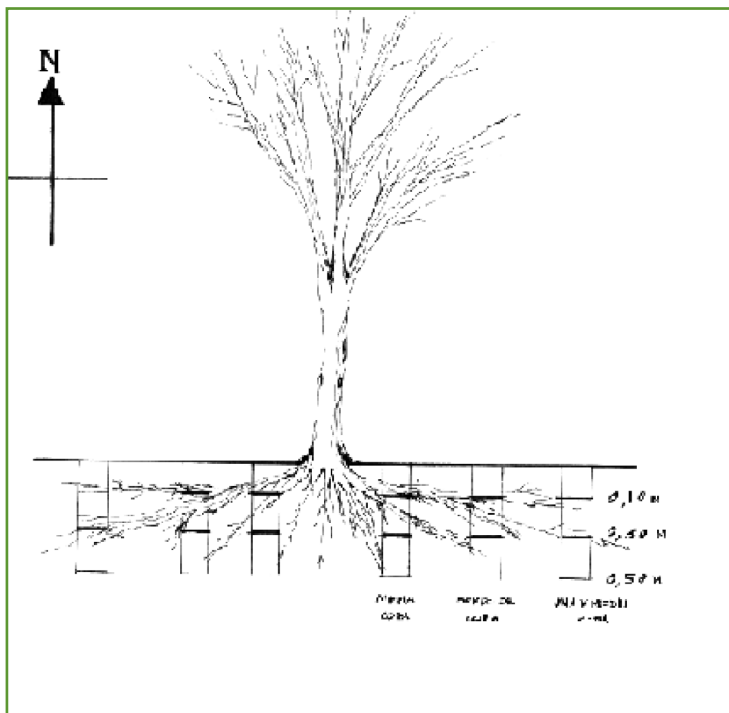


Figura 1
Diagrama demostrativo del muestreo radicular efectuado en *Dipteryx panamensis* (almendro)

que permiten aprovechar mejor el terreno en cuanto a número de árboles que se pueden plantar, pero es probable que para las especies heliófitas, que por sus características son las usadas para estos proyectos, se requieran mayores distanciamientos y otras condiciones que se deben comenzar a estimar antes de ofrecerlas como opciones valiosas en planes de reforestación de sitios alterados.

Literatura consultada

Conlin, T y L. Lieffers, 1992. *Seasonal growth of black spruce and tamarack roots in an Alberta peatland*. Canadian Journal Botany. 71: 359-360

Gómez, P. 1984. *Fenología y Ecofisiología de dos poblaciones de Tabebuia rosea (Bertol) D.C. (Roble de Sabana) en el Valle Central de Costa Rica*. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae. Programa de Estudios de Postgrado en Biología. Universidad de Costa Rica. 55 p.

Morales, E. 1997. *Arquitectura y distribución espacial de raíces de eucaliptus deglupta dentro de un sistema agroforestal simultáneo con Coffea arabica*. Tesis para optar por el grado de Magister Scientific. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 123 p.

SAS/STAT. 1999. *Institute Inc.*, IV Ed. Versión 6. Vol I yll. Cary, NC; USA. 1767 p.

Spek, M y P. Purnomosidhi. 1995. *Quantifying shallow root, tree geometry makes root research easy*. Agroforestry Today. Vol 7 (2):9-11.

Veenendaal, E.; M. Swaine; V. Agyeman; D. Blay; I. Abebrese; C. Mullins. 1995. *Differences in plant and Soil water relations in and around a forest gap in West Africa during the dry season may influence seedling establishment and survival*. Journal of Ecology. 83: 83-90.

Waisel, Y y E. Amran I. 1991. *Plant roots. The hidden half*. Uzi kafkaaffi, Hebrew University of Jerusalem Rehovot, Israel. 948 p.

Apéndice 1

Posible mecanismo en que el ambiente físico estimula cambios al nivel celular, que se manifiestan en la fenología de la planta.

(Tomado de Salisbury y Ross, 1992)



Apéndice 2

Manifestaciones fenológicas por acción del ambiente al nivel celular de la planta.

(Tomado de Fournier, 1993)

Ambiente físico

Atmósfera
+
Suelo

Genotipo

Reacciones celulares

Procesos fisiológicos

Manifestaciones morfológicas y fenológicas

Vástago vegetativo

Caída de follaje
Origen y desarrollo de nuevas hojas
Alargamiento de tallos
Ramificación
Incremento diametral
Formación de corcho
Exfoliación de corteza
Apertura de estomas

Vástago reproductivo

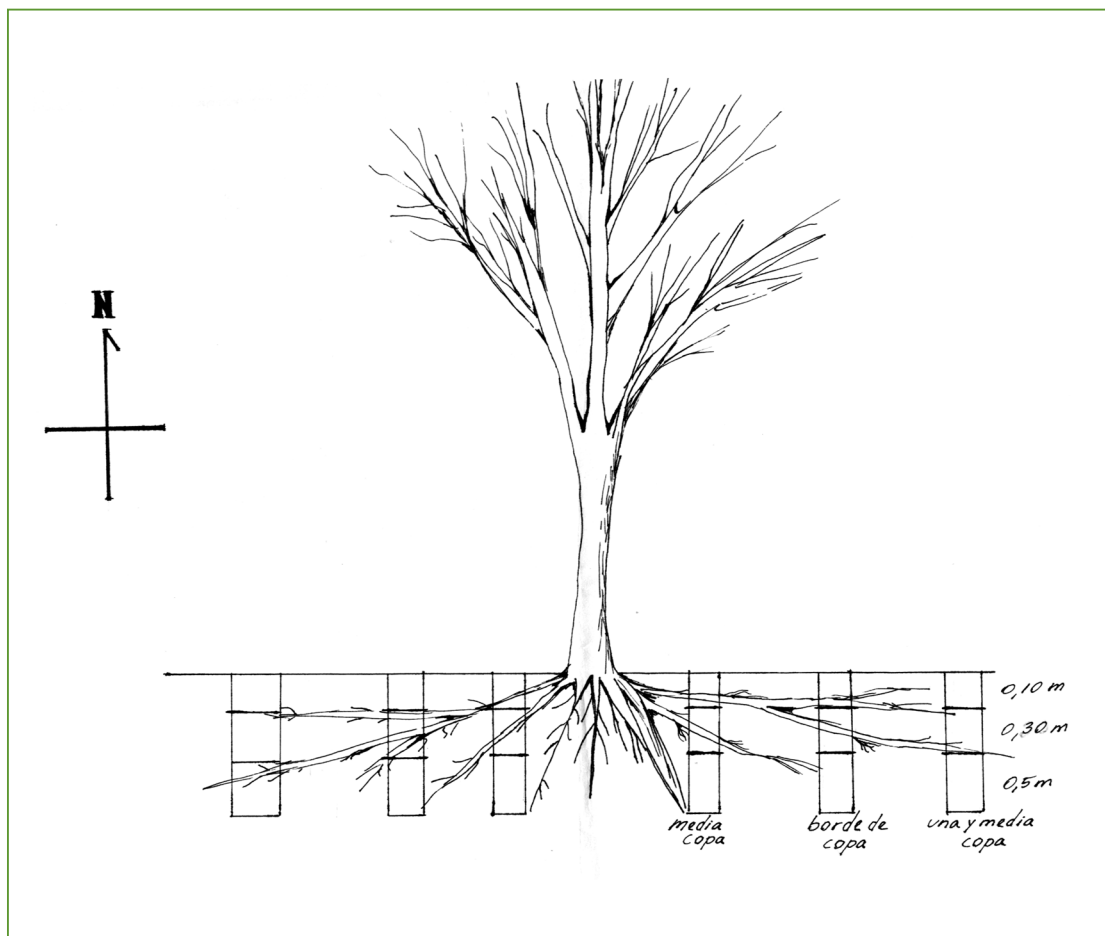
Diferenciación de yemas florales
Letargo de yemas florales
Reinicio de crecimiento de yemas florales
Antesis
Polinización y fecundación
Crecimiento y desarrollo del fruto
Maduración del fruto y la semilla

Sistema radicular

Crecimiento de la raíz pivotante
Origen y desarrollo de raíces secundarias y de otros órdenes
Diferenciación de pelos radiculares
Incremento en longitud y diámetro de las raíces de diferentes órdenes
Suberización de raíces

Apéndice 3

Diagrama demostrativo del muestreo radicular efectuado en *Dipteryx panamensis* (almendro).



Apéndice 4

Correlaciones lineales de los factores climáticos con las diferentes fenofases en 4 parcelas ubicadas en Sarapiquí, Heredia. Costa Rica.

Cuadro 1
Correlaciones lineales entre la expresión fenológica y los factores ambientales en árboles de *Dipteryx panamensis* (Almendro), ubicados en Chilamate, Sarapiquí. Costa Rica.

	Brotad .	Follaje	Brot. flor	Flor	Fruto ver.	Fruto mad.
°C min	0.272	0.255	0.590	0.609	0.113	-0.670
°C	0.444	-0.033	0.503	0.531	0.060	-0.534
°C max	0.428	-0.2	0.138	0.214	0.107	-0.124
MM	-0.108	0.289	0.344	0.249	-0.126	-0.351
LUZ	0.375	-0.370	0.071	0.104	-0.209	-0.182

Cuadro 2
Correlaciones lineales entre las fenofases y los factores ambientales, en árboles de la parcela Canadá, en finca La Selva, Sarapiquí. Costa Rica.

	Brotad.	Follaje	Brot. flor	Flor	Fruto ver.	Fruto mad.
°C min	0.107	0.146	0.287	0.082	-0.298	-0.317
°C	0.257	-0.091	0.247	0.170	-0.325	-0.348
°C max	0.281	-0.189	0.072	0.217	-0.191	-0.329
MM	0.033	0.173	0.142	-0.262	-0.250	0.078
LUZ	0.064	-0.365	0.034	0.094	-0.208	-0.007

Cuadro 3
Correlaciones lineales entre las fenofases y los factores ambientales en árboles de *Dipteryx panamensis* (Almendro) en parcelas raleadas de finca La Selva, Sarapiquí, Costa Rica.

	Brotad.	Follaje	Brot. flor	Flor	Fruto ver.	Fruto mad.
°C min	0.242	-0.372	0.172	0.169	-0.298	-0.2964
°C	0.376	-0.492	0.170	0.168	-0.325	-0.178
°C max	0.354	-0.443	0.032	0.030	-0.192	-0.095
MM	0.077	-0.002	-0.000	-0.116	-0.249	0.013
LUZ	0.297	-0.290	0.077	0.071	-0.208	0.574

Cuadro 4
Correlaciones lineales entre las fenofases y la precipitación, temperatura y luz en árboles de *Dipteryx panamensis* (Almendra) en parcelas no raleadas, en finca La Selva, Sarapiquí, Costa Rica

	Brotad.	Follaje	Brot. flor	Flor	Fruto ver.	Fruto mad.
°C max	0.413	-0.156	0.067	0.030	-0.069	0.118
°C	0.457	-0.205	0.170	0.168	-0.375	0.009
°C min	0.431	-0.176	0.224	0.169	-0.358	-0.054
MM	0.164	-0.282	0.197	-0.116	-0.124	0.045
LUZ	0.171	-0.051	-0.030	0.071	-0.277	0.056

Voluntad de pago, impacto y plan de manejo de desechos en la comunidad de Tuis de Turrialba, Costa Rica

Lilliana Abarca ¹
Blanca Inés Nava ²

Se demostró que existe relación entre el ingreso económico y la voluntad de pago para recibir el servicio.

Palabras clave

Manejo de desechos, impacto desechos/voluntad de pago.

Resumen

Con base en los resultados del estudio de manejo de los desechos sólidos en el distrito de Tuis, cantón de Turrialba, se procedió a realizar el estudio de voluntad de pago y elaborar un plan de manejo para los desechos de esa comunidad.

Las familias fueron divididas en tres grupos de acuerdo con su ingreso familiar y se determinó la voluntad de pago para obtener un sistema de recolección de desechos. Se demostró que existe relación entre el ingreso económico y la voluntad de pago para recibir el servicio.

Finalmente se sugirieron algunas formas de manejo de los desechos sólidos considerando que únicamente a las personas del centro se les recolectaría la materia biodegradable para disminuir la cantidad de estos desechos; asimismo, ellas podrían entregar papel, vidrio, plástico y otros en un pequeño centro de acopio con la finalidad de recuperar para el reciclaje este material o como última opción depositarlo en el relleno sanitario de Turrialba. A las personas que habitan en los alrededores de Tuis únicamente se les recolectaría material reciclable una vez por mes.

Sería más factible que la municipalidad ofreciera este servicio, de acuerdo con lo propuesto (cada 25 días o 15 veces por año). A partir de los cálculos realizados pueden surgir muchas opciones para el plan de manejo.

1 Docente del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Química. (labarca@itcr.ac.cr).

2 Mexicana, M.Sc. graduada del Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. (blancabava@yahoo.com.mx).

Objetivo general

Basado en la investigación de manejo de desechos sólidos en la comunidad de Tuis, Distrito 7° del Cantón de Turrialba, realizar un estudio económico y de impacto ambiental para mejorar la situación de manejo.

Objetivos específicos

1. Relacionar el ingreso económico de las familias con la voluntad de pago de los habitantes muestreados; para establecer un sistema de manejo integral de los desechos sólidos que incluya reducción, reutilización, clasificación, reciclaje, recolección, transporte, tratamiento y disposición final.
2. Proponer un plan de manejo de desechos sólidos como una solución a la problemática ambiental existente, derivada de su inadecuado manejo.

Introducción

El distrito de Tuis se encuentra ubicado en el cantón de Turrialba, Cartago. Tiene una extensión territorial de 37,56 km² y su población está concentrada principalmente en la parte más plana del territorio, a una altitud aproximada de 715 msnm, donde se encuentra ubicado el centro de Tuis. Cuenta con 2 808 habitantes y aproximadamente 611 viviendas; lo que representa aproximadamente un 4,2% de la población total del cantón de Turrialba (IFAM, 1992; Costa Rica, 1995).

La composición de los desechos en Tuis es la siguiente: materia biodegradable 63%, vidrio 11%, plástico 9%, papel 7%, papel sanitario 6% y metal 5%. El índice de generación de desechos sólidos diario o producción per cápita (ppc) es de 0,218 kg/(hab.día), similar al reportado para comunidades rurales y zonas marginales de América Latina.

Se comprobó que existe relación entre el ingreso económico y la generación de desechos sólidos; asimismo, que el ingreso tiene influencia sobre la voluntad de pago para apoyar un sistema de recolección.

Metodología

La muestra fue seleccionada con base en el tipo de **muestreo polietápico (por áreas en dos etapas)**, ya que es un procedimiento práctico para seleccionar viviendas. De 71 viviendas hubo que muestrear 10 casas en 6 segmentos censales y 11 en otro.

Para el análisis de los datos fueron empleados los siguientes métodos estadísticos: estadística descriptiva, análisis de regresión, análisis de conglomerados y discriminante canónico (Ferreira *et al.*, 1995) y se realizó asimismo un análisis discriminante canónico para explicar qué variables influían en la formación de los tres grupos. Además, se utilizó el método de la matriz de Leopold que es una técnica útil para organizar información y comunicar resultados (López, 1992).

Los métodos utilizados para la valoración de los impactos (Munasinghe 1992; Banco Mundial 1992a; Gregersen *et al.* 1988) (citado por GTZ *et al.*, 1996) se basan en el principio denominado “disposición a pagar” por los recursos y servicios ambientales, denominado también “voluntad de pago”.

La disposición de pagar representa la cantidad de dinero que los individuos o sociedad en general están dispuestos a desembolsar por recibir un beneficio ambiental o evitar un daño al ambiente. Esta disposición de pago depende del ingreso que reciban las personas, el nivel de conocimiento y la percepción del daño al ambiente y del costo de las medidas necesarias para evitar ese daño (GTZ *et al.*, 1996).

La composición de los desechos en Tuis es la siguiente: materia biodegradable 63%, vidrio 11%, plástico 9%, papel 7%, papel sanitario 6% y metal 5%. El índice de generación de desechos sólidos diario o producción per cápita (ppc) es de 0,218 kg/(hab.día), similar al reportado para comunidades rurales y zonas marginales de América Latina.

Los habitantes de Tuis tienen un gran interés ecológico ya que la mayoría de los encuestados (99%) manejan adecuadamente los desechos. Asimismo, gran disponibilidad de cooperar en cualquier asunto relacionado con la limpieza del distrito.

Resultados

Tuis es una población muy homogénea, en la que la mayor fuente de ingreso familiar es generada por la agricultura; pueden ser agricultores con tierra propia o jornaleros, cuyos ingresos económicos a lo sumo difieren en 30 000 colones (USD 139 aprox), pero sus hábitos alimenticios y de consumo no varían grandemente ya que todos tienen el mismo acceso a las escasas pulperías que existen en la zona y a los productos que en ellas se venden. Las actividades principales son la siembra de café y caña de azúcar y en algunos casos, la ganadería.

Los habitantes de Tuis tienen un gran interés ecológico ya que la mayoría de los encuestados (99%) manejan adecuadamente los desechos. Asimismo, gran disponibilidad de cooperar en cualquier asunto relacionado con la limpieza del distrito.

El problema existente es que la Municipalidad de Turrialba no puede proporcionar el servicio de recolección de desechos, ya que no cuenta con los recursos económicos y logísticos suficientes. Por otra parte, Tuis está bastante alejado. La gran mayoría de sus habitantes perciben ingresos muy bajos y se ven incapacitados para destinar una cantidad razonable con el fin de pagar por un servicio de recolección de desechos sólidos.

Relación ingreso mensual y voluntad de pago

Para explicar la relación que existe entre el ingreso mensual y la generación de desechos se procedió a agrupar a las familias de acuerdo con tres clases de ingreso:

Clase 1

Agrupar a las personas que reciben salario menor de 15 000 colones mensuales (70 USD). Se ubican 18 de

las 85 familias encuestadas, que tienen en promedio cuatro miembros por familia, edad promedio de los padres de 46 años y escolaridad de tercer grado de primaria y primer grado de primaria de la madre.

La voluntad de pago mensual para recibir un sistema de recolección es en promedio la más baja de los tres grupos (76 colones), que equivale a USD 0,35; siendo la de jornalero la ocupación más frecuente para este grupo

Clase 2

Agrupar a las familias que perciben un ingreso medio de entre 15 000 y 30 000 colones mensuales (70 USD a 139,5 USD). En este grupo se ubican la mayor proporción de las familias encuestadas (49), las cuales tienen en promedio 4,7 miembros y la edad de los padres es casi igual a la de la clase uno (44,4 años), teniendo los padres una escolaridad de tercer año al igual que la clase uno y la escolaridad de la madre es también de primero de primaria.

La voluntad de pago mensual de este grupo es muy cercano al promedio de 147 colones (0,68 USD), la ocupación más importante es la de jornalero, igual que para la clase uno.

Clase 3

Agrupar a 18 familias encuestadas que perciben el mayor ingreso de los tres grupos (> 30 000 colones mensuales) (USD 139,5). Dichas familias cuentan con el mayor número de miembros: cinco (un miembro más que el grupo 1). La edad promedio de los padres es un poco menor a diferencia de los otros dos grupos (40,2 años), siendo la educación de los padres mayor en este grupo (primero de secundaria) y la de la madre entre primero y segundo de primaria.

Tienen la mayor producción de desechos sólidos al día de los tres grupos (1,075 kg por familia). Se encuentran en mayor

proporción las familias que opinan que para ellas sí es problema el manejo de los desechos (11 familias correspondientes al 61%) y únicamente siete familias (38,8%) opinan lo contrario.

La mayoría de las familias consideran que debería existir un sistema recolector, 16 familias (88,8%), y únicamente dos opinan que no es necesario. En este grupo se encuentra como ocupación predominante la de chofer de autobús y otras actividades diversas. La voluntad de pago mensual es más alta: 258 colones (1,2 USD) variando de cero colones a mil.

Existe relación directa entre el ingreso y la generación de desechos sólidos y la voluntad de pago. A medida que se incrementa el ingreso familiar, también aumentan ligeramente la generación de desechos sólidos y la voluntad de pago para recibir el servicio de recolección de estos.

De los resultados anteriores se deduce que los habitantes del centro, aunque al igual que los de los alrededores pertenecen a una clase de ingreso 2 (15 000 - 30 000 colones) y tienen como ocupación más frecuente la de jornaleros; están dispuestos a pagar 242 colones mensuales (1,12 USD) por el servicio de recolección, una cantidad mucho más elevada que la voluntad de pago promedio (155 colones 0,72 USD) que la de las personas de los alrededores.

Finalmente, cuando se les aplicó un análisis de varianza a los datos provenientes de estas tres clases de ingreso para saber si había diferencias significativas entre los grupos; y de acuerdo con las variables utilizadas: voluntad de pago (V-pago), índice de generación por familia (B-día-viv) e índice de generación por persona (B-día-per) se observó que para voluntad de pago (V-pago) y el índice de generación por familia al día (B-día-viv) sí había diferencias altamente significativas con

una $Pr > F = 0,01$ para voluntad de pago y $Pr > F = 0,04$ para el índice de generación por familia al día; mientras que para el índice de generación de desechos por persona no hay diferencias significativas pues la $Pr > F = 0,78$ (probabilidad mayor a 5%).

Posteriormente, mediante la prueba de Duncan se compararon las medias de las tres clases con respecto a cada variable, además se hicieron las pruebas de Kruskal-Wallis y la de Wilcoxon, y se concluyó que las mayores diferencias se encuentran entre la clase 1 (0 – 15 000 colones) y la clase 3 (>30 000 colones) principalmente con respecto a la voluntad de pago para recibir un sistema de recolección, así como con el índice de generación por familia. Esto se explica debido a que la diferencia entre el ingreso de la familia 1 y 3 es de 15 000 colones, lo cual les permite tener más disposición a pagar y comprar más artículos empaquetados, que son los que generalmente pesan más.

Resultados del análisis cluster y discriminante canónico

Después de realizar el análisis cluster con la finalidad de agrupar a las familias muestreadas utilizando las variables voluntad de pago (V-pago), ingreso mensual (Ing-mes), generación de desechos al día por familia (Bdía-viv) y generación de desechos sólidos por persona al día (Bdía-per), se obtuvieron las tres grupos con las siguientes características.

Asimismo, se realizó un análisis de varianza y prueba Duncan para determinar diferencias entre los tres grupos para cada variable, con los siguientes resultados:

- Respecto del número de miembros por familia (Num-hab), con la prueba de Duncan se comprobó que no existe diferencia significativa entre los tres grupos.

Cuadro 2
Caracterización de las familias en tres grupos

Variables	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Promedio total
Número de familias	20	43	22	85
Número de miembros por familia	5,1	4,2	4,9	4,6
Edad de la familia	46,75	44,22	40,40	43,8
Escolaridad de la familia	4	3,6	6,02	4,3
Escolaridad de la madre	80% con primaria	72,09% con primaria	63,64% primaria 22,73% colegio	72 % con primaria
Ingreso mensual	Medio 95% perciben ingreso clase 2A	Medio-bajo 60,47% perciben Ingreso clase 2A y 39,53% clase 1A	Alto 81,82% perciben Ingreso clase 3A	58 % Ing. 2A
Voluntad de pago (colones/mes)	¢ 75	¢ 115,58	¢ 306,8	¢ 155,5
Índice de generación por familia al día	1,564 kg	0,681 kg	1,112 kg	1,001 kg
Índice de generación por persona al día	0,358 kg.	0,190 kg.	0,240 kg.	0,243 kg.

- En relación con la edad de la familia (Edad-fam) con la prueba Duncan se vio que no existe diferencia significativa entre los cluster.
- Escolaridad de la familia (Esc-fam), con la prueba Duncan se comprobó que existe diferencia significativa entre los cluster 1 y 2 con respecto al 3, ya que este alcanza la escolaridad más alta; sexto de primaria.
- Voluntad de pago (Vol-pago), con la prueba Duncan se comprobó que existen diferencias significativas de los clusters 1 y 2 con respecto al 3, teniendo el grupo 3 la más alta voluntad de pago.
- Índice de generación de desechos sólidos por familia (B-día-viv), con la prueba Duncan se comprobó que sí hay diferencia significativa entre los tres cluster, reportándose la más alta generación para el grupo 1 que contrariamente tiene la voluntad de pago más baja.
- Índice de generación de desechos sólidos por persona (B-día-per), con la prueba Duncan se comprobó que existe diferencia significativa entre los cluster 2 y 3 con respecto al 1; siendo el grupo 1 el que tiene mayor índice de generación por persona.

Con la finalidad de conocer realmente cuáles variables explican la variación entre los tres grupos se realizó un análisis discriminante canónico, que obtuvo como variables significativas para la variable canónica 1 el ingreso mensual, la cual explica un 85% de la variación y para la variable canónica 2 el índice de generación de desechos sólidos al día por familia explicando un 69% de la variación.

Tomando en consideración las variables canónicas 1 y 2 se describen los grupos de la siguiente manera:

Cluster 1. Formado principalmente por aquellos individuos con un ingreso medio, y la mayor generación de desechos sólidos por familia.

Cluster 2. Integrado por familias con ingreso medio y bajo (en ese orden) y el menor índice de generación de desechos, seguramente influenciado este grupo por la presencia de la mayoría de los de la clase de ingreso bajo.

Cluster 3. Grupo formado por familias con mayor ingreso y un índice de generación de desechos sólidos medio.

Se considera que los tres grupos comparten muchas características similares debido a que no existen estratos de ingreso económico bien definidos, pues la diferencia de ingreso entre la clase más baja y alta, como ya se mencionó, es de aproximadamente 15 000 colones a 30 000 colones (70 USD - 140 USD).

La variación entre los tres grupos es explicada principalmente por el ingreso, cumpliendo con la hipótesis que señala que el índice de generación de los desechos sólidos está relacionado con el nivel de ingreso familiar.

Plan de manejo sugerido

Cálculo del volumen de desechos sólidos para el distrito de Tuis

En esta sección se realizó únicamente el cálculo del volumen total de desechos sólidos que se generan en el distrito; es importante en caso de que en un futuro la municipalidad o una empresa privada planeen implementar un proyecto para el manejo de los desechos sólidos en Tuis.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

V diario = 2,44 m³ volumen diario de desechos sólidos totales generados por todos los habitantes del distrito de Tuis.

Con este volumen global obtenido para todo el distrito se cumple con el objetivo de determinar la cantidad de desechos sólidos producidos a nivel domiciliario, lo cual, como ya se mencionó, serviría de apoyo para proponer en el futuro un plan de manejo para todo el distrito de Tuis.

Vc = 4,36 m³ volumen de un camión proporcionando el servicio una vez a la semana. Este sería el volumen que debería tener el camión recolector si se llevara todos los desechos; pero considerando que a este volumen se le restaría un 62% correspondiente a la materia biodegradable y un 6 % de papel sanitario.

Del volumen obtenido el camión recolector únicamente se llevaría un 32% de los desechos correspondiente a: papel de escribir, vidrio, metal, plástico y otros. Si tenemos que 4,36 m³ corresponden a un 100% entonces el 32% sería un volumen de 1,39 m³ que se acumularía a la semana.

Debido a que la capacidad de los camiones recolectores es de 5 m³ se sugiere una frecuencia de recolección de cada 25 días, lo que equivaldría a que 15 veces por año tendría que pasar el camión recolector de la Municipalidad de Turrialba por el centro de Tuis.

Estudio de recuperación de desechos sólidos biodegradables en Tuis

Se estima que el 50% de los desechos orgánicos es recuperable; con base en los datos, se pueden obtener 9,18 ton/mes, los cuales se pueden compostear y vender a un precio de 30 colones por kilogramo, por lo tanto se obtienen 1 281 USD que se recuperan al mes de la venta de los desechos biodegradables.

Esta estimación es un supuesto de la recuperación económica que se tendría en caso de que se recolectara y se

vendiera la materia biodegradable de todo el distrito de Tuis. Esta sección es únicamente informativa, ya que actualmente la gran mayoría utiliza esta materia como abono para las plantas o alimento de sus animales.

Estudio de recuperación de desechos sólidos inorgánicos de Tuis

Siendo el índice de generación de desechos sólidos totales = 0,218 kg/(hab.día)

$0,218 \text{ kg}/(\text{hab.día}) \times 2\,808 \text{ hab} = 612,14 \text{ kg}$ de desechos sólidos por todos los habitantes de Tuis al día. Si el 30% es recuperable, se obtiene 5,5 ton/mes y si se vende a $\text{¢} 15 = 82\,635$ colones y lo que corresponde a 384 USD (tipo de cambio 215 colones por dólar).

Esta estimación es solo una opción en caso de que se recolectaran y dieran a la venta los desechos inorgánicos de toda la población, ya que actualmente existen varios compradores de material reciclable; seguramente esta propuesta sería realizable si se recolectara este material y se lograra llevar a los centros de acopio aproximadamente cada cuatro meses para evitar pérdidas en el envío.

Costos para ofrecer un sistema de recolección

La cotización para brindar el servicio de recolección en un futuro, cada 25 días únicamente al centro de Tuis, está basada en una cotización realizada para el cantón de Turrialba obteniendo solo los gastos que realizaría la municipalidad al enviar un camión recolector (de volteo) aproximadamente 15 veces por año con un chofer y dos peones; así como contratar a dos personas de Tuis para el manejo interno de los desechos sólidos.

Sistema de recolección de desechos sólidos: el camión recolector de la municipalidad (con un chofer y dos peones) pasaría cada 25 días, únicamente recogiendo papel, metal, vidrio, plástico y materia inerte en Tuis centro. Dicho camión recolector llegaría únicamente a un lugar especial (centro de acopio) donde se encuentren los estañones con los desechos ya clasificados.

Para la recolección y manejo de la materia biodegradable (componente predominante de los desechos sólidos) de la zona centro sería necesario contratar una persona del pueblo que posea un carretón con un caballo y proporcionarle una carretilla manual, la cual pasaría recogiendo la materia biodegradable dos veces por semana. Esta persona sería remunerada por la municipalidad contemplando en su sueldo los gastos de mantenimiento y alimentación del caballo. Es importante que la persona sea de la zona, ya que conocería mejor a los habitantes y podría cobrarles por cada vez que le den la materia biodegradable 10 o 20 colones (0,04 USD-0,09 USD), dependiendo de los kilos que recoja. Asimismo, se encargaría de depositar esta materia biodegradable en un terreno pequeño destinado para producir *compost* que él mismo deberá manejar.

Serán necesarios once estañones³ con rótulos para depositar vidrio (tres estañones), plástico (dos y medio)⁴, papel (dos estañones), metal (uno y medio), y materia inerte (un estañón) estos únicamente serán utilizados para los desechos de las personas que no dispongan de un patio donde enterrarlos (principalmente las del centro de Tuis) o las que deseen reciclar material como aluminio, vidrio y papel. El acarreo de

3 Número de estañones calculado de acuerdo con el volumen que se obtendría al mes de cada tipo de desechos.

4 Los medios pueden ser considerados como un estañón ya sea grande o pequeño.

este material a los estañones deberá realizarlo cada persona, ya que estarán ubicados en un sitio accesible a la mayoría o de paso para tomar el bus.

Además, se contratará a otra persona que se encargue de vigilar el correcto funcionamiento de los estañones y ver si realizan la separación adecuadamente. El encargado de recoger la materia biodegradable en el centro de Tuis pasará mensualmente recogiendo los desechos de los habitantes alejados del centro del distrito (únicamente vidrio, aluminio y papel). Para ello usará el carretón y también la carretilla en lugares de difícil acceso.

Pago por el sistema recolector. El proporcionar el sistema de recolección propuesto anteriormente tendría un costo de 1 008 521 colones al año (5 510 USD) más un 25% adicional para la municipalidad que comprende 10% de gastos administrativos y 15% de gastos para imprevistos dando un total de 6887,5 USD por año. En este caso se proponen dos formas de pago para los habitantes de Tuis:

- 1) Considerando la ubicación geográfica
- 2) La clase de ingreso económico

De acuerdo con la ubicación geográfica, si las 231 familias del centro aportaran 155 colones mensuales (0,72 USD), voluntad de pago promedio y las 380 familias de los alrededores pagaran al mes únicamente 50 colones (0,23 USD) por la recolección de materiales reciclables, se obtendría un total mensual de 54 805 colones (255 USD) y al año 657 660 colones (3059 USD al año); siendo el déficit resultante de 3 828,5 USD al año (10,48 USD al día) que podrían ser subsidiados por la municipalidad, por medio del dinero proveniente de los impuestos municipales (com. per. Achoy, 1996).

Considerando la segunda opción de pago de acuerdo con la clase de ingreso

de las familias, se tiene que si las de la clase de ingreso uno (más baja) pagaran 76 colones/mes; los de la clase dos (intermedia) 147 colones/mes y la clase tres (alta) 258 colones al mes, se obtendría un total mensual de 94 937 colones y al año 1 139 244 colones (5 298 USD).

En este caso el déficit anual sería más bajo: USD 1 588,7 (USD 4,35 al día) que como se mencionó anteriormente podrían ser subsidiados por la municipalidad, en este caso con mayor facilidad.

Conclusiones

El 82% de las familias encuestadas estaría de acuerdo con que existiera un sistema recolector, debido a que el manejo de ciertos desechos como el vidrio y el metal es difícil y ocupa mucho espacio.

El ingreso económico tiene influencia sobre la voluntad de pago para recibir un sistema recolector; así, al aumentar el ingreso de la familia también se incrementa la voluntad de pago, en ocasiones seis veces más que la voluntad de pago promedio.

Actualmente, a la municipalidad le es muy difícil brindar el servicio de recolección de desechos sólidos por la distancia entre Turrialba y Tuis y por la falta de recursos económicos y logísticos para hacerlo; esto podría estar a su alcance si el servicio se proporcionara cada 25 días (15 veces/año) como se propone en este trabajo.

El costo del sistema de recolección propuesto tendría un déficit anual mínimo de 1 588,7 USD (4,35 USD diarios) hasta un máximo de 3 828,5 USD (10,48 USD diarios) considerando dos opciones de pago de los habitantes de Tuis; que podrían ser subsidiados por la municipalidad mediante la desviación de recursos que se generan por los impuestos municipales.

Bibliografía

- Abarca, L.; Quesada, T. 1995. *Estudios y diseños complementarios de proyecto de manejo de desechos sólidos*. Ciudad Píllaro, Provincia de Tungurahua. Informe de Misión. Tungurahua, Ecuador, GTZ. s.p.
- Achoy, J. 1996. *Información sobre apoyos que proporciona la Municipalidad*. Costa Rica. Municipalidad de Turrialba (Apoyos de la Municipalidad para proporcionar el sistema recolector).
- Arellano, J.; Rivas, M.; Alegría X; Monreal, J.; Rihm, A.; Sancha, A. 1996. *Estudio de composición y proyección de desechos sólidos domiciliarios en Santiago y estudio de mercado y reciclaje*. In PC/Febrero. Chile. p 16-21.
- Beede, D.; Bloom, D. 1995. *The economics of municipal solid waste*. The World Bank Research Observer.10(2): s.p.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1995. *Resumen acumulado de datos meteorológicos hasta 1995*. Ed. Francisco Jiménez. Turrialba, Costa Rica.
- Delgado, R.; Murillo, M.; Retana, R.; García, R. 1994. *Mapa del Distrito 7° de Tuis, Cantón 5° Turrialba*. 2a edición. San José, Costa Rica. Dirección General de Estadística y Censos. 1: 10 000 blanco y azul.
- Ferreira, P; López, G.; Pérez, J. 1995. *Apuntes curso de estadística*. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Programa de maestría. sp.
- Font, F. 1993. *Resumen de propuesta técnica del concurso público para servicio de disposición final en el relleno sanitario: Provincias de San José y Cartago*. San José, Costa Rica, Font, S.A. consultor ambiental. s.p.
- Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. 1992. Turrialba: *Apuntes históricos y otros datos*. San José, Costa Rica. p. 38-55.
- Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. Departamento de Planificación. 1992. *Cantones de Costa Rica: datos básicos*. San José, Costa Rica. p 89-90.
- _____. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. Dirección General de Estadística y Censos. 1995. *Costa Rica: Cálculo de Población por Provincia, Cantón y Distrito al 1° de Julio de 1995*. San José, Costa Rica, Dirección General de Estadística y Censos. 24 p.
- Costa Rica. Ministerio de Gobernación y Policía. 1986. *Censo de vivienda 1984*. San José, Costa Rica, Imprenta Nacional. p 33.
- Gobierno de Costa Rica; GTZ. 1991. *Plan Nacional de Manejo de Desechos Sólidos de Costa Rica: Informe final*. San José, Costa Rica. 143 p.
- _____; Secretaría de Desarrollo Urbano; Dirección General de Asuntos Ecológicos. 1994. *Manejo de la basura en poblaciones pequeñas*. Veracruz, México. 24 p.
- Gujarrati, D. 1992. *Econometría*. 2 ed. Trad. Victor Mayorga. México, Mc Graw Hill. 597 p.
- Hernández, C. 1995. *Apuntes de curso de Manejo de Desechos*. Guápiles, Costa Rica, Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica; Municipalidad de Cartago; y Comunidad Cartaginesa. 1995. *Clasifique los desechos 4R: camine hacia el futuro*. Cartago, Costa Rica. sp.
- _____; Sloth, J.; Hoej, C. 1996. *The quality and the composition of the waste produced by the Municipality of Cartago*. Carta, Costa Rica. 28 p.
- Jaramillo, J. 1991. *Desechos sólidos municipales: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Washington, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. 214 p.
- Kish, L. 1982. *Muestreo de encuestas*. Parte II. México, Edit. Trillas. 736 p.
- López, J.; Vidal, F.; Martínez, J. 1975. *Basura urbana: recogida, eliminación y reciclaje*. España, Editores Técnicos Asociados. 294 p.
- L , M. 1992. *Método de la matriz de Leopold*. In Curso Regional sobre Formulación y Evaluación de Proyectos de Desarrollo con énfasis en Evaluación del Impacto Ambiental (1992, San José, Costa Rica). San José, R.R., ICAP, ASDI, Contraloría General de la República. p 1-3
- México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaría de Ecología y Centro de Ecodesarrollo. 1992. *Dime qué tiras y te diré quién eres...* México, SEDUE. 10 p.
- Monreal, J.; Lugarl, J.; Incer, A. 1990. *Informe sobre el manejo de residuos sólidos urbanos*

- en Costa Rica y proposiciones para su mejoramiento. San José, OPS/OMS, División de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud. 30 p.
- Municipalidad de Turrialba; Achoy, V. 1994. *Estudio de costos y cálculo de tasas para los servicios de recolección de basura y limpieza de vías públicas*. Turrialba, Costa Rica. s.p.
- Quesada, T. 1996. *Información sobre la densidad de los desechos sólidos*. San José, Costa Rica. FUNDEVI. (proporcionó cifras exactas sobre la densidad de los desechos sólidos en varias circunstancias).
- Salazar, O. 1970. *Monografía de Turrialba (Historia General del Cantón de Turrialba desde la conquista hasta nuestros tiempos)*. Turrialba, Costa Rica, Municipalidad de Turrialba. 337 p.
- Shultz, S; Luloff, A; King, D. 1991. *The contingent and hedonic valuation methods: techniques for valuing a community s resources*. Journal of the Community Development Society 22(2):35-45
- Tuchman, J. 1991. *Preserving the global environment. The challenge of shared leadership*. U.S.A. American Assembly, World Resources Institute. 347 p.