

## EDITORIAL

# CONSIDERACIONES SOBRE EL PLAN DECENAL DE DESARROLLO DE LA EDUCACIÓN

Ramsés Hakim Murad  
Vicerrector de Investigaciones

En varias ocasiones, se ha planteado que el Plan de Desarrollo para la educación, la salud y la vivienda debe ser un mandato constitucional, decenal o a veinte años. Como no se cuenta con una reforma en nuestra carta magna que asegure estas propuestas, mi opinión está de acuerdo con el Plan Decenal de Educación que está trazando este gobierno, así no tenga fuerza constitucional. Esta decisión, ligada a la permanencia del Ministro, por lo menos de cinco años, hace creíble el esfuerzo y los proyectos correspondientes. No hay que olvidar que en los últimos 100 años hemos contado con 120 ministros de educación, la mayoría de los cuales su contacto con los problemas educativos, se iniciaba al posesionarse del cargo. Quiero manifestar no estar en contra de políticos para esta ocupación; lo que considero es que tenemos educadores quienes comprenden muy bien la administración educativa, que podrían ser excelentes dirigentes con más posibilidades de acertar positivamente en su gestión que la mayoría de los políticos lanzados a ocupar un cargo, para el cual carecen del conocimiento pertinente.

La educación es una de las prioridades estratégicas para el progreso y el desarrollo, es la esencia de la cultura y del desarrollo de una nación.

En la preparación del Plan Decenal, se proponen algunos planteamientos enfocados en un sistema de calidad con equidad real para todos los colombianos. Mi propuesta es costosa y significa que el gobierno se dedique a buscar la paz por todos los medios y así liberar el 70% del gasto del Ministerio de Defensa y trasladarlo al sector social y, fundamentalmente, al sistema educativo. La guerra es muy costosa y no es ganable por ninguno de los contendientes, o ¿es que 50 años de lucha no dicen nada? La paz debe ser un propósito nacional, donde los partidos políticos, el gobierno, la guerrilla, el sector privado y la sociedad en general, por intermedio de sus

organizaciones no gubernamentales, deben participar, apoyados por la comunidad internacional. Poner fin al desangre fratricida y al gasto en armamento y regresar a ser una sociedad civilista y democrática, todo esto para ser justos con la población mayoritaria del país: la gente pobre. Hacer un gran esfuerzo económico para la cobertura en vivienda, la garantía de la salud y sobretodo, para el acceso a la educación de calidad.

¿Qué entiendo yo como educación básica con calidad?

Ofrecer, tanto en la ciudad como en el campo, la misma calidad que brindan los mejores colegios privados, representada por infraestructura física: aulas cómodas, con dotación de medios audiovisuales; con canchas deportivas; con servicios apropiados y suficientes; con una biblioteca y con conexión a Internet y, laboratorios de ciencias dotados. Y lo más importante, contar con maestros preparados y actualizados pedagógica y metodológicamente, con formación académica competente en la asignatura que enseñan.

Así, se podría emprender un viraje hacia una formación de calidad y de equidad. En la edad temprana iniciar la educación en las artes: música, escultura, pintura, teatro e historia del arte, acompañada con un aula para realizar presentaciones. La educación básica debe proporcionar las herramientas para el desarrollo y la formación de científicos para el futuro investigativo, así como de ciudadanos amantes de las artes y la democracia.

La educación media en el sector público debe contar con una mayor capacidad de atención. Pasar del millón y algo de alumnos a por lo menos el 50% de la cobertura total, en un plazo de 10 años y al 80%, en 20 años, es una meta prioritaria. Como es evidente, la calidad y la infraestructura deben ser similares a la educación privada de alta calidad.

¿Qué significa este planteamiento?

Colegios públicos con una excelente infraestructura: aulas presenciales y virtuales, salones de informática dotados, biblioteca en ciencias y con un buen contenido cultural, en literatura, en teatro, en historia del desarrollo de la cultura universal y nacional y, por supuesto, bases de informática y electrónica, de acceso inmediato. Estos colegios deben poseer, además, para el desarrollo sicomotriz, campos deportivos, gimnasio, aula-teatro y sala de música; laboratorios con medidas de bioseguridad. De igual manera, contar con un profesorado de alta formación pedagógica y metodológica, así como preparación académica en docencia, ya sea ciencias naturales y/o sociales y, en el área de las bellas artes y en literatura.

El crecimiento del número de estudiantes de educación media en el sector público debe ir acompañado de una diversificación en la formación. Se vislumbra un 30% de colegios de tipo tecnológico preparando a los estudiantes para labores técnicas, dentro de la formación del bachiller. Existe una amplia gama de oficios a ofrecer en la medida en que el sector productivo y de servicios así lo demande. También, se debe orientar al personal docente a prestar sus servicios en forma práctica, creando empresas que ofrezcan estas ocupaciones. Este bachillerato técnico debe estar coordinado con la formación de la educación superior.

Respecto a la educación superior hay algunos frentes a estudiar. La Universidad pública y dentro de ella las más desarrolladas académicamente deben continuar con el crecimiento hasta llegar a conquistar, en los próximos diez años, el 60% de la matrícula total. Mis argumentos son: la sub-utilización de la infraestructura locativa y de laboratorios y el alto número de profesores de tiempo completo, quienes solo trabajan de 10 a 15 horas semanales, con una dedicación de tiempo completo real de solo entre el 5 y 15% dedicados a la investigación. Hay que hacer más eficiente a la universidad pública. Revisar la nómina y hacer que los profesores se dediquen plenamente al campo académico, científico y tecnológico. Hace más de diez años planteé a rectores de universidades públicas utilizar la infraestructura y el profesorado para la formación de alta calidad en las tecnologías duras, pues el sector privado solo parece dedicarse a tecnologías blandas, por falta de infraestructura. Por ello es necesario, para este Plan Decenal, una exhaustiva revisión de la nómina de los

entes públicos, política que complementaría el esfuerzo del gobierno en materia de formación tecnológica.

El costo de la matrícula, se debe manejar por escalas basadas en los estratos socio-económicos. Esta formación, altamente costosa, financia a los estratos 3, 4, 5 y 6 porque en la actualidad, los estratos 1 y 2, los más numerosos de la población, técnicamente no terminan la educación media y son minoría en la educación superior. El valor agregado de la matrícula debe ser esencialmente repartido: 80% para mejorar la infraestructura y el 20% restante para contratar profesores.

Se debe en la educación superior pública promover los doctorados en ciencias y tecnologías, como estrategia para mejorar la creación de conocimiento, optimizar el desarrollo industrial y empresarial y lograr patentes en el área técnica y tecnológica. Los doctorados, se deben complementar con maestrías de tipo investigativo y de profundización profesional, incluyendo las actuales especializaciones clínicas y las sub-especialidades médicas o quirúrgicas llevadas a doctorados profesionalizantes.

Los posgrados, las maestrías y los doctorados deben ser financiados por el Estado, por la empresa privada y por fundaciones de tipo educativo. Son estratégicos para el desarrollo científico y tecnológico y, deben ser subsidiados a través de fondos, tal como ocurre en el mundo desarrollado. La ciencia y la tecnología benefician al país y no a los particulares; de allí el esfuerzo por parte del Estado y los empresarios. Los actuales estudiantes en especializaciones hospitalarias también deben ser subsidiados. Hoy están siendo explotados laboralmente por las IPS y económicamente por pago de matrículas exageradas que se reparte entre el hospital y la universidad. Esto amerita una corrección pronta por parte de los ministerios de educación y de la protección social. Los residentes hospitalarios en formación prestan un gran servicio a la buena marcha hospitalaria la cual se debe remunerar.

A la universidad privada, se le debe permitir el lucro y no exigirles ser instituciones sin ánimo de lucro. Un buen número de ellas son organizaciones manejadas para beneficio de una familia a través de la matrícula. De esta forma progresarían más claramente como empresas y, pagarían impuestos y se les aplicaría un sistema de inspección y vigilancia doble: académico y económico.

# FLUIDOTERAPIA EN GANADO BOVINO

## FLUID THERAPY IN BOVINE CATTLE

Johann R. Baquero-Parrado<sup>1</sup>

Edgar E. Fuentes-Reyes<sup>2</sup>

### RESUMEN

Muchas enfermedades tanto en terneros como en el ganado adulto son caracterizadas por deshidratación. Disturbios severos del estado ácido-base, desbalances electrolíticos así como cambios bioquímicos, ocurren frecuentemente en este cuadro y es la fluidoterapia una herramienta valiosa para corregir estos imbalances. Sin embargo, es esencial corregir el problema subyacente tan rápidamente como sea posible. Teniendo en cuenta que el acceso a pruebas auxiliares de laboratorio a nivel de campo es restringido, el Médico Veterinario deberá definir, en la medida de lo posible, a través de una historia exacta y un examen clínico completo, si existe un verdadero déficit de agua corporal y/o desequilibrio ácido-base o si existe un déficit de electrolitos, para así seleccionar la vía de administración, el tipo de solución y el volumen de líquidos a administrar, los cuales serán útiles para todos los clínicos de medicina interna bovina.

Palabras clave: Bovinos, deshidratación, electrolitos, fluidoterapia.

### SUMMARY

Many diseases of both calves and adult cattle are characterized by dehydration, severe disturbances of the acid-base state, electrolyte imbalances as well as biochemical changes, being the fluid therapy a valuable tool for correction of these imbalances. However, it is

essential to correct the underlying problem as quick as possible. Taking into count that the access to the laboratory ancillary tests is restricted in the field, the Veterinary Medic will have to define if possible, through an accurate history and complete clinic examination, if the patient has a true acid-base disturbance and/or deficit in corporal water, or if there is an electrolytes lack, in order to select the route of administration, solution type and volume of liquids to administer, which will be useful to all professionals of bovine internal medicine.

Key words: Bovines, dehydration, electrolytes, fluid therapy.

### INTRODUCCIÓN

Los objetivos principales de la fluidoterapia corresponden a normalizar la hipovolemia y corregir la deshidratación por medio de soluciones electrolíticas, de acuerdo a las necesidades terapéuticas establecidas por el clínico. Esta revisión bibliográfica pretende proporcionar los diferentes elementos de juicio con los que cuenta el clínico de campo para estimar el grado de deshidratación, estado electrolítico y ácido-base y calcular los requerimientos adecuados para corregir tales condiciones. Se plantean así los diferentes parámetros clínicos y de laboratorio para realizar una correcta hidratación y corrección del equilibrio ácido-base, de acuerdo a las investigaciones realizadas sobre el tópico. También enfatiza sobre las posibles áreas donde sería necesario investigar, contribuyendo al mejoramiento y al bienestar animal, evitando pérdidas económicas en los sistemas de producción bovina.

### CONSIDERACIONES GENERALES

Los bovinos experimentan cambios en su estado hídrico-electrolítico y ácido-base en diferentes etapas (Vermorel

<sup>1</sup> MVZ, Esp. Área Promoción y Prevención, Secretaría Seccional de Salud, Gobernación del Meta, Calle 37 No 41-80 Barzal Alto, Villavicencio, Colombia. jobaquero@udca.edu.co.

<sup>2</sup> MVZ, M.Sc, PhD, Profesor Asociado, Director Escuela M.V.Z., Universidad de los Llanos, A.A.: 2621, Villavicencio (Meta)

*et al.* 1989; Besser *et al.* 1990; Bajcsy *et al.* 1999). La deshidratación va acompañada de grandes pérdidas del volumen del fluido extracelular y de electrolitos que, a su vez, alteran el estado ácido-base y de no corregirse a tiempo, podrían conducir a la muerte.

Cabe anotar que la composición de la dieta (Tucker *et al.* 1988), la frecuencia de alimentación (Rodehutschord *et al.* 1994; Eicher *et al.* 1999), la supresión del consumo de agua (Parker *et al.* 2003), la altura sobre el nivel del mar (Ramírez *et al.* 1992) y en especial las enfermedades del tracto gastrointestinal (Rousell *et al.* 1998), también comprometen el estado ácido-base (Tabla 1).

Tabla 1. Alteraciones del estado ácido-base más frecuentes halladas en ganado bovino.

<b>ACIDOSIS METABÓLICA</b>	
Diarrea neonatal	Choque endotóxico
Ptialismo o disfagia	Hipovolemia
Distensión abdominal	Acidosis tubular renal con pérdida de bicarbonato
Gestación	Acidosis ruminal
Indigestión crónica en terneros con diarrea	Cetosis
Mastitis aguda	Anaplasmosis
Admon parenteral excesiva de NaCl	Metritis
<b>ALCALOSIS METABÓLICA</b>	
Timpanismo y torsión abomasal en terneros	Estenosis pilórica
Intususcepción cecal en terneros	Intususcepción del intestino delgado
Desplazamiento del abomaso	Intususcepción del intestino grueso
Vólvulo abomasal	Impactación cecal
Administración de Oxido de Magnesio	Impactación abomasal
	Hiperadrenocorticismos
<b>ACIDOSIS RESPIRATORIA</b>	
Nacimiento	Depresión del Sistema Nervioso Central (SNC)
Neumonía	Intoxicación por barbitúricos
Enfisema	Alteraciones Neuromusculares
Enfermedad pulmonar obstructiva	Efusión pleural
Infiltración pulmonar	Hernia diafragmática
Edema pulmonar	Disminución en el gasto cardíaco
Embolismo pulmonar masivo	
<b>ALCALOSIS RESPIRATORIA</b>	
Ansiedad o dolor	Hipoxia
Excitación del SNC	Anemia
Fiebre o choque de calor	Fibrosis pulmonar
Choque séptico agudo	Encefalopatía hepática

## ESTADO ÁCIDO-BASE

El modelo tradicional para la evaluación del estado ácido-base es la ecuación Henderson-Hasselbach que categoriza cuatro disturbios primarios: acidosis respiratoria (tensión de dióxido de carbono -PCO<sub>2</sub>-incrementada), alcalosis respiratoria (PCO<sub>2</sub> reducida), acidosis metabólica (reducción del exceso de base extracelular) o alcalosis metabólica (incremento del exceso de base extracelular). Como el pH es el logaritmo negativo de [H<sup>+</sup>], la ecuación de Henderson-Hasselbach es expresada como:  $\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{S \times \text{PCO}_2}$ , donde (pK) es el logaritmo de una constante de disociación y (S) es un factor de solubilidad que convierte PCO<sub>2</sub> en moles/L. Este modelo es adecuado en la práctica clínica y se recomienda siempre y cuando las concentraciones séricas de proteínas totales, albúmina y fosfato sean cercanas a la normalidad (Figge *et al.* 1991; 1992; 1998). Sin embargo, cuando las concentraciones son muy anormales conduce a menudo a conclusiones incorrectas del origen de la alteración ácido-base (Constable, 2000).

De otra parte, el modelo de iones fuertes de Stewart parte de la base de que las concentraciones de bicarbonato ([HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]) e hidrógeno ([H<sup>+</sup>]) son dependientes de las concentraciones de las variables independientes o primarias: PCO<sub>2</sub>, ácidos débiles totales o proteínas e iones fuertes (Stewart, 1983; Baquero-Parrado, 2005a). Según Stewart, los tres componentes principales de consideración que garantizan la evaluación del estado ácido-base son las variables primarias o independientes, las variables desconocidas o secundarias y las constantes de disociación de sus respectivas variables. Las tres variables independientes predominantes son PCO<sub>2</sub>, proteínas o ácidos débiles totales y la diferencia entre las cargas positivas y negativas de los iones fuertes, de modo que una disminución en la diferencia de iones fuertes (DIF), por debajo de lo normal, resulta en acidosis (incremento en H<sup>+</sup>) y un incremento en la diferencia de iones fuertes, por encima de lo normal, resulta en alcalosis (disminución en H<sup>+</sup>) (Whitehair *et al.* 1995); aunque una disminución en la [DIF] también se podría atribuir en principio a un incremento en la concentración de cloro (Wilkes, 1998).

Por último, el nuevo modelo físico-químico para evaluar el estado ácido-base utiliza el Modelo de Iones Fuertes Simplificado (Constable, 1997a, Constable *et al.* 2005) para categorizar seis alteraciones primarias: acidosis respiratoria (presión parcial de dióxido de carbono

en sangre arterial -PaCO<sub>2</sub>-incrementada), alcalosis respiratoria (PaCO<sub>2</sub> reducida), acidosis por iones fuertes (diferencia de iones fuertes [DIF<sup>+</sup>] reducida), alcalosis por iones fuertes ([DIF<sup>+</sup>] incrementada), acidosis por iones buffer no volátiles (concentraciones plasmáticas incrementadas de albúmina, globulina o fosfato) y alcalosis por iones buffer no volátiles (concentraciones plasmáticas reducidas de albúmina, globulina o fosfato). Este modelo sostiene que los componentes plasmáticos actúan como iones fuertes (DIF<sup>+</sup>), iones buffer volátiles (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o iones buffer no volátiles (A<sup>-</sup>). Por lo tanto, el plasma sanguíneo contiene tres tipos de componentes con carga: DIF<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y A<sup>-</sup>. La necesidad de mantener la electroneutralidad determina que en todo momento la concentración de iones fuertes [DIF<sup>+</sup>] iguale a la suma de la concentración del ion buffer bicarbonato [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] más la concentración del ion buffer no volátil [A<sup>-</sup>], de manera que:  $[\text{DIF}^+] - [\text{HCO}_3^-] - [\text{A}^-] = 0$ .

La ecuación sostiene que todas los componentes ionizados en el plasma se pueden clasificar como un ion fuerte (DIF<sup>+</sup>), un ion buffer volátil (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o un ion buffer no volátil (A<sup>-</sup>). Esta teoría fundamenta el modelo de iones fuertes simplificado, de suerte que los factores más importantes que determinan el pH plasmático en un cuadro clínico son la PCO<sub>2</sub>, la [DIF<sup>+</sup>] y la concentración de buffers plasmáticos no volátiles individuales (como albúmina, globulina y fosfato). Una modificación en cualquiera de estas variables producirá un cambio directo y predecible sobre el pH plasmático (Constable, 1999).

Los iones buffer no volátiles han sido determinados en terneros (Staempfli *et al.* 1994), en equinos (Constable *et al.* 1998b), en bovinos (Constable, 2002), en felinos (McCullough & Constable, 2003), en caninos (Constable & Staempfli, 2005) y en seres humanos (Staempfli & Constable, 2003), facilitando el uso del modelo de iones fuertes simplificado y, por ende, el diagnóstico y el tratamiento de los disturbios ácido-base en pacientes críticamente enfermos. En Colombia, se ha encontrado que en vacas Holstein Friesian en la Sabana de Bogotá, a los días 30 y 60 de producción láctea, el pH, el PaCO<sub>2</sub> y el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> disminuyen indicando, una acidosis metabólica -de acuerdo con el modelo Henderson-Hasselbach-, atribuida a la máxima movilización de las reservas de ácidos grasos del cuerpo, a la alta lipólisis y al nivel elevado de cuerpos cetónicos en los estados de lactación, lo cual provoca un balance energético negativo, resultando finalmente una disminución del pH (Velásquez, 1993).

Entre las causas más frecuentes de acidosis metabólica, se encuentran la falla renal, sobrecarga por carbohidratos, cetosis e hígado graso, mientras que el vólvulo abomasal, desplazamiento e impactación abomasal, intususcepción y torsión cecal son causas de moderada a severa alcalosis (Simpson *et al.* 1985; Roussel, 1993). El secuestro de cloro en el intestino delgado proximal, abomaso y rúmen conllevan a alcalosis hipoclorémica. La alcalosis y la anorexia resultan en hipokalemia, mientras que el ganado lechero lactante está a menudo hipocalcémico (Roussel, 1993).

## GRADO DE DESHIDRATACIÓN

El monitoreo seriado del peso corporal es requisito indispensable para determinar con precisión el estado de deshidratación y el nivel de rehidratación en terneros; sin embargo, en el campo, este método no es práctico y, por tal motivo, se han establecido diferentes parámetros para realizar dicha estimación. Los parámetros clínicos para determinar la deshidratación son: el grado de retracción del globo ocular en la órbita, la elasticidad de la piel del cuello y el tórax y la concentración de proteínas plasmáticas (Tabla 2).

Tabla 2. Estimación del grado de deshidratación en terneros con diarrea. Adaptado de: Naylor *et al.* (2006).

% Deshidratación	Enoftalmia	Duración del pliegue cutáneo cervical (segundos)	Membranas Mucosas	Extremidades
0	Ninguna	≤ 2	Rosadas, húmedas	-
2	Leve, 1 mm	3	Secas	-
4	Leve, 2 mm	4	Secas	-
6	Moderada, 3 mm (separación del globo ocular de la órbita)	5	Secas	-
8	Moderada, 4 mm	6	Secas	Frías
10	Severa, 6 mm	7	Secas	Frías
12	Severa, 7 mm	> 8	Secas	Frías
≥14	Severa, > 8	> 10	Secas, pálidas	Frías

Las limitaciones de los anteriores parámetros, se relacionan con diarrea crónica (emaciación) y con redistribución en el fluido extracelular (pérdida de líquido al tercer espacio), pues la posición del globo ocular dentro de la órbita depende también de los depósitos de grasa retroorbitaria y no solamente del estado de hidratación (Constable *et al.* 1998a). Normalmente, los bovinos diarreicos o hipovolémicos presentan hemoconcentración, por lo tanto, se recomienda determinar seriadamente el hematocrito durante el transcurso de la hidratación, mientras éste se reestablece dentro de los parámetros normales. Así mismo, antes y durante la hidratación, se debe determinar la concentración de electrolitos séricos sanguíneos, gases

sanguíneos ( $PCO_2$ ,  $PO_2$ ,  $HCO_3^-$ ) y pH de los pacientes deshidratados o en choque (Tabla 3).

Además, se debe determinar la concentración de proteínas plasmáticas totales y la presión osmótica coloidal (Thomas & Brown, 1992; Brown *et al.* 1994) para disminuir los riesgos de sobrehidratación y edema pulmonar o cerebral (Carlson, 1989; Angelos *et al.* 1999; Oh & Kim, 2002). Se recomienda realizar, mediante el método de diagnóstico orientado al problema, la reevaluación del paciente durante el transcurso de la hidratación (Tyler & Schumacher, 1992).

Tabla 3. Parámetros de referencia de gases sanguíneos, electrolitos y anión restante en bovinos de carne y de leche mayores de un mes de edad. Adaptado de Roussel *et al.* (1998).

Parámetro	Ganado de carne	Ganado lechero
pH	7,33 - 7,49	7,39 - 7,48
PvCO <sub>2</sub> (torr)	39 - 54	39 - 50
HCO <sub>3</sub> (mmol/l)	24 - 35	25 - 35
Exceso Base (mmol/l)	-1 - 11	2 - 11
Na (mmol/l)	134 - 142	132 - 139
K (mmol/l)	3,5 - 4,4	3,3 - 4,1
Cl (mmol/l)	92 - 104	87 - 101
Anión restante (mmol/l)	9 - 19	10 - 16

Entre las enfermedades más comunes en bovinos asociadas con deshidratación, se encuentran la diarrea neonatal indiferenciada y septicemia neonatal. Durante la diarrea, la deshidratación ocurre por grandes pérdidas del líquido extracelular, generando una hipovolemia que puede conducir a un choque hipovolémico y a un aumento del metabolismo anaeróbico. La disminución en la concentración de bicarbonato plasmático, debida a la pérdida de bicarbonato fecal, tiende a ser

sustancialmente menor a 8,2mEq/L por cada día de diarrea (Constable *et al.* 2005). La acidosis depende de la edad, siendo más intensa en terneros de ocho días que en menores de esa edad (Naylor, 1987b), debido a la anaerobiosis, la pérdida intestinal de bicarbonato, la insuficiencia renal (Grove-White & White, 1993; Baquero-Parrado, 2005b) y a las altas concentraciones de D-Lactato sérico (Omole *et al.* 2001; Ewaschuk *et al.* 2004; Ewaschuk *et al.* 2005) (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de gases sanguíneos venosos en terneros saludables y diarreicos. Modificado de Naylor (1987a).

	pH	Tensión de TCO <sub>2</sub> (Torr)	Tensión de O <sub>2</sub> (Torr)	Concentración de HCO (mEq/L)	Exceso de base (mEq/L)
Terneros saludables	7,388 ± 0,038	52,5 ± 5,5	37,2 ± 9,1	30,9 ± 2,8	6,4 ± 2,7
Terneros diarreicos	7,079 ± 0,129	49,2 ± 14,3	39,1 ± 14,2	15,1 ± 6,8	-15,2 ± 8,5

La hipoglucemia es común y cuando ocurre, se producen grandes pérdidas de sodio, de cloruro y de potasio. El desequilibrio de potasio intracelular-extracelular es marcado, provocando una disminución del potencial de reposo de la membrana celular y una alteración de la capacidad contráctil del músculo cardíaco y esquelético. Se considera que las arritmias cardíacas auscultables en

terneros diarreicos deshidratados indican la presencia de hiperpotasemia grave  $[K^+] > 8\text{mEq/L}$  (Naylor, 1996). Por último, los efectos de la pobre absorción de nutrientes, se combinan con las escasas reservas energéticas halladas en neonatos (Phillips, 1985), pues luego de cinco días de inanición, se produce una depleción marcada de las reservas corporales (Schoonderwoerd *et al.* 1986).

## FLUIDOTERAPIA ORAL

La rehidratación oral durante una diarrea por mala absorción por ejemplo, rotavirus, coronavirus, puede agravar el problema, pues como resultado de la inadecuada digestión y absorción, se presenta acumulación de lactosa y de carbohidratos digeribles, los cuales son fermentados por bacterias, empeorando la diarrea a causa de un aumento en la presión osmótica. Además, se produce hipermotilidad intestinal, generando una disminución en el tiempo de tránsito y contacto de la ingesta con la pared y, por ende, problemas de digestión y absorción (Torres-Medina *et al.* 1985). Bajo estas condiciones, se recomienda usar fluidoterapia intravenosa (Phillips, 1985), pues el reestablecimiento es más rápido con respecto a la administración oral de fluidos. No obstante, la fluidoterapia oral es la más económica y, por lo tanto, la más aconsejable, considerando que los terneros pueden consumir ad libitum del 12% al 19% de su peso corporal en agua, pero la rápida ingestión de grandes cantidades de agua causa hemólisis y hemoglobinuria en terneros (Constable, 2003).

Se ha demostrado que las soluciones electrolíticas orales demoran como mínimo 24 horas para rehidratar adecuadamente los terneros con un grado de deshidratación del 8% (Constable *et al.* 1996). Por tal motivo, los terneros que se encuentran en decúbito lateral, muy deprimidos, comatosos o con reflejo de succión ausente necesitan reanimación con fluidos intravenosos (Constable *et al.* 1998a; Roussel, 1993).

El retiro de la leche podría ser benéfico únicamente en terneros que estén perdiendo su interés en amamantar, pues el llenado gástrico con soluciones electrolíticas tienden a reducir el consumo de leche (Naylor, 1990). Si al ternero se le suprime de alimentos o se lleva a cabo la terapia de reposición electrolítica podría volver a tomar leche en forma gradual. Se recomienda administrar el 8% del peso corporal en leche, dividido en cuatro tomas durante el primer día y, aumentar gradualmente, a una ingesta diaria durante los próximos tres días (Mullowney & Patterson, 1985) teniendo en cuenta que los requerimientos de mantenimiento y de crecimiento para un ternero son de 55kcal/kg y 3kcal/g, respectivamente (Rager *et al.* 2002). Mencionan los mismos autores que los lacto reemplazadores deberían contener al menos un 22% de proteína cruda derivada de proteínas de la leche,

un 20% de grasa cruda derivada de fuentes animales y un 38% de extracto libre de nitrógeno suministrado únicamente por lactosa.

Por otra parte, los terneros alimentados con baldes beben mucho más rápidamente la leche que los alimentados mediante tetina, lo que provoca un pasaje más acelerado del alimento a través del abomaso y del intestino, debido a que hay coagulación menos eficiente de proteínas de la leche y de proteólisis gástrica reducida. Estos factores dan por resultado una mayor concentración de proteínas no digeridas o parcialmente digeridas en el intestino, lo que altera la flora bacteriana.

De acuerdo a la posición de la tetina de la botella, se afecta la entrada de leche al abomaso, pues si llega a estar por encima de la cabeza del ternero es probable que no se cierre la gotera esofágica y la leche pase directamente al rúmen obteniendo fermentaciones no deseadas (Mullowney & Patterson, 1985). Lo correcto es ubicarla a la altura que corresponde a la ubre de la vaca. El cierre de la gotera esofágica, se puede inducir administrando de 100 a 250mL de solución de bicarbonato de sodio al 10% (Constable, 1993).

La frecuencia con que se suministra el alimento influirá en la formación del coágulo de la leche en el abomaso y la subsiguiente digestión. Si los terneros son alimentados una vez al día, la leche no se digiere muy bien, por lo tanto, hay la probabilidad de sobrecarga osmótica, con relación a los terneros alimentados varias veces (Mullowney & Patterson, 1985; Okine *et al.* 1998). Además, aumentando la frecuencia del amamantamiento con el lactorreemplazador, se incrementa significativamente el pH luminal abomasal y podría ser eficaz en la profilaxis de ulceración abomasal en el amamantamiento de terneros (Ahmed *et al.* 2002).

La adición de glutamina a soluciones electrolíticas orales, como precursor para la síntesis de otros aminoácidos, no ha demostrado renovar significativamente la morfología intestinal en terneros con diarrea (Naylor *et al.* 1990). *Psyllium mucilloid* podría mejorar la absorción de glucosa (Cebra *et al.* 1998), pero tampoco mejoraría la adición de lactosa hidrolizada (Gutzwiller, 2000). De este modo, el acetato sódico y el propionato sódico son los componentes apropiados para la corrección de la acidosis metabólica leve en terneros deshidratados,

debido a que son metabolizados con facilidad por los tejidos periféricos, proveyendo una fuente de energía, estimulan la absorción de agua y sodio en el intestino delgado y no alcalinizan el abomaso y el intestino. Por su parte, el bicarbonato permite la proliferación de bacterias en el abomaso alcalinizado y, por último, el acetato y el propionato, no interfieren con la coagulación de la leche en el abomaso, no neutralizan el ácido abomasal tal como ocurre con el bicarbonato, y tampoco se unen al calcio, como lo hace el citrato sódico (Naylor, 1992; Constable, 2003).

Una correlación significativa entre el cambio en la diferencia de iones fuertes y el cambio en  $\text{TCO}_2$ , se presenta durante el tratamiento en los terneros que reciben fluidos orales, pero no en los terneros tratados parenteralmente (Grove-White & Michell, 2001). De ahí, que la administración de una solución oral electrolítica con una DIF alta efectiva (79 – 93mEq/L) es más efectiva corrigiendo la hiponatremia y la acidosis metabólica que una solución DIF mucho más baja efectiva (0 – 31mEq/L) (Constable *et al.* 2005).

La vía oral sola, se recomienda en bovinos adultos con deshidratación moderada (<8% del peso corporal), mientras que la fluidoterapia intravenosa es indicada en casos de deshidratación grave (>8%). En algunos casos, se requiere de 40 a 60L/día y se debe tener en cuenta la relación costo/beneficio (valor genético). La formulación ideal de una solución rehidratante oral para rumiantes adultos debe contener concentraciones óptimas de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , magnesio, fosfato y propionato, el cual facilita la absorción de sodio y provee una fuente adicional de energía al animal. El ganado adulto deshidratado puede beber del 10% al 15% de su peso corporal en agua en menos de 10'; sin embargo, estas

tasas de ingestión son excesivas y pueden conducir a temblores musculares, debilidad, hipotermia y hemólisis extravascular (Constable, 2003). Roussel (1999) recomendó para administrar intrarruminalmente la siguiente composición: 140g de NaCl, 25g de KCl, 10g de  $\text{CaCl}_2$  y agua hasta completar 20L.

## FLUIDOTERAPIA INTRAVENOSA

Se debe realizar el examen clínico (% deshidratación) y de laboratorio (hematocrito, proteínas plasmáticas totales, gases sanguíneos, electrolitos séricos y pH) para determinar la cantidad y la composición de fluidos a administrar (tabla 5) (Roussel, 1983; Naylor, 1987a; Nappert & Naylor, 2001).

La cateterización de la vena yugular es la más común (Pusterla & Braun, 1996); sin embargo, se puede realizar la venipunción en la vena auricular y en la vena de la glándula mamaria (Roussel *et al.* 1996). El volumen de líquidos no debe exceder los 80mL/kg/hora en terneros (Kasari & Naylor, 1985; Walker *et al.* 1998), pues a esta velocidad de infusión, se crea un aumento en la presión venosa central en cerca de un tercio de los terneros deshidratados, con ausencia de signos clínicos del edema pulmonar (Kasari & Naylor, 1985). La sobrehidratación, se puede asociar con anemia e hipoproteinemia, conduciendo a hipoxia al caer el hematocrito por debajo del 15%. La formación de edema intersticial tiene lugar cuando la concentración de proteínas plasmáticas totales es inferior a 4mg/dl (Berchtold, 1999). Sin embargo, cuando se administra a una velocidad más conservadora de 30 a 40mL/kg/hora, un ternero de 40kg con deshidratación del 10% puede ser rehidratado en el plazo de 3 a 4 horas (Roussel, 1983), mientras que tasas de administración

Tabla 5. Grados de deshidratación estimados mediante examen clínico y de laboratorio en bovinos. Modificado de Radostitis *et al.* (2002).

Pérdida de peso corporal (%)	Hematocrito (%)	Proteínas Plasmáticas Totales (mg/dL)	Déficit de base estimado
4 - 6	40 - 45	7,0 - 8,0	- 5 mEq/L
6 - 8	50	8,0 - 9,0	- 10 mEq/L
8 -10	55	9,0 - 10,0	- 15 mEq/L
10 - 12	> 60	> 10,0	-20 mEq/L

de dextrosa mayores a 0,06g/kg/minuto tienen efectos nocivos (Constable, 2003). Además, se deben agregar 80 a 100mL/kg para el mantenimiento diario y hasta 7L/día en las primeras 24 horas para reponer las pérdidas actuales. Si, se reestablece el reflejo de succión con las primeras infusiones, los requerimientos diarios se podrían suministrar por vía oral para reducir los costos (Naylor, 1996; Berchtold, 1999).

A partir de las cantidades calculadas ( $H_2O$  y  $NaHCO_3^-$  del examen clínico) y de laboratorio (hematocrito, proteínas plasmáticas totales, hemogasometría, pH), se multiplica el déficit de base estimado por el peso corporal, por una constante de 0,5 (50% en terneros neonatos, o sea menores de 28 días y 0,3 para bovinos mayores de 28 días), que da cuenta del volumen de líquido extracelular y se calcula del siguiente modo:

- Peso corporal del ternero estimado en kg	X	% de deshidratación estimado	=	litros de fluidos para reemplazar las pérdidas
Ejemplo: ternero de 35kg	X	0,10	=	3,5L de fluido requerido

- Peso corporal del ternero estimado en kg	X	volumen del fluido extracelular	=	volumen total del fluido extracelular
Ejemplo: ternero de 35kg	X	0,5	=	17,5

- Si 1L de fluido extracelular contiene 30mEq/L de  $NaHCO_3^-$  (Naylor, 1987a), entonces  
 17,5L contienen 525mEq TOTAL de  $NaHCO_3^-$  en un ternero saludable de 35kg

Volumen total del fluido extracelular (L)	X	$NaHCO_3^-$ /L estimado ó hallado por laboratorio	=	Déficit de base TOTAL HALLADO en el paciente
17,5	X	10	X	175mEq/

mEq TOTAL de $NaHCO_3^-$ en un ternero saludable de 35kg	-	Déficit de base total Hallado en el paciente	=	Déficit de base TOTAL A REPONER
525	-	175	=	350mEq/ $HCO_3^-$

-Si 1g $NaHCO_3^-$	Equivale	12mEq/ $NaHCO_3^-$
X = 29,16		350mEq/ $NaHCO_3^-$

Se necesitan 29,16g de  $NaHCO_3^-$  para reestablecer a un ternero (525mEq de  $NaHCO_3^-$  TOTAL en un ternero saludable de 35kg) con un déficit de base de 10  $NaHCO_3^-$  /L (déficit de base total hallado de 175  $NaHCO_3^-$ ). Se recomienda administrar por vía intravenosa solo 1/3

del líquido total para reanimar y restaurar la circulación. Durante la administración rápida del primer litro de solución, el veterinario puede controlar y ajustar la velocidad (Roussel, 1993).

El bicarbonato de sodio es el agente de elección para la corrección de la acidosis metabólica en terneros neonatales. Cuando se administra por vía intravenosa produce alcalinización casi instantánea (Kasari & Naylor, 1985). La velocidad de administración intravenosa de  $\text{NaHCO}_3$  al 5% (hipertónica) no debe exceder de 2ml/kg/minuto (Constable, 2003), aunque se ha reportado, sin efectos deletéreos, la administración de 5ml/kg de  $\text{NaHCO}_3$  al 8,4% (hiperosmótica) durante cinco minutos que corrigen inmediatamente la acidosis por iones fuertes y la acidosis respiratoria inducida experimentalmente en terneros (Berchtold *et al.* 2005). La fluidoterapia parenteral con bicarbonato de sodio isotónico (1 a 3%) en terneros diarreicos acidóticos mejora el estado ácido-base, pero ambos, el calcio ionizado y el calcio total, disminuyen significativamente (Grove-White & Michell, 2001).

En vacas con estado ácido-base normal ó alcalosis metabólica (alcalosis por iones fuertes), las soluciones electrolíticas deben contener alrededor de 300 a 500mOsm/L, y además deben contener sodio (135-155mEq/L), cloruro (150-170mEq/L) y potasio (10-20mEq/L) (Roussel, 1999); también se puede utilizar Solución Ringer (Constable, 2003) ó soluciones de NaCl 0,9% con o sin potasio ya que aporta iones cloruro al líquido extracelular a pesar de ser químicamente neutra (Michell *et al.* 1991; Benjamin, 1991). El suministro de una cantidad adecuada de cloro permite que se reabsorba sodio sin bicarbonato. Al mismo tiempo, algunos iones potasio intracelulares son sustituidos por iones hidrógeno y este desplazamiento de cationes, mediado por el pH, propicia el restablecimiento de los niveles normales de potasio en sangre (Olcott, 1987; Blood & Radostitis, 1992).

De otro lado, en la acidosis respiratoria ( $\text{PaCO}_2$  incrementada), no se deben usar soluciones alcalinizantes porque disminuyen el flujo sanguíneo cerebral y la capacidad de la hemoglobina para liberar el oxígeno en los tejidos (Benjamín, 1991). Es preferible cambiar el ritmo respiratorio tratando el padecimiento primario; mientras que en la alcalosis respiratoria ( $\text{PaCO}_2$  reducida) debida a hiperventilación (Carlson, 1989, Halperin & Goldstein, 1999) son contraindicadas las soluciones acidificantes. Se debe procurar cambiar la  $\text{PaCO}_2$  de la atmósfera, colocando la cabeza del animal dentro de una bolsa de plástico sin asfixiarlo, hasta reestablecer los parámetros de  $\text{PaCO}_2$  normales (Benjamín, 1991).

## CHOQUE

El choque más común en ganado bovino es el séptico. De acuerdo a esto, el tratamiento más importante para el choque en animales de abasto consiste en la rápida administración intravenosa de soluciones cristaloides que reestablezcan la volemia (Roussel, 1993; Cambier *et al.* 1997). Algunos investigadores, como Constable *et al.* (1991a; 1991b), han demostrado que la administración de solución salina hipertónica 7,2% a 4ml/kg, vía intravenosa, durante 4-6' en terneros con endotoxemia experimental es un método seguro de proporcionar el líquido. Induce un moderado incremento en la tasa de filtración glomerular y la producción de orina; se produce un aumento significativo en la concentración sérica de cloro y una disminución significativa en la concentración sérica de fósforo (Constable *et al.* 1991a). Sin embargo, una carga equivalente de sodio con solución salina isotónica (0,9%) a 32ml/kg vía intravenosa durante 4-6 minutos, incrementa el volumen minuto y el volumen sistólico en mayor proporción que la solución salina hipertónica, pero agrava la hipertensión pulmonar inducida por la endotoxemia y puede deprimir la función respiratoria.

Después de 10 a 30', se observa expansión significativa del volumen plasmático en ganado bovino (Constable *et al.* 1991a, 1991b; 1996; Sargison & Scott, 1996). La expansión sigue al incremento súbito de la osmolalidad plasmática asociado con la inyección rápida de solución salina hipertónica, que determina el movimiento rápido de líquido hacia el compartimiento extracelular desde el espacio intracelular y el tracto gastrointestinal en contra de un gradiente de concentración. Con el paso de varios minutos, la sal agregada se equilibra en el volumen de líquido, lo cual reduce el gradiente de concentración a través de la membrana celular. El agua sigue el movimiento de la sal, por lo cual, aumenta el volumen extracelular.

En terneros deshidratados también existe, como alternativa, la combinación de solución salina hipertónica en dextrán (70 al 6%, 4-5ml/kg vía intravenosa durante 4 minutos) y una solución electrolítica isotónica (74,5ml/kg vía oral cada 8 horas), presentando un incremento inmediato y sostenido del volumen minuto y del volumen plasmático, obteniendo resultados rápidos y eficaces, pero los costos del dextrán limitan su uso (Constable *et al.* 1996; Wall *et al.* 1996; Walker *et al.* 1998). Si el

ternero no bebe la solución electrolítica oral isotónica por su propia voluntad después de la administración de la solución salina hipertónica en dextrán, entonces requerirá intubación ororruminal para garantizar su consumo. Las velocidades de administración reportadas de dextrán 70 son de 5 a 40mL/kg/hora, pero se recomienda administrarlo a una velocidad igual o menor de 20mL/kg/hora (Constable, 2003).

En rumiantes adultos deshidratados, endotoxémicos o en choque hemorrágico, se puede recurrir a la administración de solución salina hipertónica 7,2% a 4mL/kg, vía intravenosa durante 4–6´ e inmediatamente después se debe suministrar agua corriente (la mayor parte de las vacas beben 5–10gl de agua durante los siguientes 10´) y si la vaca no bebe en el plazo de 5´, se debe bombear 5gl de agua en el rúmen. Es importante destacar que la solución salina hipertónica nunca se administra sola, sino con agua fresca para beber o con la administración ororruminal de agua. No obstante merece especial atención la infusión de solución salina hipertónica, pues puede inducir a acidemia e hipocloremia, lo cual podría explicar la curva de equilibrio de oxígeno, observada en sangre venosa periférica y arterial (Cambier *et al.* 1998).

También, se podría considerar, en la reevaluación del paciente, el compromiso renal, pues la hipovolemia causada por la deshidratación y la endotoxemia podría afectar la función renal (Lunn & McQuirk, 1990; Constable *et al.* 1991b). El monitoreo seriado de creatinina y excreción fraccional de electrolitos proveería un indicador razonable de la filtración glomerular y remoción de electrolitos por parte de los riñones (Constable, 1991; Fleming *et al.* 1991). La edad y la categoría de producción de leche (alta, media y baja) no influyen en la excreción fraccional de electrolitos (Fleming *et al.* 1992).

## POSIBLES COMPLICACIONES

La mala digestión de la lactosa y la xilosa en las diarreas supone un gran problema para el ternero, ya que son pobremente digeridas (Phillips, 1985; Nappert *et al.* 1993). Así mismo, los errores en la mezcla de soluciones electrolíticas para rehidratar a terneros neonatos diarreicos pueden conducir a hipernatremia fatal (Pringle & Berthiaume, 1988). De otro lado, el gluconato de calcio

nunca debe ser adicionado a soluciones de  $\text{NaHCO}_3^-$  porque inmediatamente se forma un precipitado blanco,  $\text{CaCO}_3^-$ , el cual interfiere con la normal administración de líquidos. Además, el  $\text{NaHCO}_3^-$  debe ser esterilizado por ultrafiltración, pues no es estable al calor (Corke, 1988). Se debe tener en cuenta que la administración de citrato de sodio produce signos de hipocalcemia, presuntamente porque remueve al calcio ionizado de la circulación (Naylor & Forsyth, 1986).

Para evitar las complicaciones de la administración intravenosa en la vena yugular (trombos, tromboflebitis, periflebitis y septicemia), se deben tener cuidados de asepsia y usar catéter intravenoso de calibre 14 ó 16 y, en lo posible, evitar el uso de agujas hipodérmicas descartables por causar daño en la capa íntima de la vena (Pusterla & Braun, 1996). La tromboflebitis puede ocurrir a las 72 horas de la inserción del catéter, a pesar de una desinfección de la piel con un antiséptico yodado (Pusterla & Braun, 1995a). Con dosis bajas de heparina (120UI/kg/12 horas) por vía subcutánea y la reducción de la contaminación bacteriológica de la piel, se previene la tromboflebitis durante períodos hasta por cinco días (Pusterla & Braun, 1996). La periflebitis es caracterizada por una acumulación anecogénica de fluidos infiltrando el tejido perivascular (Pusterla & Braun, 1995b).

## CONCLUSIONES

La corrección de los desequilibrios hídricos, electrolíticos y ácido-base, constituye una herramienta fundamental para evitar los efectos adversos de la hipotensión sobre todos los sistemas del organismo y para el reestablecimiento de la volemia, mientras se corrige la patología que los ocasiona. Los parámetros para calcular el grado de deshidratación son el grado de retracción del globo ocular en la órbita, la elasticidad de la piel del cuello y tórax y la concentración de proteínas plasmáticas totales, aunque estos parámetros tienen sus limitaciones. Se recomienda reevaluar los parámetros durante el transcurso de la fluidoterapia y administrar por vía intravenosa en la fase inicial solo 1/3 del líquido total para reanimar al paciente y los requerimientos diarios suministrarlos por vía oral para reducir los costos. La contraindicación más común para la administración de soluciones orales electrolíticas es el íleo. En terneros deshidratados con acidosis metabólica leve, las bases metabolizables preferidas para la fluidoterapia oral son el acetato y el propionato, mientras que por vía

intravenosa se recomienda el  $\text{NaHCO}_3$ . La vía oral sola se recomienda en bovinos adultos con deshidratación moderada (<8% del peso corporal), mientras que la fluidoterapia intravenosa se reserva para casos con deshidratación grave (>8%). El consumo de agua *ad libitum* en terneros y en bovinos adultos deshidratados se debe evitar, pues el agua se absorbe rápidamente al torrente sanguíneo y los eritrocitos del bovino son muy sensibles a la hipoosmolaridad, lo que puede ocasionar hemólisis. Si el animal no está consumiendo agua, los requerimientos de consumo deben ser calculados para ser incluidos en el cálculo del líquido a suministrar en 24 horas, así como un porcentaje adicional (5-10%) para las pérdidas continuas. La administración de solución salina hipertónica 7,2% además de restaurar el volumen minuto, debido a la expansión rápida del volumen plasmático, revierte las anomalías celulares asociadas a choque hemorrágico, reduce el nivel y la incidencia de bacteriemia después de la hemorragia, previene el incremento de la resistencia vascular pulmonar y la exacerbación del edema pulmonar observados durante la reanimación de los pacientes sépticos con líquidos cristaloides isotónicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AHMED, A.F.; CONSTABLE, P.D.; MISK, N.A. 2002. Effect of feeding and route of administration on abomasal luminal pH in dairy calves fed milk replacer. *J. Dairy Sci.* (EEUU). 85(6):1502-1508.
- ANGELOS, S.M.; SMITH, B.P.; GEORGE, L.W.; HOUSE, J.K.; VANMETRE, D.C.; FECTEAU, G.; THACKER, V.C.; ANGELOS, J.A. 1999. Treatment of hypernatremia in an acidotic neonatal calf. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 214(9):1364-1367.
- BAJCSY, C.A.; REICZG J.; SZENCI, O. 1999. Circadian changes in blood ionized calcium, sodium, potassium, and chloride concentrations and pH in cattle. *Am. J. Vet. Res.* 60(8):945-948.
- BAQUERO-PARRADO, J.R. 2005a. The acid-base status in clinically healthy and diseased cattle. En: Resúmenes VIII Encuentro Nal Investig. de las Ciencias Pecuarias. Rev. Col. Cienc. Pec. 18(4) Suplemento: 377.
- BAQUERO-PARRADO, J.R. 2005b. Electrolyte and acid-base disturbances in neonatal calves with diarrhea. En: Resúmenes VIII Encuentro Nal Investig. de las Ciencias Pecuarias. Rev. Col. Cienc. Pec. 18(4) Suplemento: 377.
- BENJAMIN, M.M. 1991. Líquido y electrolitos. Manual de Patología Clínica en Veterinaria. 3ª reimpresión, Edit Limusa, México, D.F. p.251-267.
- BERCHTOLD, J. 1999. Intravenous fluid therapy of calves. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 15(3):505-531.
- BERCHTOLD, J.; CONSTABLE, P.D.; SMITH, G.W.; MATHUR, S.M.; MORIN, D.E.; TRANQUILLI, W.J. 2005. Effects of intravenous hyperosmotic sodium bicarbonate on arterial and cerebrospinal fluid acid-base status and cardiovascular function in calves with experimentally induced and strong ion acidosis. *J. Vet. Int. Med. (EEUU)* 19(2):240-251.
- BESSER, T.E.; SZENCI, O.; GAY, C.C. 1990. Decreased colostral immunoglobulin absorption in calves with respiratory acidosis. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 196(8):1239-1243.
- BLOOD, D.C.; RADOSTITIS, O.M. 1992. Alteraciones de líquidos orgánicos, electrolitos y equilibrio ácido-base. *Medicina Veterinaria*. 7ª Ed. Madrid, España, Vol. 1, p. 62-81.
- BROOKS, H.W.; HALL, G.A.; WAGSTAFF, A.J.; MICHELL, A.R. 1998. Detrimental effects on villus form during conventional oral rehydration therapy for diarrhea in calves; alleviation by a nutrient oral rehydration solution containing glutamine. *The Vet. J. (Reino Unido)*. 155(3):263-274.
- BROWN, S.A.; DUSZA, K.; BOEHMER, J. 1994. Comparison of measured values for colloid osmotic pressure in hospitalized animals. *Am. J. Vet. Res.* 55(7):910-915.
- CAMBIER, C.; RATZ, V.; ROLLIN, F.; FRANS, A.; CLERBAUX, T.; GUSTIN, P. 1997. The effects of hypertonic saline in healthy and diseased animals. *Vet. Res. Commun. (Países Bajos)*. 21(5):303-316.
- CAMBIER, C., DETRY, B., BEERENS, D., FLORQUIN, S., ANSAY, M., FRANS, A.; CLERBAUX, T.; GUSTIN, P.

1998. Effects of hypochloremia on blood oxygen binding in healthy calves. *J. Appl. Physiol. (EEUU)*. 85(4):1267-1272.
- CARLSON, G.P. 1989. Fluid, electrolyte, and acid-base balance. En: Kaneko, J.J. *Clinical and Biochemistry of Domestic Animals*. 4ª Ed, San Diego California, U.S.A., Academic Press, p.543-575.
- CEBRA, M.L.; GARRY, F.B.; CEBRA, C.K.; ADAMS, R.; McCAN, J.P.; FETTMAN, M.J. 1998. Treatment of neonatal calf diarrhea with oral electrolyte solution supplemented with *Psyllium mucilloid*. *J. Vet. Intern. Med.* 12(6):449-455.
- CONSTABLE, P.D.; SCHMALL, L.M.; MUIR III, W.W.; HOFFSIS, G.F. 1991a. Respiratory, renal, hematology, and serum biochemical effects of hypertonic saline solution in endotoxemic calves. *Am. J. Vet. Res.* 52(7):990-998.
- CONSTABLE, P.D.; SCHMALL, L.M.; MUIR III, W.W.; HOFFSIS, G.F.; SHERTEL, E.R. 1991 b. Hemodynamic response of endotoxemic calves to treatment with small-volume hypertonic saline solution. *Am. J. Vet. Res.* 52(7):981-989.
- CONSTABLE, P.D. 1991. Clinical assessment of renal tubular function through determination of electrolyte and creatinine concentrations. *J. Vet. Intern. Med.* 5(6):357-358.
- CONSTABLE, P.D. 1993. Introduction to the ruminant forestomach. En: Howard J.L. *Current Veterinary Therapy 3, Food Animal Practice*, 3ª ed. Philadelphia, W.B Saunders Company, p.706-711.
- CONSTABLE, P.D.; GOHAR, H.M.; MORIN, D.E.; THURMON, J.C. 1996. Use of hypertonic saline-dextran solution to resuscitate hypovolemic calves with diarrhea. *Am. J. Vet. Res.* 57(1):97-104.
- CONSTABLE, P.D. 1997a. A simplified strong ion model for acid-base equilibria: application to horse plasma. *J. Appl. Physiol.* 83(1):297-311.
- CONSTABLE, P.D.; WALTER, P.G.; MORIN, D.E.; FOREMAN, J.H. 1998a. Clinical and laboratory assessment of hydration status of neonatal calves with diarrhea. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 212(7):991-996.
- CONSTABLE, P.D.; HINCHCLIFF, K.W.; MUIR III, W.W. 1998b. Comparison of anion gap and strong ion gap as predictors of unmeasured strong ion concentration in plasma and serum from horses. *Am. J. Vet. Res.* 59(7):881-887.
- CONSTABLE, P.D. 1999. Clinical assessment of acid-base status: Strong ion difference theory. *Vet Clin. North Am, Food Anim. Pract.* 15(3):447-471.
- CONSTABLE, P.D. 2000. Clinical assessment of acid-base status: comparison of the Henderson-Hasselbach and strong ion approaches. *Vet. Clin. Path (EEUU)*. 29(4):115-128.
- CONSTABLE, P.D. 2002. Calculation of variables describing plasma nonvolatile weak acids for use in the strong ion approach to acid-base balance in cattle. *Am. J. Vet. Res.* 63(4):482-490.
- CONSTABLE, P.D., 2003. Fluid and electrolyte therapy in ruminants. *Vet Clin North Am. Food Anim. Pract.* 19(3):557-597.
- CONSTABLE, P.D.; STAEMPFLI, H.R. 2005. Experimental determination of net protein charge and A(tot) and K(a) of nonvolatile buffers in canine plasma. *J. Vet. Intern. Med.* 19(4):507-514.
- CONSTABLE, P.D.; STAEMPFLI, H.R.; NAVETAT, H.; BERCHTOLD, J.; SCHELCHER, F. 2005. Use of a quantitative strong ion approach to determine the mechanism for acid-base abnormalities in sick calves with or without diarrhea. *J. Vet. Intern. Med.* 19(4):581-519.
- CORKE, M.J. 1988. Economical preparation of fluids for intravenous use in cattle practice. *Vet. Rec. (Reino Unido)*. 122(13):305-307.
- EICHER, R.; LIESEGANG, A.; BOUCHARD, E.; TREMBLAY, A. 1999. Effect of cow-specific factors and feeding frequency of concentrate of diurnal variations of blood metabolites in dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* 60(12):1493-1499.
- EWASCHUK, J.B.; NAYLOR, J.M.; PALMER, R.; WHITING, S.J.; ZELLO, G.A. 2004. D-lactate production and excretion in diarrheic calves. *J. Vet. Intern. Med.* 18(5):744-747.

- EWASCHUK, J.B.; NAYLOR, J.M.; ZELLO, G.A. 2005. D-lactate in human and ruminant metabolism. *J. Nutrition (EEUU)*. 7(135):1619-1625.
- FIGGE, J.; ROSSING, T.H.; FENCL, V. 1991. The role of serum proteins in acid-base equilibria. *J. Lab. Clin. Med (EEUU)*. 117(6):453-467.
- FIGGE, J.; MYDOSH, T., T.H.; FENCL, V. 1992. Serum proteins and acid-base equilibria: a follow up. *J. Lab. Clin. Med.* 120(5):713-719.
- FIGGE, J.; JABOR, A.; KAZDA, A.; FENCL, V. 1998. Anion gap and hypoalbuminemia. *Crit. Care Med. (EEUU)*. 26(11):1807-1810.
- FLEMING, S.A.; HUNT, E.L.; RIVIERE, J.E.; ANDERSON, K.L. 1991. Renal clearance and fractional excretion of electrolytes over four 6-periods in cattle. *Am. J. Vet. Res.* 52(1):5-8.
- FLEMING, S.A.; HUNT, E.L.; BORWNIE, C.; RAKES, A.; MCDANIEL, B. 1992. Fractional excretion of electrolytes in lactating dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* 53(2):222-224.
- GROVE-WHITE, D.H.; WHITE, D.G. 1993. Diagnosis and treatment of metabolic acidosis in calves: a field study. *Vet. Rec.* 133(20):499-501.
- GROVE-WHITE, D.H.; MICHELL, A.R. 2001. Comparison of the measurement of total carbon dioxide and strong ion difference for the evaluation of metabolic acidosis in diarrhoeic calves. *Vet. Rec.* 148(12):365-370.
- GUTZWILLER, A. 2000. Glucose and Galactose Absorption after Ingestion of Milk Containing Hydrolysed Lactose in Calves with diarrhea. *J. Vet. Med. A. (Alemania)*. 47(8):495-500.
- HALPERIN, M.L.; GOLDSTEIN, M.B. 1999. Respiratory Acid-Base Disturbances. Fluid, Electrolyte, and Acid-Base Physiology. 3ª Ed, Philadelphia, W.B. Saunders, p. 195-224.
- KASARI, T.R.; NAYLOR, J.M., 1985. Clinical evaluation of sodium bicarbonate, sodium L-lactate, and sodium acetate for the treatment acidosis in diarrheic calves. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 187(4):392-397.
- LUNN, D.P.; McGUIRK, S.M., 1990. Renal regulation and acid-base balance in ruminants. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 6(1):1-28.
- MCCULLOUGH, S.M.; CONSTABLE, P.D. 2003. Calculation of the total plasma concentration of non-volatile weak acids and the effective dissociation constant of nonvolatile buffers in plasma for use in the strong ion approach to acid-base balance in cats. *Am. J. Vet. Res.* 64(8):1047-1051.
- MICHELL, A.R.; BYWATER, R.J.; CLARKE, A.W.; HALL, L.W.; WATERMAN, A.E. 1991. Alteraciones del volumen y de la composición de los fluidos corporales. *Fluidoterapia Veterinaria*. 1ª Ed. Edit. Acribia. p.23-42.
- MULLOWNEY, P.C.; PATTERSON, W.H. 1985. Therapeutic agents used in the treatment of calf diarrhea. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 1(3):563-581.
- NAPPERT, G.; HAMILTON, D.; PETRIE, L.; NAYLOR, J.M. 1993. Determination of lactosa and xilosa malabsorption in prerruminant diarrheic calves. *Can. J. Ve.t Res.* 57(3):152-158.
- NAPPERT, G.; NAYLOR, J.M. 2001. A comparison of pH determination methods in food animal practice. *Can. Vet. J.* 42(5):364-367.
- NAYLOR, J.M., FORSYTH, G.W. 1986. The alkalinizing effects of metabolizable bases in the healthy calf. *Can. J. Vet. Res.* 50 (4):509-516.
- NAYLOR, J.M. 1987a. Evaluation of the total carbon dioxide apparatus and pH meter for the determination of Acid-Base status in diarrheic and healthy calves. *Can. Vet. J.* 28(1,2):45-48.
- NAYLOR, J.M. 1987b. Severity and nature of acidosis in diarrheic calves over and under one week of age. *Can. Vet. J.* 28(4):168-173.
- NAYLOR, J.M. 1990. Oral fluid therapy in neonatal ruminants and swine. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 6(1):51-67.
- NAYLOR, J.M. 1992. Effects of electrolyte solutions for oral administration on clotting of milk. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 201(7):1026-1029.

- NAYLOR, J.M. 1996. Neonatal ruminant diarrhea. En Smith, B.P.: Large Animal Internal Medicine, 2ª Ed, St. Louis, Mosby, p.396-346.
- NAYLOR, J.M.; LEÍBEL, T.; MIDDLETON, D.M. 1997. Effect of glutamine or glycine containing oral electrolyte solutions on mucosal morphology, clinical and biochemical findings, in calves with viral induced diarrhea. *Can. J. Vet. Res.* 61(1):43-48.
- NAYLOR, J.M.; ZELLO, G.A.; ABEISEKARA, S. 2006. Advances in oral and intravenous fluid therapy, of calves with gastrointestinal disease. En: *Memorias. XXIV World Buiatrics Congress 2006. Nice, Francia.*
- OH, M.S., KIM, H.J. 2002. Basic rules of parenteral fluid therapy. *Nephron (Suiza)*. 92(Suppl. 1):56-59.
- OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; KASKE, M.; KENELLY, J.J.; CHRISTOPHERSON, R.J. 1998. Current understanding of the role of the reticulum and reticulo-omasal orifice in the control of digesta passage from the ruminoreticulum of sheep and cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 78:15-21.
- OLCOTT, B. 1987. Desplazamiento del abomaso. En: *Memorias, IV Seminario Internacional de Medicina Bovina, ACOVEZ, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, p.54-60.*
- OMOLE, O.O.; NAPPERT, G.; NAYLOR, J.M.; ZELLO, G.A. 2001. Both L- and D-lactate to metabolic acidosis in diarrheic calves. *J. Nutr.* 131(8):2128-2131.
- PARKER, A.J.; HAMLIN, G.P.; COLEMAN, C.J.; FITZPATRICK, L.A. 2003. Quantitative analysis of acid-base balance in *Bos indicus* steers subjected to transportation of long duration. *J. Anim. Sci. (EEUU)*. 81:1434-1439.
- PHILLIPS, R.W. 1985. Fluid therapy for diarrheic calves: what, how, and how much. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 1(3):541-562.
- PRINGLE, J.K.; BERTHIAUME, L.M. 1988. Hyponatremia in calves. *J. Vet. Intern. Med.* 2(2):66-70.
- PUSTERLA, N.; BRAUN, U. 1995a. Ultrasonographic evaluation of the jugular vein of cows with catheter-related thrombophlebitis. *Vet Rec.* 137(17) 431-434.
- PUSTERLA, N.; BRAUN, U. 1995b. Ultrasonographic findings of perivascular jugular vein diseases in cattle. *Tierärztl. Prax. (Alemania)* 23(4):360-362.
- PUSTERLA, N.; BRAUN, U. 1996. Prophylaxis of intravenous catheter-related thrombophlebitis in cattle. *Vet. Rec.* 139(12):287-289.
- RADOSTITIS, O.M.; MAYHEW, I.G.J.; HOUSTON, D.M. 2002. Elaborar un diagnóstico. En: O.M., RADOSTITIS; TYLER, J.W.; MAYHEW, I.G.. *Examen y Diagnóstico Clínico en Veterinaria. 1ª Ed, Madrid, España, Ediciones Harcourt, p.29.*
- RAGER, K.; HOUSE, J.K.; DEPETERS, E. 2002. Calf Nutrition. *Comp. Cont Ed. Pract Vet. (supplement) (EEUU)*. 24(10):82-91.
- RAMÍREZ, G.; BITTLE, P.A.; COLICE, G.L.; SANTACRUZ, R.; HIDALGO, A.; NOGUERA, I.; AGOSTI, S.J.; FOULIS, P.R. 1992. Blood biochemical characteristics of cattle at sea level and moderately high altitude (3,000 m). *Am. J. Vet. Res.* 53(4):547-550.
- RODEHÜTSCORD, M.; PAUEN, A.; WINDHAUSEN, P.; BRINTRUP, R.; PFEFFER, E. 1994. Effects of drastic changes in P intake on P concentrations in blood and rumen fluid of lactating ruminants. *J. Vet. Med. A.* 41(8):611-619.
- ROUSSEL, A.J. 1983. Principles and mechanics of fluid therapy in calves. *Comp. Cont. Ed. Pract. Vet. (suppl.)*. 5(6):332-340.
- ROUSSEL, A.J. 1993. Fluid therapy transfusion, and shock therapy. En: Howard J.L. *Current Veterinary Therapy 3, Food Animal Practice, 3ª Ed., Philadelphia, W.B Saunders Co. p.1-8.*
- ROUSSEL, A.J.; TALIOFERRA, L.; NAVARRE, C.B. 1996. Catheterization of the auricular vein in cattle: 68 cases (1991-1994). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 208(6):905-907.

- ROUSSEL, A.J.; COHEN, N.D.; HOLLAND, P.S.; TALIAFERRO, L.; GREEN, R.; BENSON, P.; NAVARRE, C.B.; HOOPER, R.N. 1998. Alterations in acid-base balance and serum electrolyte concentrations in cattle: 632 cases (1984-1994). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 212(11):1769-1775.
- ROUSSEL, A.J. 1999. Fluid therapy in mature cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim Pract.* 15(3):545-557.
- SARGISON, N.; SCOTT, P. 1996. Supportive therapy of generalized endotoxaemia in cattle using hypertonic saline. In *Practice (Reino Unido)*. Jan, p.18-19.
- SCHOONDERWOERD, M.; DOIGE, C.E.; WOBESER, G.A.; NAYLOR, J.M. 1986. Protein energy malnutrition and fat mobilization in neonatal calves. *Can. Vet. J.* 27(10):365-371.
- SIMPSON, D.F.; ERB, H.N.; SMITH, D.F. 1985. Base excess as a prognostic and diagnostic indicator in cows with abomasal volvulus or right displacement of the abomasum. *Am. J. Vet. Res.* 46(4):796-797.
- STAEMPFLI, H.R.; PETRIE, J.P.; LUMSDEN, J.H., 1994. The weak acid concentration of plasma in Holstein calves. En: *Abstract Proceedings VI Congress of the International Society for Animal Clinical Biochem.* p.76.
- STAEMPFLI, H.R.; CONSTABLE, P.D. 2003. Experimental determination of net protein charge and A(tot) and K(a) of nonvolatile buffers in human plasma. *J. Appl. Physiol.* 95(2):620-630.
- STEWART, P.A., 1983. Modern quantitative acid-base chemistry. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 61(12):1444-1461.
- THOMAS, L.A.; BROWN, S.A. 1992. Relationship between colloid osmotic pressure and plasma protein concentration in cattle, horses, dogs and cats. *Am. J. Vet. Res.* 53(12):2241-2244.
- TORRES-MEDINA, A.; SCHAFLER, D.H.; MEBUS, C.A. 1985. Rotaviral and coronaviral diarrhea. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 1(3):471-493.
- TUCKER, W.B.; HARRISON, G.A.; HEMKEN, R.W. 1988. Influence of dietary cation-anion balance on milk, blood, urine, and rumen fluid in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 71(2):346-354.
- TYLER, J.W.; SCHUMACHER, J. 1992. Problem-oriented diagnostics, statistical inference, and clinical decisions. *Comp. Cont. Ed. Pract. Vet.* 14(7):1009-1015.
- VERMOREL, M.; VERNET, J.; DARDILLAT, C.; SAIDO, DEMIGNE, C.; DAVICCO, M.J., 1989. Energy metabolism and thermoregulation in the newborn calf; effect of calving conditions. *Can. J. Anim. Sci.* 69:113-122.
- VELÁSQUEZ P, J.M. 1993. Homeostasis ácido básica en parto y postparto. *CORPOICA, Reg. 8 Villavicencio-Meta, Diciembre*, p.29-52.
- WALL, P.L.; NELSON, L.M.; GUTHMILLER, L.A. 1996. Cost effectiveness of use of a solution of 6% dextran in young calves with severe diarrhea. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 209(10):1714-1715.
- WALKER, P.G.; CONSTABLE, P.D.; MORIN, D.E.; FOREMAN, J.H.; DRACKLEY, J.K.; THURMON, J.C. 1998. Comparison of hypertonic saline-dextran solution and lactated Ringer's solution for resuscitating severely dehydrated calves with diarrhea. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 213(1):113-121.
- WHITEHAIR, K.J.; HASKINS, S.C.; WHITEHAIR, J.G.; PASCOE, P.J. 1995. Clinical applications of quantitative acid-base chemistry. *J. Vet. Intern. Med.* 9(1):1-11.
- WILKES, P. 1998. Hypoproteinemia, strong-ion difference, and acid-base status in critically ill patients. *J. Appl. Physiol.* 84(5):1740-1748.

Recibido: septiembre 18 de 2006

Aceptado: agosto 9 de 2007

# PROPUESTA DE RESTRUCTURACIÓN DEL FONDO DE PUBLICACIONES DE LA U.D.C.A

## PROPOSAL FOR THE RESTRUCTURATION OF U.D.C.A'S PUBLICATION FOUNDATION

Norella Castro Rojas<sup>1</sup>  
María Andrea Contreras Nieto<sup>2</sup>

### RESUMEN

El papel que han llevado a cabo durante años las editoriales universitarias en el mundo refleja no solamente una unidad indispensable en las instituciones de educación superior sino que contribuyen ampliamente a la expansión del conocimiento y del saber. Sin embargo, su reto y su labor cada vez se hacen más inciertos, ya que el rol del libro en el sistema educativo universitario es calificado como pobre, debido a las posiciones que algunos docentes mantienen con relación al mismo. Actualmente, ni en los hogares, ni en los colegios, ni en las universidades, se crea un gusto o deleite por la lectura, generadora y creadora de ideas, pero sí inculcan la creencia que los medios y el encantamiento generado por la Internet son los más adecuados, sin saber que son los factores que amenazan con relegar el libro del mundo del intelecto. Todo lo anterior, conlleva a que las editoriales universitarias generen estrategias de mercadeo en sus ediciones, con el fin de evitar la reprografía ilegal, la piratería y la acumulación de stock de ejemplares en sus bodegas.

Palabras clave: Editoriales universitarias, comercialización, reprografía ilegal, cultura impresa.

### SUMMARY

The role accomplished worldwide during years by university editorials not only reflects an essential unity within the institution of higher education, but also contributes amply to the expansion of knowledge and understanding. However, its challenge and task each time is getting more uncertain, since the role of the book within the universities educational system is rated as poor, due to the positions related to it, sustained by some professors. At present, neither at home, nor at school or university, a pleasure or delight for reading, the generator and the creator of ideas, is fomented, but the belief, that the media and the enchantment generated by the internet are the most adequate ones is inculcated, without knowing that these are the factors that threaten to relegate the book from the world of intellect. All this together aids the university editorials to generate market strategies with their editions, in order to avoid the illegal reprography, the piracy and the accumulation of a stock of copies in their storerooms.

Key words: University editorials, commercialization, illegal reprography, printed culture.

### INTRODUCCIÓN

Las instituciones de educación superior son consideradas como uno de los principales espacios donde se genera el conocimiento y donde se promueve el desarrollo intelectual, herramienta pedagógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje y que puede ser socializada a través de las editoriales universitarias. Esta actividad es un quehacer académico que va ligado a la vida

<sup>1</sup> Comunicadora Social y Periodista, Coordinadora del Fondo de Publicaciones de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. norellac@udca.edu.co.

<sup>2</sup> Médica Veterinaria, Maestría en Dirección Universitaria. EdD Administración en Educación Superior. Coordinadora Centro de Gestión del Conocimiento y la Innovación de la Universidad del Rosario. maria.contreras58@urosario.edu.co.

universitaria, a la cual se le reconocen los siguientes objetivos: servir de apoyo a la docencia, divulgar la producción intelectual, la cultura y los resultados de la investigación y estrechar los vínculos de la universidad con la sociedad (Polo, 2005).

Para llevar a cabo estas gestiones, las editoriales universitarias deben velar por una calidad técnica, formal y de contenido independiente del tipo de soporte que se utilice en su edición, ya sea en papel impreso o en medio digital. Se tiene la creencia que con el desarrollo tecnológico y la nueva era digital, los libros impresos tienden a desaparecer; sin embargo, la cultura digital y la cultura impresa no son opuestas sino que coexisten. Esto hace que el rol de las editoriales universitarias cambie para que pueda dar respuesta a los nuevos retos. La U.D.C.A, no ha sido ajena a este proceso y es por ello que se elabora esta propuesta que le permita al Fondo de Publicaciones ofrecer novedosos esquemas y políticas y enfrentar estos desafíos y responsabilidades.

## **DESARROLLO HISTÓRICO DEL LIBRO Y LAS EDITORIALES UNIVERSITARIAS**

La evolución del libro ha sido paralela al desarrollo histórico de la universidad. Los talleres de copistas y los códices manuscritos elaborados en los monasterios y catedrales surgen como necesidad de proveer libros a la comunidad universitaria. Una de las primeras formas de libro, se desarrolló entre el siglo II y el IV a través del códices, formado por hojas plegadas, unidas y encuadradas que tenía una estructura similar a nuestro libro actual. Este formato reemplazó al rollo, el cual requería del uso de las dos manos para su lectura. Estos recursos coexistieron durante varios años (Furió, 2005). Existen métodos más antiguos, especialmente en las civilizaciones mesopotámicas, a través de planchas de barro, que data unos 4.000 años a. de C., sin olvidar el uso de las tablillas de arcilla y del papiro, propio de los griegos, romanos y egipcios. La impresión cambió y la forma de presentación del libro también, a partir del siglo VI a. de C., cuando los chinos manipulaban inteligentemente los bloques de madera con caracteres incisos y, posteriormente, la impresión a partir de bloques móviles. Finalmente, la revolución del libro se logró a partir del año 1456, con Gutenberg, a quien se le atribuye la invención de la imprenta de tipos móviles (Cardona *et al.* 2007).

El libro ha jugado un papel importante en el desarrollo cultural de la sociedad, pero más en la universidad, como medio de consulta, difusión de ideas y de hallazgos científicos. Las universidades creadas en el medievo, como París, Bolonia, Salerno, Oxford y Salamanca y otras, fueron las impulsoras del auge del libro y de la cultura escrita, pues los estudiantes los requerían no sólo para profundizar las cátedras impartidas por los maestros, sino también por la necesidad de leer directamente autores clásicos y modernos. Derivado de ello tuvieron que buscar la manera de poseer varios títulos y diversos ejemplares de una misma obra. Así empieza el desarrollo de las editoriales, donde la universidad pasa de ser una organización transmisora de saberes a generadora de conocimiento. Dicho concepto fue introducido por la Universidad Alemana, con el modelo de Humboldt, quien incluyó la ciencia y la investigación dentro de las funciones sustantivas, extendiéndose a las otras instituciones de educación superior, a nivel mundial. Durante el siglo XX continúa el desarrollo de estas editoriales, debido a la gran expansión del sistema educativo profesional, en donde se incrementa el número de instituciones el número estudiantes matriculados (Furió, 2005).

En Estados Unidos, la primera universidad en utilizar el término de University Press fue Cornell, en 1869, seguida de Pensilvania y de John Hopkins. El resto de editoriales fueron establecidas después de 1935 y agrupadas, actualmente, por la Association of American University Press. En América Latina, la creación de universidades se ha multiplicado en las últimas décadas lo que ha hecho que las editoriales universitarias se conviertan poco a poco, en emporios empresariales del libro, como la Editorial de la Universidad del Rosario (Argentina), la editorial de la UNAM (México) y la Universidad Nacional (Colombia) (Cardona *et al.* 2007).

## **CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS EDITORIALES UNIVERSITARIAS**

Hablar de editoriales universitarias es referirse actualmente a organizaciones que actúan, independientemente, dentro del ámbito de una universidad, editando y gerenciando la industria cultural. Algunas editoriales, específicamente las calificadas como emporios (casos colombianos Editorial Universidad de Antioquia, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Editorial Universidad Externado de Colombia y otras más), han aportado

significativamente al desarrollo y creación de otros Fondos Editoriales, adoptando esquemas, políticas y características similares para su evolución y su sostenimiento (Cardona *et al.* 2007). Son peculiaridades generales y propias, implementadas por la mayoría de las editoriales universitarias, las cuales se pueden resumir en gestión administrativa, edición y producción, mercadeo y comercialización (Tabla 1).

Una vez analizadas y discutidas estas características en diferentes foros y congresos, especialmente en el VI Congreso Internacional de Editores Universitarios de América Latina y el Caribe, el cual se realizó en la ciudad de San José de Costa Rica, del 22 al 24 de agosto de 2007, se concluye que las editoriales universitarias, frente a este mundo en permanente proceso de cambio, se deben fortalecer y buscar alternativas, como diversidad cultural, afianzar las relaciones entre autor-editor-comercializador y asegurar la calidad editorial, para su permanencia y su visibilidad, sin dejar de lado la enorme responsabilidad social. Es claro lo que resalta De Sagastizábal (2005) respecto que la actividad editorial universitaria se debe esforzar porque sus criterios y políticas estén en concordancia con las necesidades y los objetivos de la universidad, a la cual pertenece, sin olvidar y dejar de lado el desarrollo del país, en sus aspectos científicos, tecnológicos, humanísticos, sociales y culturales.

Sierra (2005), Sicard (2005) y Cardona *et al.* (2007) plantean y discuten la importancia de afianzar el propósito de elevar el nivel de conocimiento de los estudiantes que ingresan a las universidades y los que están actualmente en ellas, a través de la corrección de deficiencias dejadas por el vacío existente en cuanto a textos adecuados a nivel de educación superior, pues la mayoría son producto de traducciones o editados en otros idiomas.

Es importante aclarar que en el mundo de la edición, las diferencias entre una editorial universitaria y una comercial son significativas de fondo mas no de forma, pues las primeras, cuyo objetivo principal es su desempeño social, tiene definida tres misiones específicas: la docencia, la investigación y la difusión cultural. Por su parte, las comerciales, tal como lo afirma Sierra (2005), aunque se encuentran inmersas en la misma sociedad, no tiene los compromisos sociales, respondiendo únicamente a exigencias de lucro y

publicando obras o revistas independientemente de si éstas constituyen legítimos aportes al saber o no.

## RETOS DE LAS EDITORIALES, TAMBIÉN PARA EL CASO U.D.C.A

Varios autores, como Polo (2005), Hernández (2005) y Cavaliere (2005), coinciden que la producción editorial de las universidades debe enfrentar nuevos desafíos, cada vez más exigentes, académica y socialmente, en el cumplimiento ético de la calidad pedagógica y científica, retos que también persigue y establece la Universidad. Como su objetivo es servir de instrumento de extensión del conocimiento y del saber, debe irrumpir en los recientes y estrepitosos cambios tecnológicos y comerciales para su progreso, así:

- Lograr una gestión editorial profesional que haga que las editoriales puedan superar su actitud pasiva, estableciendo con claridad la finalidad de la editorial, dándole sentido, continuidad y consistencia a sus catálogos universitarios.
- Diseñar políticas editoriales coherentes de acuerdo con el proyecto educativo institucional y con la misión de cada universidad, permitiendo definir planes de acción editoriales y comerciales, así como procesos de evaluación.
- Impulsar proyectos vinculados a propósitos y planes comunes para el establecimiento de asociaciones y de redes para edición y distribución.
- Concebir proyectos universitarios de acuerdo con los lectores a los que se espera ofrecer las ediciones de la editorial.
- Ofrecer mejores condiciones contractuales y promocionales a docentes e investigadores, tanto de las universidades como de institutos de investigación, quienes constituyen el capital intelectual.
- Cambiar las estrategias de las editoriales universitarias, es decir, perpetrar en ediciones con autores diferentes a los docentes universitarios, publicando traducciones, editando coediciones, comprando derechos de autor extranjeros.
- Establecer otros productos editoriales, diferentes al libro impreso, que hagan uso de nuevos soportes y formatos que permitan la difusión y la divulgación del conocimiento, ejemplo de ello, los libros virtuales.

Tabla 1. Panorámica de algunas características y problemas generales que enfrentan actualmente las editoriales universitarias y que no permiten gobernarse así mismas, específicamente las colombianas.

GESTIÓN ADMINISTRATIVA		EDICIÓN Y PRODUCCIÓN		MERCADERO		COMERCIALIZACIÓN	
POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO	NEGATIVO
Son unidades exclusivas y autónomas, donde se toman las decisiones respecto a cuáles obras se publican y cuáles no.	Existe flaqueza en la definición de políticas y líneas específicas para el cumplimiento de los objetivos de la editorial.	Estarea prioritaria de una editorial universitaria estimular al personal docente y de investigación a la producción de textos universitarios, con fines didácticos, adaptados a currículum o asignaturas propias de la institución.	Muchos de los títulos que llegan a las editoriales universitarias provienen de una necesidad académica de los autores y/o docentes más que por la búsqueda de incorporación de nuevos temas, propios de la academia.	Ampliar el público objetivo para las obras, así se tendrán la capacidad de cumplir con su función social, permitiéndoles ser auto-sostenibles financieramente. Los niveles de ventas demuestran que es necesaria la creación de interés en las publicaciones universitarias.	Las editoriales universitarias han pensado que deben editar sólo para un público interno conformado por los estudiantes, generando el ideal que si el mercado ya existe para qué se necesita promocionar y difundir.	Consolidación y edición de un catálogo con títulos atractivos para ventas, con diseños altamente seductores y agradables. Son acciones posibles con una apropiada inversión que se hace en promoción.	A nivel comercial, la venta del libro universitario es de mediano y largo plazo, lo que los hace menos indispensable y atractiva para el librero con relación a otros tipos de títulos, cuyo volumen de venta y facturación son altos.
Se cuenta con personal calificado que entiende y maneja el proceso editorial, lo cual, genera calidad en todo el proceso.	La dependencia administrativa que afrontan las editoriales, lleva a la carencia de equipos humanos profesionales con formación y experiencia, no sólo en el trabajo editorial sino en la comercialización y promoción.	Bajo la adopción de políticas claras y precisas a la hora de aceptar un manuscrito para su publicación, se garantizará calidad editorial y científica en sus publicaciones.	Los autores y/o docentes tienen la expectativa que todo lo que se escribe merece ser publicado, generando con ello serias dificultades al momento de considerar cuáles publicaciones merecen ser publicables.	La presentación y diversidad de las publicaciones debe incluir elementos necesarios, como folletos, solapas, señaladores y, sin lugar a dudas, el catálogo, permitirán anticipar un primer interés sobre el libro e incrementar la atención hacia las ediciones.	Las publicaciones universitarias son asociadas únicamente con libros académicos o de literatura que hacen poco atractiva la adquisición de dichas publicaciones por parte de los lectores externos.	Montaje de librerías dentro de las universidades, bien surtidas y ofreciendo exclusivamente el material propio.	Desaparición de pequeñas y medianas librerías, clientes de las editoriales universitarias.  Disminución de inversión en las bibliotecas universitarias, debido al incremento en la suscripción en revistas científicas, provocando una disminución en la adquisición de títulos de las editoriales universitarias.

Continuación tabla 1.

<p>Una editorial universitaria con carácter financieramente independiente, lo cual conlleva a generar procesos rápidos, de impacto y de imagen positiva.</p>	<p>La carencia de autonomía financiera hace que los ingresos y egresos entren directamente a las arcas de la universidad, lo que implica que no haya reinversión de los ingresos logrados en la editorial. Se presenta ausencia en la elaboración de presupuestos anuales o semestrales ajustados a la realidad de una editorial universitaria.</p>	<p>Asegurar al neo-editor y a sus autores incentivos y capacitación necesaria para la creación intelectual, tanto en los procesos propios de la edición, como en la presentación de artículos para revistas científicas, lo cual garantiza la calidad y pertinencia en lo publicado.</p>	<p>Degradación del sistema de enseñanza basado en la cultura de los apuntes o la fotocopia selectiva y fragmentada de obras de referencias. No existe fomento por la cultura de la lectura por parte de los docentes hacia sus estudiantes, siendo que son los profesores quienes promueven y alientan éstas prácticas.</p>	<p>Con el apoyo del autor, se diseñan estrategias de promoción, incluyendo la consecución de medios masivos dispuestos a difundir, reseñar y colaborar. Utilizar los canales y las campañas publicitarias, como también participar en exposiciones y ferias, espacios que contribuyen a la consecución de un público para la promoción de las publicaciones.</p>	<p>La mayoría de las editoriales universitarias no cuentan con un plan de mercadeo para cada una de sus posibles novedades.</p>	<p>Incrementar la realización de acuerdos y convenios de distribución con otras editoriales universitarias. Generar alianzas estratégicas para la venta del fondo fuera de la universidad y del país.</p>	<p>Sin una adecuada comercialización, se presenta el fenómeno de reducción en el número de ejemplares impresos por título, es decir, producir por demanda.</p>
<p>Es un trabajo colectivo y colegiado, cuya finalidad se centra en ofrecer una amplia bibliografía, de alta calidad y a menor costo, es decir, su fin último es construir valores académicos y colaborar en el desarrollo del conocimiento.</p>	<p>Las universidades tienen una alta visión comercial de las editoriales basada únicamente en movimientos mercantiles, lo que conlleva a que no se cumpla la función social y formativa pensada al interior de las editoriales universitarias.</p>	<p>Figurar en la nómina de la editorial pares evaluadores, personal calificado que verifican y aprueban los contenidos académicos y científicos de las publicaciones y/o artículos, como apoyo integral a la producción intelectual.</p>	<p>En la universidad se confunde el término imprimir con publicar, lo que conlleva a la edición de textos con serias debilidades conceptuales, sin permitir la consolidación de un verdadero catálogo de publicaciones y la construcción de un público de lectores.</p>	<p>Un punto de mercadeo son las librerías, donde se realizan eventos o presentaciones afines, los cuales convocan a público especializado; esto permite reforzar y mejorar la relación con los librereros, al mismo tiempo que los comprometen con las actividades que la editorial lleva adelante.</p>	<p>Se destinan pocos recursos para la realización de publicidad y promoción.</p>	<p>Las redes de comunicación y bases de datos virtuales son mecanismos altamente efectivos y necesarios, facilitando la comercialización y visualización de las publicaciones universitarias.</p>	

Las anteriores consideraciones, se tuvieron en cuenta, según las investigaciones generadas por los autores Hernández (2005), De Sagastizábal *et al.* (2004) y Córdoba *et al.* (2003).

### ESTADO ACTUAL DEL FONDO DE PUBLICACIONES DE LA U.D.C.A

El Programa de Publicaciones de la U.D.C.A fue creado en el año 2000, bajo la resolución No. 109, del 2 de agosto, en el cual se reglamentó las actividades para el mismo y cumplir así con la responsabilidad que tiene ante la sociedad, dentro de sus funciones de docencia, de investigación y de extensión. El objetivo principal de

crear e implementar el programa fue el de garantizar la edición, la promoción y la difusión de toda la producción intelectual, científica, artística y cultural creada por diferentes miembros de la comunidad universitaria. Una vez concebida esta idea, se estructuró el programa de publicaciones, con una Coordinación del programa y un Comité de Publicaciones fijándole a cada uno funciones y responsabilidades, propias del oficio editorial (Figura 1).

### ORGANIGRAMA (ANTES Y DESPUÉS)

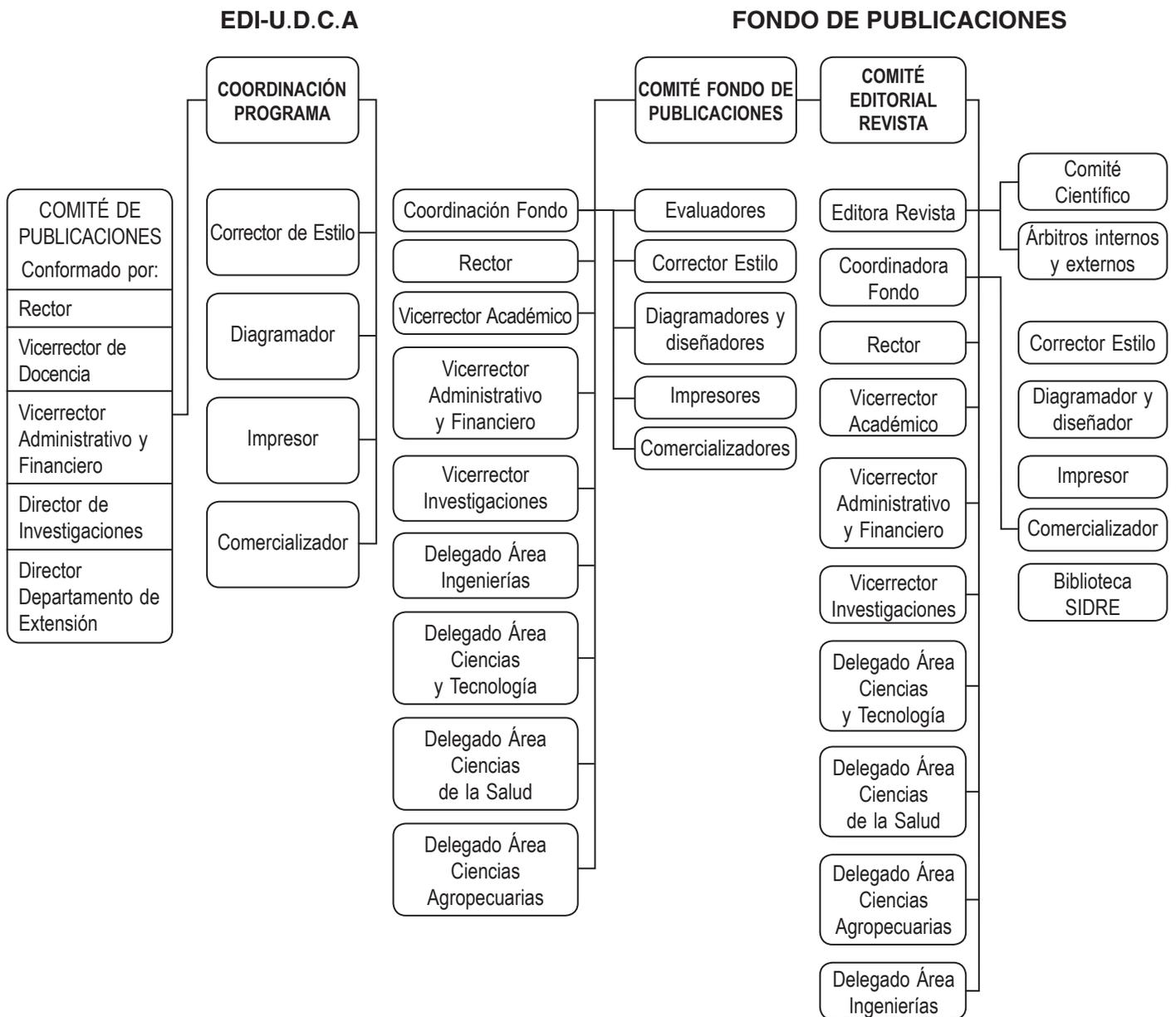


Figura 1. Estructura Orgánica del Programa y los órganos que garantizan la calidad de las publicaciones.

Desde la creación del Programa de Publicaciones, antes EDI-U.D.C.A y actualmente Fondo de Publicaciones, pero especialmente en los últimos años, se puede decir que se ha afianzado y fortalecido la producción intelectual de la Universidad, a través de la consolidación de esta función. Se dio forma a las publicaciones, con la producción de libros, de manuales y, especialmente la edición de la Revista Científica, todos ellos emanados de la actividad investigativa, del ejercicio profesional y de la actividad universitaria.

El Fondo de Publicaciones de la U.D.C.A muestra su evolución en la forma de entender su gestión editorial, desde su óptica más global, que implica pensar, producir y difundir el libro como un bien cultural para el desarrollo de la academia y de la sociedad incluyendo el trabajo técnico de corrección de pruebas, de impresión y de comercialización. A través de su objetivo, ha propiciado una eficiente difusión social, con el cumplimiento de las siguientes funciones:

- Estímulo a la producción intelectual en la comunidad académica.
- Creación de conciencia, a nivel de las autoridades universitarias de la importancia de las editoriales universitarias.
- Apoyar las coediciones con editoriales universitarias y comerciales, con el objeto de reducir costos y mejorar los sistemas de distribución.
- Definición de criterios comunes para mejorar sus ediciones y sus estrategias para optimizar la distribución de sus publicaciones.
- Buscar el establecimiento de sistemas interuniversitarios de distribución y de mayor acceso a un mayor número de usuarios, a través de la participación en eventos feriales y el establecimiento de sus relaciones editoriales.

#### **Fortalezas del Fondo de Publicaciones:**

- Existencia de un Comité de Publicaciones y Comité de la Revista identificado como el órgano asesor que rige las políticas para editar obras de carácter académico, científico y cultural, lo cual garantiza la unidad formal y conceptual.
- Ubicación del Fondo en el organigrama de la Universidad, adscrito directamente a la Rectoría, cuya participación y apoyo en el establecimiento de las

políticas editoriales es fundamental para el desarrollo de sus actividades.

- Edición de textos universitarios con temas especializados acorde con las áreas de conocimiento ofrecidas por la universidad: Medicina Veterinaria, Zootecnia, Ingeniería Agronómica, Ingeniería Geográfica y Ambiental y Medicina, entre otros, que son demandados por el público externo.
- Incremento en el número de títulos elaborados por los docentes, derivado de la política de asignar tiempo para la elaboración de futuras ediciones.

#### **Debilidades del Fondo de Publicaciones:**

- No se cuenta con el personal suficiente para esta función.
- Presupuestalmente, se depende de las decisiones de la Vicerrectoría Administrativa y Financiera, referente a montos destinados para su ejecución.
- La mayoría del material para publicar es pensado únicamente para los estudiantes y no para público externo.
- No existen políticas de comercialización para la producción editorial.

#### **Oportunidades del Fondo de Publicaciones:**

- Inicio de convenios de coedición con editoriales universitarias y/o comerciales.
- Implementación de líneas y productos para la edición de nuestras publicaciones, novedosas, impactantes y actuales.
- Creación de novedosos canales de distribución y/o comercialización.

### **FONDO DE PUBLICACIONES U.D.C.A EN CIFRAS**

Con el fin de poder cuantificar y cualificar las ediciones en un Fondo de Publicaciones y, específicamente las de la U.D.C.A, se hace necesario definir y adoptar unas líneas editoriales y así clasificar su resultado, en lo que se refiere a cantidad de ejemplares editados, líneas y/o series con mayor movimiento y tipo de modalidad más solicitado, es decir, libro, revista, manual, cartilla y otro. Sin embargo, el Fondo a la fecha ha logrado categorizar su producción académica y científica, tal como se demuestra en la figura 2.

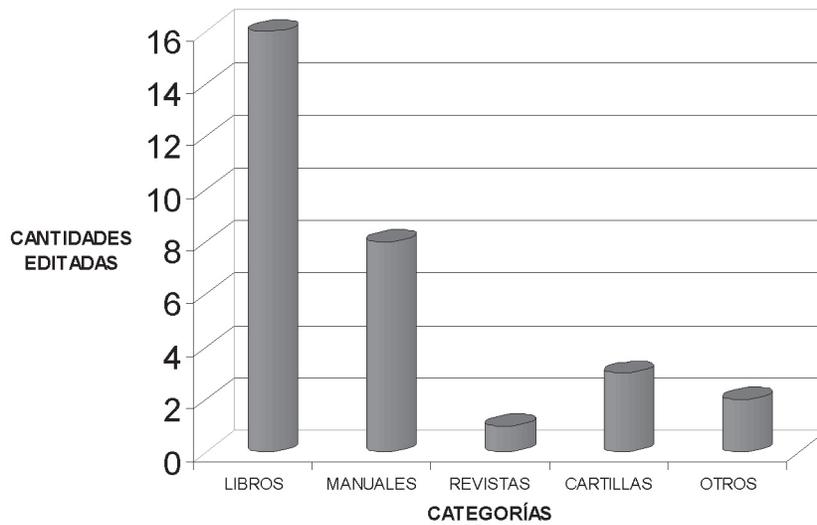


Figura 2. Tipos de publicaciones editados en el Fondo.

De las cifras consignadas en estas figuras, se puede deducir que el Fondo edita sus libros en las áreas académicas. Desde su creación, se han impreso más de 15.000 ejemplares y un total de 28 títulos. De la cantidad de ejemplares, un 78% ha sido vendidos o donados, indicando que el stock o bodegaje de libros es bajo.

El Comité de Publicaciones, en su sesión del primero de octubre de 2007 y registrada en Acta No. 038, aprobó un

número representativo de manuscritos para ser editados, bajo la política de incrementar nuestra producción académica y científica, apoyando y avalando la creación intelectual de los docentes, mediante la asignación de tiempo en la planeación académica de cada programa, metodología e incentivo implementado a finales del año 2002 y que actualmente orientan y aprueban las decanaturas de las diferentes facultades (Figura 3).

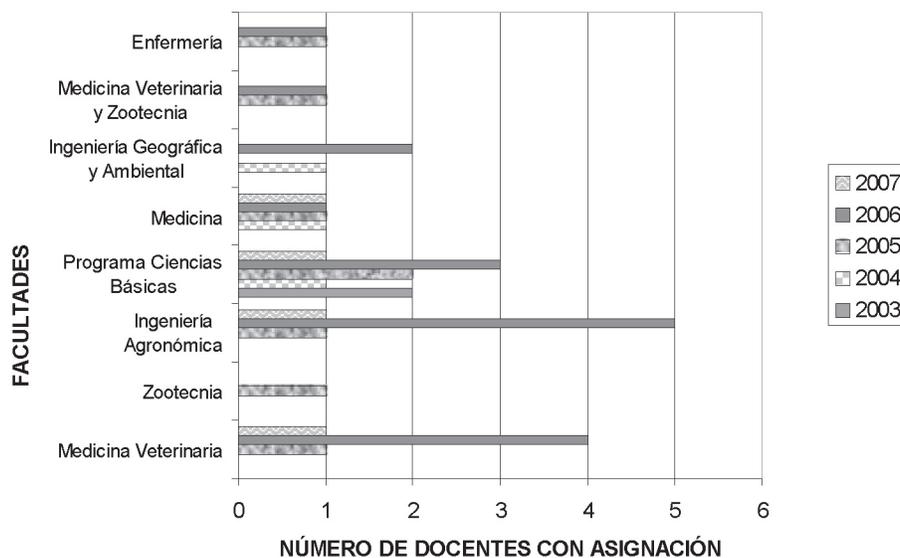


Figura 3. Número de docentes por programa académico con asignación semanal para la elaboración de publicaciones.

Como complemento a este incentivo, los docentes-autores tienen la ventaja, dentro de su política editorial, que la Universidad cubre el 100% los costos de la edición de su obra y todas sus fases del proceso.

Como parte de la responsabilidad del Fondo de Publicaciones con sus autores-docentes es el reconocimiento justo y acorde a su trabajo académico y de investigación, en la fase de derechos de autor; ello se refiere a brindarle un porcentaje, en libros y/o económico, sobre el tiraje, lo mismo que con la Revista Científica. Desde el segundo semestre del año 2003, se inició el proceso de firma y de registro de contratos de edición con cada uno de ellos, teniendo en cuenta todas las disposiciones legales y vigentes sobre la materia, garantizando de parte y parte confianza y vínculos más estrechos.

Como complemento a las gestiones propias del quehacer de una editorial universitaria, como función de difusión, el Fondo de Publicaciones asume los procesos de mercadeo y de comercialización, cuyo propósito es hacer visible y promover el avance de la ciencia, como también preservar y difundir el conocimiento. Sin un afán mercantilista y sin predominar el lucro, el Fondo ha buscado, entre muchas alternativas, hacer presencia en diferentes eventos académicos del libro, que le permitan su supervivencia y su desarrollo y volverse más eficiente y vigorosa. Como resultado de esta gestión, la U.D.C.A ha participado en las diferentes versiones de la Feria Internacional del Libro de Bogotá, con stand individual y conjuntamente con la Asociación de Editoriales Universitarias de Colombia ASEUC. Con gran éxito, en las instalaciones del Campus Universitario, logró el montaje de tres Ferias del Libro Universitario (2003, 2004 y 2005), con el firme propósito de instalar la cuarta versión, en el mes de mayo de 2008, en el marco de los 25 años de la Universidad.

Todas estas acciones de promoción y de difusión del conocimiento emanado de nuestros docentes de la U.D.C.A, ha traído consigo reconocimiento científico y académico tanto nacional como internacionalmente, debido a la oportunidad de comercializarnos en otros países, como Venezuela, México, Ecuador, Perú, Costa Rica y, recientemente, en España y Argentina; hemos logrado, también, realizar los primeros pasos en la coedición con editoriales comerciales. Es una responsabilidad que la estamos articulando satisfactoriamente, como lo han alcanzado otros grandes

Centros Editoriales Universitarios de Colombia y como lo reseña la Cámara Colombiana del Libro (2004), en los casos específicos como la Escuela Colombiana de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Universidad de La Sabana, Politécnico Granacolombiano, Universidad de Medellín y otras más.

## **PROPUESTA DE TRABAJO: UNA REALIDAD PARA NUESTRO FONDO**

La propuesta tiene como objetivo formular los criterios que promuevan un proceso de comunicación integral, permitiendo la consolidación de un sello y editorial universitaria, teniendo como referente la responsabilidad en la orientación, la búsqueda, la obtención, la evaluación y la selección de excelentes publicaciones y posterior difusión, que respondan a las verdaderas inquietudes de una comunidad educativa y social. Para su cumplimiento, se requiere de un trabajo colectivo y colegiado con las diferentes instancias y estamentos de la universidad. La constitución de una organización académico-administrativa debe abarcar alcances de responsabilidad que impulsará al Fondo de Publicaciones a un mejor escalafón.

### **Gestión Administrativa:**

- Diseñar e implementar la política del Fondo de la U.D.C.A, coherente con el proyecto educativo institucional y con los proyectos de cada facultad.
- Plena identificación del quehacer editorial en el ámbito universitario y fuera de él, con el propósito de elevar el conocimiento.
- Determinar las líneas editoriales en Ciencias de la Salud, Arte, Medicina Veterinaria, Administración, Enfermería, Pedagogía, entre otras, con la participación de las facultades, que promueven la generación de conocimientos resultantes de la actividad académica, mediante la publicación y difusión de obras con valor científico, histórico, cultural, pedagógico, artístico o literario.
- Crear el Comité Académico para cada una de las facultades, asignándole responsabilidades y consolidar las funciones para cada uno de los miembros de Comité de Publicaciones, tanto a nivel académico como administrativo.
- Obtención de su plena autonomía administrativa y financiera, con el apoyo irrestricto de la rectoría y

aquellas unidades que tengan que ver directamente con la labor del Fondo de Publicaciones.

### Edición y Producción

- Crear y fomentar el uso del manual de publicaciones y su política editorial.
- Asesorar a los neoescritores y docentes-autores en los procesos de la escritura, de la redacción y presentación de artículos para revistas científicas y/o especializadas.
- Crear un mecanismo para estimular al personal docente y de investigación a la producción de textos universitarios, con fines académicos y también a la edición de obras literarias y de extensión del conocimiento, que contribuyan al rescate y afianzamiento de la cultura del país.
- Fortalecer las acciones de reconocimiento a los autores para generar sentido de pertenencia hacia la Institución y una identidad hacia el Fondo de Publicaciones, elaborando un proyecto de Derechos de Autor.
- Garantizar la calidad en los contenidos y en la presentación de sus publicaciones, como mecanismo para la futura comercialización y mercado y para el reconocimiento y obtención de una buena calificación académica.
- Formar un banco de evaluadores y/o pares académicos, según su especialidad y/o conocimiento.
- Consolidar la imagen tanto institucional como del Fondo de Publicaciones, a través de sus ediciones novedosas, de impacto y de alto contenido.

### Mercadeo y Comercialización:

- Institucionalizar el sello editorial.
- Seleccionar adecuadamente la presentación de nuestras publicaciones, en el tipo de formato, ya sea en físico o electrónico, teniendo en cuenta el impacto que tendrá la obra y su público primario y secundario.
- Fijar una visión sobre el proceso de mercado y comercialización, que oriente a los docentes en qué áreas o géneros se puede incursionar y que aporten a la sociedad y su circulación y/o visualización se de impacto.
- Fortalecer y definir los canales de distribución y comercialización, con el fin de diseñar y gestionar

estrategias efectivas de mercadeo y promoción, para el desarrollo permanente de la labor del Fondo.

- Organizar y conformar la librería universitaria dentro del Campus Universitario, en una de sus sedes y con atención al público en general.
- Ampliar la gama de servicios editoriales y temas de publicación.
- Conformar un grupo de trabajo dedicado a la edición que incluya diseñadores, evaluadores, correctores de estilo y comercializadores, entre otros.
- Elaborar un catálogo con una serie de colecciones, para promover y divulgar la producción editorial. Esta herramienta se hace necesaria para llevar a diferentes eventos feriales, tanto a escala nacional como internacional.
- Crear una cultura institucional contra la fotocopia y la piratería, a través del Centro Colombiano de Derechos Reprográficos CEDER.
- Crear una política de participación en eventos feriales.
- Programar actividades académicas y culturales que tengan que ver con el mundo del libro: Conversatorios sobre Derechos de Autor, Talleres sobre Producción Editorial, dirigidos tanto para docentes, como para administrativos.
- Garantizar la calidad, la conveniencia y la pertinencia de las publicaciones.

## CONCLUSIONES

Las editoriales universitarias en Colombia han evolucionado, adaptándose a los modos de comunicación científica y cultural determinados por las tecnologías de la información y los hábitos de los lectores. En la actualidad difunden, por medios impresos y electrónicos, el conocimiento generado en las universidades, contribuyendo a la transmisión del saber, la creación científica y el aprendizaje.

En su quehacer editorial, han arrojado resultados con estándares de calidad a través de sus publicaciones, aportaciones de sus docentes e investigadores, que las han llevado a incursionar en el ámbito de las editoriales universitarias más reconocidas a nivel nacional e internacional, jugando un papel importante en el desarrollo y afianzamiento en la excelencia de la educación superior, como oportunidad para la mejora de la enseñanza y el aprendizaje.

El libro y la transmisión del conocimiento están en permanente cambio en la sociedad actual y es donde las editoriales universitarias colombianas han afrontado e integrado satisfactoriamente estas formas de publicación y difusión del saber tradicional y nuevo, desde el equilibrio entre los libros y los bytes, los formatos clásicos y los nuevos y el respeto del derecho de autor. Los fondos y las editoriales seguirán buscando herramientas estratégicas de promoción, de difusión, de venta, de atracción de lectores y disposición de contenidos para sus públicos, de acuerdo a las necesidades de autores y lectores.

El Fondo de Publicaciones de la U.D.C.A y las editoriales universitarias colombianas han potencializado la presencia del libro académico en Latinoamérica, en Europa y en Estados Unidos, utilizando todos los sistemas de distribución y comercialización existentes. La presencia de ellas en diferentes eventos y ferias del libro es el papel que juegan a diario, junto con sus docentes y bibliotecarios, para el impulso de la edición universitaria.

Tras siete años de existencia, el Fondo emprendió una nueva etapa de intensificación de sus actividades editoriales, de impulso a la edición universitaria, con la profundización en su presencia internacional, el desarrollo de nuevas estrategias de promoción. Nuestro Fondo de Publicaciones, no es ni será ajeno a la innovación, pues seguirá contribuyendo a la creación del conocimiento, fortaleciendo el desarrollo social y comprometiéndose con el aporte de editar libros con calidad científica y cultural.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO. 2005. Términos de referencia para los estudios editoriales en América Latina. Disponible desde Internet en: [www.iesalc.unesco.org.ve/programas/términos\\_referencia/tdreditorialesuniv.pdf](http://www.iesalc.unesco.org.ve/programas/términos_referencia/tdreditorialesuniv.pdf) (con acceso 27/10/06).
- ANÓNIMO. s/f. Historia del libro. Disponible desde internet en: [www.libreriasdecristal.com.mx](http://www.libreriasdecristal.com.mx). (con acceso 14/06/07).
- CARDONA, T.C; SERRANO, J.J.; DELVASTO, G.A. 2007. Políticas Editoriales. Editorial Universidad Santiago de Cali, Colombia. 134p.
- CAVALIERE, A. 2005. El libro impreso y el libro digital: estudio sobre los modos de producción editorial en el cambio de milenio. Universidad de Alicante. España Disponible desde Internet en: [www.primervistalibros/fichaLibro.jsp?idLibro=1786](http://www.primervistalibros/fichaLibro.jsp?idLibro=1786) (con acceso 05/08/07).
- CÓRDOBA, J.; MARKEN, S.; VALBUENA, S. 2003. Balance preliminar de la actividad editorial universitaria en Colombia. En: Serie Documental. Estudios sobre la educación en Colombia. ASCUN- UNESCO-IESALC: Bogotá, Colombia. 112 p.
- DE SAGASTIZÁBAL, L.; RÚBIO, L.; 2004. Editoriales universitarias de América Latina y el Caribe. En: Las editoriales universitarias hacia el siglo XXI. Buenos Aires, Argentina. Capítulo 16. Disponible desde Internet en: [www.iesalc.unesco.org.ve/pruebaobservatorio/informe\\_rama\\_eslat/capitulo\\_xvi.pdf](http://www.iesalc.unesco.org.ve/pruebaobservatorio/informe_rama_eslat/capitulo_xvi.pdf) (con acceso 11/10/06).
- DE SAGASTIZÁBAL, L. (2005). Presente y cambio en la edición universitaria. En: Memorias del I Foro de Edición Universitaria, Guadalajara: México. p. 34-50.
- ESTADÍSTICAS DEL LIBRO EN COLOMBIA 2004. Cámara Colombiana del Libro, Bogotá. CD.
- FURIÓ, A. 2005. El Futuro de la edición universitaria. En: Memorias del I Foro de Edición Universitaria". Alttexto: Guadalajara, México. p. 9-24.
- HERNÁNDEZ, H. 2005. La edición universitaria. Problemas, retos y propuestas de futuro. En: Memorias del I Foro de Edición Universitaria, Guadalajara: México. p.133-135.
- POLO, M. 2005. Nuevas Estrategias de Edición Universitaria. En: Memorias del I Foro de Edición Universitaria, Guadalajara: México. p.25-26.
- SICARD, A. 2005. Lineamientos para orientar la formulación de una política editorial de la Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos. Colombia. Disponible desde Internet en: [www.unibiblos.unal.edu.co/documentos/presentaciones/lineamientos\\_formulacion\\_politicaeditorial.nov2005ppt10](http://www.unibiblos.unal.edu.co/documentos/presentaciones/lineamientos_formulacion_politicaeditorial.nov2005ppt10) (con acceso 14/09/06).

SIERRA, J.A. 2005. Marketing para editoriales universitarias en el siglo XXI. DirectLibros. San José de Costa Rica, Costa Rica. 260p.

Recibido: noviembre 14 de 2006

Aceptado: octubre 30 de 2007

# EFFECTO DEL CULTIVO DE PAPA SOBRE LA FAUNA EDÁFICA EN EL PÁRAMO DE GUERRERO

## EFFECT OF THE POTATO CROP ON THE SOIL FAUNA AT THE PARAMO GUERRERO

Liliana H. Casasbuenas Poveda<sup>1</sup>

Luis Hernando Estupiñán Bravo<sup>2</sup>

### RESUMEN

Las prácticas agrícolas en el páramo alteran la estructura ecológica de las comunidades de la fauna edáfica disminuyendo su composición, su abundancia y su riqueza. El estudio, se desarrolló en el Páramo de Guerrero, Cundinamarca y el objetivo propuesto fue determinar el efecto de prácticas agrícolas sobre la composición de la fauna edáfica. Se muestrearon zonas de páramo sin rastro de intervención antrópica y zonas con presencia de cultivos de papa. La fauna, se obtuvo a partir de monolitos; la extracción e identificación, se efectuó en el laboratorio. Se encontraron 91 morfotipos, siendo los grupos con mayor participación: Arthropoda: Arácnida y Hexapoda. Familias: Entomobryidae, Campodeidae, Staphilinidae, Formicidae, Enicocephalidae y Onychiuridae. Se registraron 695 especímenes, de los cuales el 62,2% correspondió a la zona sin intervención y el 37,8% a la zona cultivada. Los mayores valores de abundancia, diversidad y composición, se encontraron en la zona de páramo, que también se caracterizó por la frecuencia de grupos que presentan una baja densidad, que indica la alta especificidad con la disponibilidad de hábitat. En las zonas con cultivos, la frecuencia de la fauna edáfica fue baja al igual que la constancia y la dominancia. El establecimiento de cultivos de papa en el páramo ocasiona cambios en la composición y en la abundancia;

algunos grupos desaparecen, mientras que las especies cosmopolitas se adaptan a las condiciones del medio.

Palabras clave: Edafofauna, impacto, páramo, suelo, prácticas agrícolas.

### SUMMARY

Agricultural practices at the Páramo alter the ecological structure of the soil fauna diminishing their composition, abundance and wealth. This study was developed at the Páramo Guerrero, Cundinamarca, with the objective to determine the effect of agricultural practices on the soil fauna. Samples were taken without anthropic intervention and in presence of potato crops. The fauna was obtained from monoliths, realizing extraction and identification in the laboratory. 91 morphological types were found, being the groups with more participation: Arthropoda: Aracnida and Hexapoda and Families: Entomobryidae, Campodeidae, Staphilinidae, Formicidae, Enicocephalidae and Onychiuridae. 695 individuals were registered, corresponding 62.2% to area 1 and 37.8% to the cultivated area. The highest values of abundance, diversity and composition were in the area of the páramo, characterized also by the frequency of groups that presented a low density, indicating high specificity with the habitat availability. In the areas with cultivations, the frequency of the soil fauna was low, as well as the perseverance and dominance. The establishment of potato cultures in the páramo causes changes in the composition and abundance, some groups disappear, while others, as the cosmopolitan species, increase or adapt to the conditions of the environment.

Key words: Soil fauna, impact, páramo, soil, agricultural practices.

<sup>1</sup> Ingeniera Agrónoma. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A lilieca82@yahoo.com.mx. Dirección para correspondencia: Calle 222 No. 54-37. Bogotá.

<sup>2</sup> Biólogo M.Sc. Docente Investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica. U.D.C.A luishest@udca.edu.co.

## INTRODUCCIÓN

Los páramos son considerados ecosistemas de alta fragilidad y sus suelos no son ajenos a esta condición y propensión a procesos de degradación, debido a la baja resistencia y capacidad de recuperación (Alarcón *et al.* 2002; Gómez, 2002). El uso de los suelos está limitado, por sus características, a una fertilidad natural media a baja, acidez marcada, alta retención de humedad, alta susceptibilidad al deterioro y baja temperatura edáfica que conlleva a una actividad biológica lenta (Cortés, 1995; Malagón & Pulido, 2000). El páramo con el tiempo ha sido transformado en busca de “desarrollo” y de un crecimiento desmedido, se han traspasado sus fronteras y se han intervenido sus recursos. Para Guhl (1982), Gonzáles & Cárdenas (1995), Vargas-Ríos & Rivera (1990), Avellaneda (1998), Estupiñán (2001), los factores que están influyendo en la destrucción de los páramos son entre otros: quemas indiscriminadas, sobrepastoreo, establecimiento de plantaciones forestales, introducción de cultivos, utilización intensiva y contaminación del recurso hídrico, extracción de suelos orgánicos y actividades de alto impacto ambiental, como prospección sísmica de hidrocarburos y extracción de minerales. El mayor impacto sobre todos los páramos es, sin lugar a duda, la agricultura, la ganadería y quemas asociadas. Hoy día, un 60% de todos los páramos están bajo uso continuo y una gran extensión está ocupada con cultivos, pastos sembrados y tierras erosionadas (Hofstede, 2003).

La agricultura genera impactos adversos en los suelos y, por lo tanto, al ecosistema (Alarcón *et al.* 2002). El suelo es el medio que sostiene y alberga la vida y como tal debe ser considerado como un organismo vivo, que contribuye y hace parte de los diferentes procesos de la naturaleza (Prieto & Casasbuenas, 2005); además, presenta diferentes grados de sensibilidad a las actividades agropecuarias dependiendo de su naturaleza y su origen (Andrade *et al.* 2002). El cultivo de papa, tiene beneficios para su desarrollo en los páramos, pero la tecnología utilizada ocasiona erosión, pérdida de la materia orgánica y de su fauna y flora asociada, desequilibrando la dinámica del agua en los suelos y la función del ecosistema como regulador, dejando los suelos inestables, propensos a procesos de reptación, soliflucción, sofucción, deslizamientos y derrumbes (Alarcón *et al.* 2002). Se presenta un

desequilibrio biológico por la utilización de agroquímicos de manera frecuente y en ocasiones antitécnica, afectando la calidad del suelo y del agua.

Es difícil evaluar y cuantificar los efectos a largo plazo que ocasiona este cultivo, como son desequilibrio en la cadena trófica, acumulación paulatina de tóxicos y la desaparición progresiva de la fauna y microflora del suelo, reguladoras naturales de las poblaciones “plaga” en nichos no perturbados. Estos componentes bióticos han dejado de jugar papeles protagónicos pasando a secundarios y, en los casos más drásticos, han desaparecido (Castaño *et al.* 2003).

Los organismos que habitan el suelo son importantes para el equilibrio de un ecosistema, por tener efectos positivos en la conservación y en la estructura (Salamanca & Chamorro, 1994; Lavelle, 1990; Lavelle *et al.* 1993, citados por Morales & Sarmiento, 2002); actúan en la fragmentación y en la desintegración del material orgánico (Vanegas, 2002; Hoffmann, 1996); intervienen en el incremento de la fertilidad del suelo por la diversidad de nutrientes especialmente del humus [Castillo & Amat citados por Infante (1987); Cortes, 1995; Parisi, 1979]; actúan en la prevención de la erosión, al proveer una cobertura vegetal y de hojarasca que reduce el impacto de la lluvia sobre la superficie y ayudan a la regulación del clima en el planeta (Varela, 2006).

La degradación del suelo es consecuencia de factores antrópicos ya sea por actuaciones directas, como agrícolas, forestales y de ganadería, o por acciones indirectas, como actividades industriales. Algunos organismos resisten la bioturbación, mientras que en otras ocasiones desaparecen las poblaciones originales y los espacios son ocupados por especies cosmopolitas (Ruiz, 2006). Wall *et al.* (2004) citados por Varela (2006) afirman que los organismos del suelo están directamente amenazados por las prácticas agrícolas y forestales no sostenibles. Estas prácticas, según Marín *et al.* (2001), causan alteraciones en la estructura, la composición, la riqueza y la distribución espacial de la fauna edáfica. Coral & Bonilla (1998) citado por Ramírez *et al.* (2005) expresan que el cambio del uso de la tierra genera variaciones en las poblaciones como respuesta a modificaciones en la cobertura vegetal, radiación solar, lluvias y propiedades físicas y químicas del suelo. Para Pashanasi (2001), el desmonte y los cultivos sucesivos destruyen rápidamente los macroinvertebrados. En

áreas con cultivos anuales y bianuales, con relación con los bosques primarios, la biomasa es reducida y desaparecen la mayoría de los organismos. Decaens *et al.* citados por Ruiz (2006) encontraron que los cultivos anuales tienen un efecto nocivo sobre las poblaciones de lombrices y artrópodos; señalan que los factores responsables de este fenómeno son la utilización de fertilizantes, desaparición del mantillo y modificaciones climáticas que resultan de la tala de vegetación. Estos, junto con la aplicación de plaguicidas, afectan en mayor proporción la diversidad y la abundancia de las comunidades del suelo. Peredo *et al.* (2002) afirman que altas y repetidas dosis de fertilizantes minerales pueden perjudicar a la mesofauna, ya sea por su toxicidad o por la alta presión osmótica causada; excesos de nitrógeno afectan indirectamente a la mesofauna edáfica al producirse una mayor acidificación del suelo, lo que trae consigo inhibición del crecimiento y actividad microbiana, alterando la fuente de alimentación de la mesofauna. También reportan disminución de la abundancia de microartrópodos edáficos al usar, por ejemplo, glifosato para el control de arvenses, ya que este herbicida, al llegar al suelo provoca efectos sobre la mesofauna. Concluyen, que el efecto prolongado de las labores agrícolas causa una alteración de la estructura del ecosistema representada tanto por una disminución de la abundancia de individuos como de la riqueza. Ramírez *et al.* (2005) afirman que la disminución o ausencia de la macrofauna en sitios intervenidos es producto del efecto antrópico continuo.

El objetivo general del presente estudio fue determinar el efecto de prácticas agrícolas, relacionadas con el cultivo de papa, sobre la estructura y composición de la fauna edáfica en el Páramo de Guerrero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Páramo de Guerrero se localiza en la cordillera Oriental, ocupa una área de 15.000 hectáreas que comprende una franja de montaña, a una altitud de 3.000 a 3.900msnm, ubicada entre los 74° 10' W y los 5° 15' N. El estudio, se desarrolló en el sector de Guargua, entre 3.037 y 3.602msnm, municipio de Carmen de Carupa. El paisaje de la zona, se caracteriza por ser quebrado, de grandes ondulaciones y presentar algunas llanuras y cerros (Alcaldía Municipal, Carmen de Carupa, 2007).

Las zonas donde se realizaron los muestreos fueron las siguientes: Zona 1 (Z1) páramo sin rastro de intervención; Zona 2 (Z2), cultivo de papa en pleno desarrollo; Zona 3 (Z3) cultivo de papa, en la cual finalizaba el ciclo de uno y se iniciaba la siembra de otro y Zona 4 (Z4), el 50% del tiempo de muestreo permaneció en descanso (barbecho) y en el 50% restante en cultivo. Se realizaron cuatro muestreos, entre julio y noviembre del 2006.

En cada muestreo, se tomó un monolito de 20x20x20cm, según la metodología propuesta por Anderson & Ingram (1989). Cada muestra, se dividió en dos: los primeros 10cm y los 10cm siguientes. La extracción de la edafofauna, se efectuó por el método de Berlesse-Tullgren (Prieto & Casasbuenas, 2005). La identificación, se realizó hasta familia, cuando fue posible, utilizando las claves de Borror *et al.* (1989), Peterson (1960). Se trabajaron morfotipos, que corresponden a la agrupación de organismos de acuerdo a sus características morfológicas compartidas (Wallter & Proctor 2005). Se contó con material identificado de referencia perteneciente a la Colección Biológica de la U.D.C.A (Código 51).

Se determinó riqueza, abundancia poblacional, frecuencia, constancia, dominancia, diversidad (índice de Margalef) y similaridad (índice de Bray Curtis), para establecer la correlación ecológica y determinar el estado de la fauna edáfica en el área de estudio. Se realizó un análisis temporal relacionando valores de precipitación media con los de diversidad a través del tiempo. Los datos climáticos fueron obtenidos de la estación pluviométrica "El Hato" de la CAR. Con la información lograda, se elaboró un análisis multivariado mediante componentes principales (ACP) utilizando programas SAS y SPAD.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona 1, la comunidad vegetal dominante es Pajonal - Frailejonal que se constituye como albergue y fuente de alimento para los organismos habitantes del suelo. Para los sitios de muestreo ubicados en las zonas 2, 3 y 4, se puede apreciar la transformación del páramo natural y las variaciones que tienen las áreas cultivadas con papa de acuerdo a las labores y el uso del suelo. Los cultivos replazan la vegetación natural y la diversidad vegetal se ve reducida por el establecimiento de un monocultivo

que usa el suelo como medio de producción y las funciones de la vegetación natural quedan alteradas propiciando que se generen condiciones de hábitat distintas para la fauna edáfica natural, disminuyendo considerablemente la diversidad de organismos del suelo y facilitando el establecimiento de otros que se adaptan a las nuevas condiciones.

**Composición de la edafofauna:** Se encontraron 91 morfotipos, el Phylum con mayor participación fue Arthropoda y las Clases más representativas fueron Arácnida y Hexapoda: a nivel de Orden, Acari es el dominante, seguido por Collembolla. Estos dos grupos conforman el 58,0% de la fauna encontrada, mientras que Coleoptera, otros Hexápodos, Diplura, Psocoptera, Nematoda, Hymenoptera, Geophylomorfa y otros, conforman el valor restante. Las familias que reportaron mayor participación fueron Entomobryidae, larvas de Coleoptera, Campodeidae, larvas de Diptera, Staphylinidae, Formicidae, Enicocephalidae y Onychiuridae (Tabla 1).

El páramo natural (Z1) presentó una composición variada y con representantes de la mayor parte de los grupos taxonómicos encontrados. Predominó Acari, seguido de Entomobryidae, otros Hexápodos, Campodeidae, larvas de Coleoptera y de Diptera, los otros grupos están distribuidos a lo largo de las muestras. Se resalta que de los 28 grupos taxonómicos encontrados para el páramo natural siempre se registraron de 10 a 14 por muestra, lo que indica que existe poca variación en cuanto a composición para dicha zona. De acuerdo con los resultados, se puede afirmar que el páramo suministra las condiciones necesarias para el establecimiento y desarrollo de la biota natural del suelo.

En la zona 2, de la cual se tomaron muestras desde la siembra de la papa hasta que esta cumplió cuatro meses de desarrollo, se pudo apreciar una disminución en la composición de la fauna edáfica; únicamente se encontraron nueve representantes de los 28 grupos taxonómicos, unos pocos se encuentran distribuidos a lo largo de los muestreos. Los grupos más representativos fueron: Acari, presente en todos los muestreos, Collembolla, larvas de Coleoptera y Psocoptera, los cuales se encuentran en dos de los cuatro muestreos. Es importante resaltar que la composición disminuye a medida que se desarrolla el cultivo; inicialmente,

se hallaron representados 5 y 6 grupos taxonómicos, pero con el tiempo disminuyeron a 3 y 2, debido a las condiciones dadas por el establecimiento del cultivo y la presencia de precipitaciones altas.

En la zona 3, la composición no varió. Ocho grupos mostraron mayor aporte y fueron los más relevantes en todos los muestreos: Acari, Psocoptera y Entomobryidae; los demás se encontraron en el muestreo dos, pero no se mantuvieron. La escasa composición de esta zona tuvo su origen en el uso del laboreo constante del suelo y otras actividades que agotaron y no permitieron la recuperación de sus características físicas, químicas y/o biológicas.

En la zona 4, se encontró que, a medida que avanzó el desarrollo del cultivo, los grupos disminuyeron, solamente se presentaron nueve, similar a la situación anterior; Acari fue el más representativo. Otros grupos que se encontraron bien distribuidos fueron los coleópteros y los Psocopteros.

La composición de fauna edáfica para las zonas cultivadas con papa, confrontada con la del páramo natural, se vio reducida en un 67,1%, que a lo largo del tiempo presentó marcadas variaciones, indicando que la actividad agrícola tiene una influencia directa negativa sobre la composición de la fauna del suelo.

**Riqueza:** Se encontraron 28 grupos, en la zona 1, que representan el 96,4% de los reportados en todos los muestreos. No se encontraron individuos de la Familia Cecidomyiidae que sí estuvieron presentes en la zona 2. Exclusivos para esta zona fueron 15 grupos y 12 compartidos con las zonas 2, 3 y 4. Acari, Staphylinidae, larvas de Coleoptera, Aphidoidea, Psocoptera y Entomobryidae fueron los más representativos en los muestreos, destacándose la capacidad que probablemente tienen para adaptarse a condiciones extremas, a las cuales se ha llegado por el uso intensivo del suelo por los cultivos de papa (Figura 1). La mayoría de los Staphylinidae encontrados son reconocidos como depredadores.



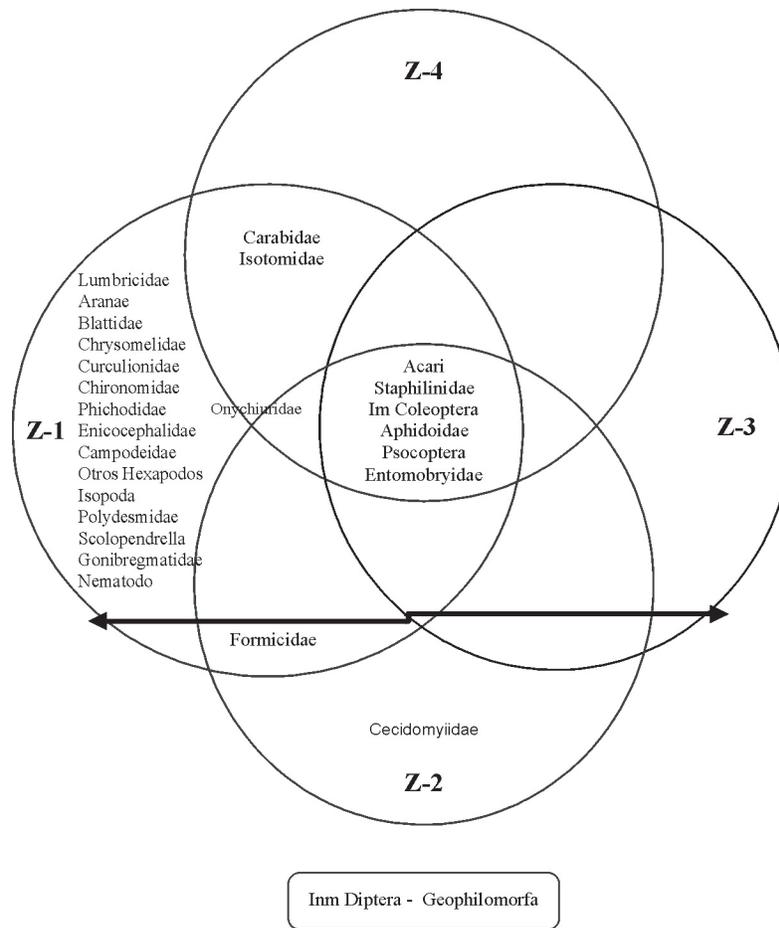


Figura 1. Distribución de los Grupos Taxonómicos en el área de estudio. Z-1, páramo natural sin intervención antrópica; Z-2, corresponde a cultivo de papa en pleno desarrollo; Z-3, cultivo de papa, en la cual finalizaba el ciclo de uno y se iniciaba la siembra de otro y Z-4, zona en la cual el 50% del tiempo de muestreo permaneció en descanso (barbecho) y el 50% restante en cultivo.

Los grupos exclusivos para la zona 1 fueron: Lumbricidae, Araneae, Blattidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Chironomidae, Psychodidae, Enicocephalidae, Campodeidae. Otros Hexapodos, Isopoda, Polydesmidae, Scolopendrella, Gonibregmatidae y Nematodo (Figura 1). Posiblemente estos grupos son sensibles a los cambios producidos en el suelo por la actividad agrícola, ya que desaparecen totalmente para las zonas con cultivos.

Se determinaron 91 morfotipos distribuidos a lo largo del estudio. En la zona 1, 69; zona 2, 24; zona 3, 15 y zona 4, 18. Los mayores valores se presentaron, para todas las zonas, en el muestreo dos, así: 37, 11, 9 y 10 morfotipos; los más bajos se registraron en el muestreo 4 con 13, 3, 5 y 5, posiblemente por la presencia de precipitaciones altas que influyeron directamente sobre la riqueza.

**Abundancia:** Se registraron 695 individuos, 432 (62,2%) correspondientes a la zona 1 y 263 (37,8 %) al área cultivada. La zona 2 presentó 77 individuos, la zona 3, 71 individuos y la 4: 115 individuos. Los valores alcanzaron su máximo en el páramo natural con marcadas diferencias con las áreas cultivadas (Figura 2). Los valores altos para la zona 1, se debieron probablemente a las condiciones dadas por los recursos de la vegetación correspondientes a la comunidad propia del ecosistema paramuno. Es interesante anotar que Acari, larvas de Coleoptera, Psocoptera y Entomobryidae fueron los grupos más predominantes en la composición; esta situación se ve bien reflejada para la abundancia, ya que estuvieron representados con los mayores valores para todas las zonas.

Los organismos que ocupan un área determinada presentan una distribución de acuerdo con su actividad,

sus preferencias por la variedad de hábitat, su alimento y la estratificación de la vegetación (Bernal, 1985). Dado que el trabajo se realizó principalmente en áreas cultivadas de papa, se destacó que una de las

abundancias totales más altas corresponde a larvas de Coleoptera, que representan una de las principales plagas que afectan los tubérculos.

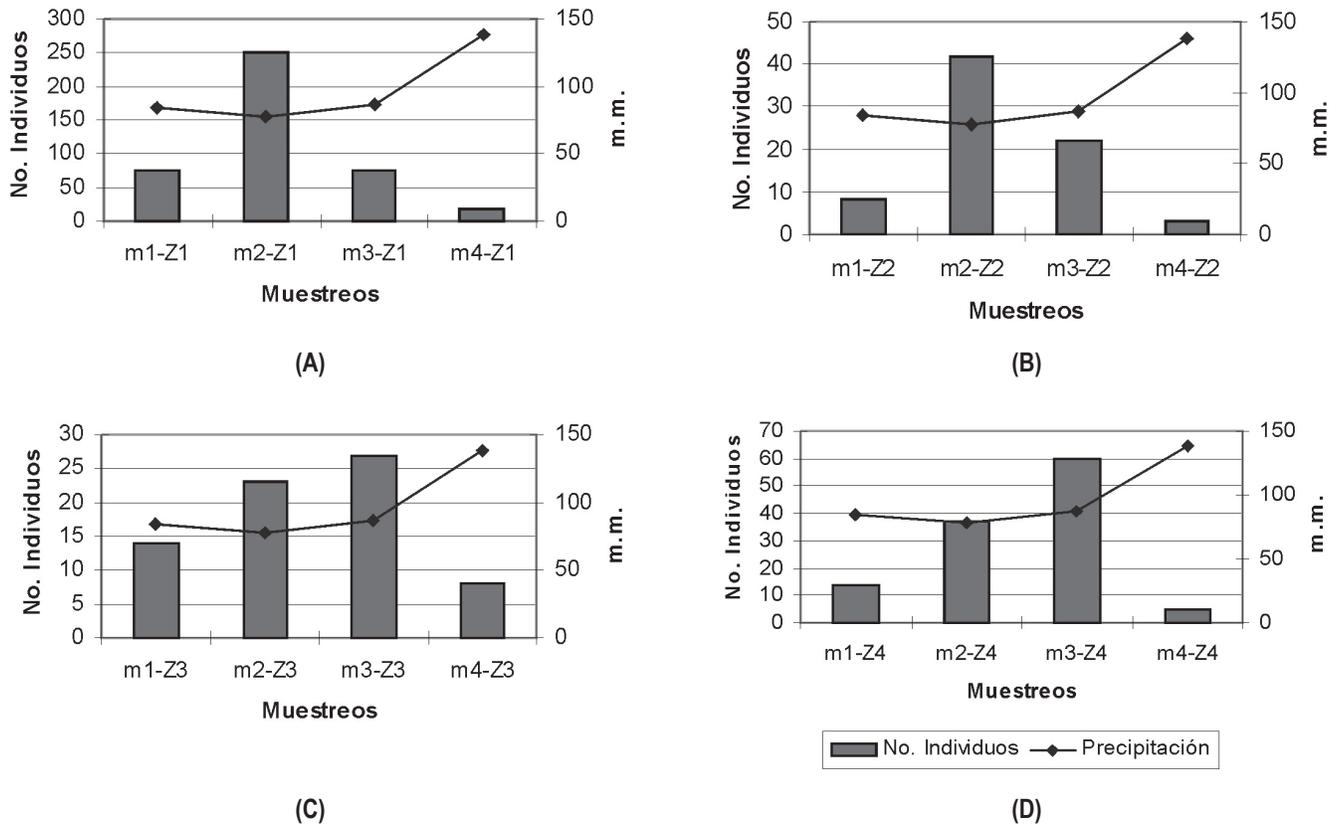


Figura 2. Variación de la fauna edáfica relacionando la abundancia y la precipitación. **m** indica el muestreo y **Z**, la zona.

Relacionando la abundancia con la precipitación, se encontraron abundancias altas con precipitaciones medias, en el caso del muestreo 2 y las menores abundancias con las mayores precipitaciones, en el muestreo 4 (Figura 2).

**Frecuencia, constancia y dominancia:** El páramo está caracterizado por la frecuencia de grupos que presentan una baja densidad (Tabla 1), lo que indica la alta especificidad de estos organismos con la disponibilidad de hábitat, algunos de ellos son Lumbricidae, Araneae, Blattidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Chironomidae, Psychodidae, Enicocephalidae, Campodeidae, Isopoda, Polidesmidae. Acari, Entomobryidae y Nematoda que, en la zona 1, ocupan la categoría de muy alta y alta densidad, respectivamente. Los dos primeros,

se distinguen por su alta capacidad de adaptación a situaciones adversas del medio que son originadas de forma natural o inducida.

La constancia indica que los grupos Acari, larvas de Diptera y Entomobryidae tienen un comportamiento euconstante. La categoría constante está representada por inmaduros de Coleoptera, Campodeidae, Pscoptera, otros Hexapodos y Nematoda. Los grupos restantes solamente se presentaron en uno o como máximo dos muestreos, considerándose accidentales. Como resultado de las interacciones de frecuencia y dominancia para los grupos del páramo natural, se clasifican tres grupos dominantes, como superiores Acari y Entomobryidae y como inferior a inmaduros de Diptera. Dentro del rango intermedio superior está solamente Nematoda y en la

inferior Formicidae, Carabidae, Staphylinidae, inmaduros de Coleoptera, Enicocephalidae, Campodeidae, Psocoptera y otros Hexapodos; los restantes 15 grupos son clasificados como secundarios inferiores.

En la zona 2, solamente Acari tuvo una alta densidad, de los ocho grupos restantes, únicamente Cecidomyiidae es exclusivo para esta zona y, al igual que los demás, presentó una baja densidad. Este mismo comportamiento lo tuvo la constancia donde Acari se resalta, ya que fue el único euconstante, mientras que los demás fueron accidentales o su presencia se considera accidental y, por lo tanto, se le da el calificativo de dominante superior (Tabla 1).

La frecuencia de la zona 3 fue similar que la zona 2, Acari y Psocoptera con muy alta y alta frecuencia en comparación con los seis restantes. Larvas de Díptera y Geophilidae solamente se presentaron en esta zona, debido a su característica de alta movilidad presentada en los individuos adultos. Esto se confirmó por la constancia que presentan estos grupos, los cuales estuvieron en los cuatro muestreos y son considerados como euconstantes. Como constantes, se tuvo a Entomobryidae y el resto se pueden considerar organismos accidentales, donde sobresalieron por su dominancia superior Acari y Psocoptera (Tabla 1).

La zona 4 presentó 9 grupos, 7 en común con las otras zonas de cultivo. Esta zona compartió con páramo sin alterar, Carabidae e Isotomidae. Acari fue el único que mostró muy alta densidad, fue euconstante y su dominancia fue superior frente al resto. A nivel de constancia predominaron los organismos accidentales, específicamente, secundarios inferiores (Tabla 1). A lo largo de los muestreos se evidenció una apreciable disminución de los grupos del páramo frente a aquellas donde el suelo es laboreado, la frecuencia de la fauna edáfica fue baja, al igual que la constancia y la dominancia.

El comportamiento temporal de los organismos del suelo de páramo en las zonas 2, 3 y 4 queda supeditado a las oportunidades que genere el hombre en las actividades del cultivo. Las condiciones del cultivo a nivel de altura, estado fenológico y descanso del terreno fueron diferentes y no cambió el comportamiento en la distribución temporal.

**Diversidad:** Los mayores valores se encontraron en la zona 1, donde fluctuaron desde 4,88 hasta 3,25. Para las zonas cultivadas, los resultados obtenidos, en comparación a la zona anterior, fueron bajos. En el muestro 2, zona 2, el índice de diversidad fue 2,73 y en el muestro 1, zona 3, el valor fue 1,52 (Tabla 2). Los

Tabla 2. Abundancia, Riqueza y Diversidad Fauna Edáfica Páramo de Guerrero.

	M1								M2							
	m1-Z1		m1-Z2		M1-Z3		m1-Z4		m2-Z1		m2-Z2		m2-Z3		m2-Z4	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Abundancia X H	224	9,72	17,8	16,9	34,1	9,56	31,6	10,2	634	55,4	77,3	28,6	55	15,2	85,7	10,6
Taxa X H	13	2	1	5	3	2	2	3	15	9	4	3	4	5	4	2
Margalef X H	2,8	0,72		1,92	0,96	0,56	0,46	1,24	2,59	2,38	1,02	0,63	1,06	2,23	0,87	0,56
Abundancia X m	233,5113		34,744		43,6569		41,8351		689,682		105,9773		70,205		96,2627	
Taxa X m	14		5		4		4		16		6		7		4	
Margalef X m	2,993		1,82		1,137		1,137		2,715		1,329		1,914		0,831	

	M3								M4							
	m3-Z1		m3-Z2		m3-Z3		m3-Z4		m4-Z1		m4-Z2		m4-Z3		m4-Z4	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Abundancia X H	673	19,2	78,2	38,8	118	20,7	112	23,7	1877	108	270	59,9	193	35,7	269	21,7
Taxa X H	10	2	3	2	2	3	4	2	7	4	2	0	3	2	3	2
Margalef X H	2,1	1,44	0,72	0,56	0,37	0,8	0,79	0,38	1,94	1,54	0,91	0	1,82	0,72	1,82	1,44
Abundancia X m	692,0452		116,976		138,6276		135,3404		1984,728		329,9092		228,82		291,0508	
Taxa X m	10		3		3		4		10		2		3		4	
Margalef X m	2,085		0,647		0,607		0,7357		2,673		0,91		1,028		1,864	

resultados obtenidos de diversidad son una referencia que indica que los cultivos de papa en el páramo afectan directamente el componente biológico de los suelos.

**Dinámica espacial:** Los organismos más representativos en el análisis de horizontes, se hallan en la zona 1, que corresponde al páramo natural en el que se encontraron 432 individuos, 62,2% del total de la población, de los cuales 390 del horizonte A y 42 al B. En las zonas 2,3 y 4, se encontró, para los dos horizontes, un valor 263 individuos, 37,8% del total, 170 en el horizonte A y 93 en B (Tabla 2).

Walwork (1970), Parisi (1979) y Bernal (1985) indican que la fauna se ubica en los primeros centímetros del suelo debido a que allí se presenta la mejor oferta de nutrientes por la materia orgánica, adecuados niveles de humedad y mayor disponibilidad de oxígeno que en capas más profundas. El cultivo de papa ha modificado drásticamente la distribución de la edafofauna; al comparar los horizontes A y B no se hallaron mayores diferencias. Se observó la disminución de organismos, no se encontraron abundancias superiores a 90 individuos

por muestra y, de esta forma, el horizonte A de la zona cultivada en papa perdió la capacidad para sostener la abundancia y la riqueza de propia del páramo.

**Similitud:** Respecto a la similitud, empleando la riqueza, se establecieron seis grupos a un nivel de 0,85 (Figura 3). El primer grupo presentó valores medios de riqueza para la zona 1, 13 -17 morfotipos, igualmente los valores medios de riqueza 9 -11 estuvieron representados en el grupo dos que corresponde a las zonas 2, 3 y 4. Las menores riquezas, se reportaron en las zonas 2, 3 y 4, caso que se aprecia bien en el grupo 3; en el grupo 4, se destacó que la riqueza más baja encontrada correspondió al muestreo 4, zona 2, el cual tuvo como antecedente que ha sido trabajado sin descanso, lo que probablemente ocasionó una recuperación muy lenta. Los grupos 5 y 6 presentaron las mayores riquezas y junto con el grupo 1 marcan la diferencia del páramo frente al área empleada para el cultivo, señalando una distribución normal para la riqueza a lo largo de los meses de muestreo, condición que no se da en el área cultivada, donde las actividades agrícolas, limitan la vida de los organismos.

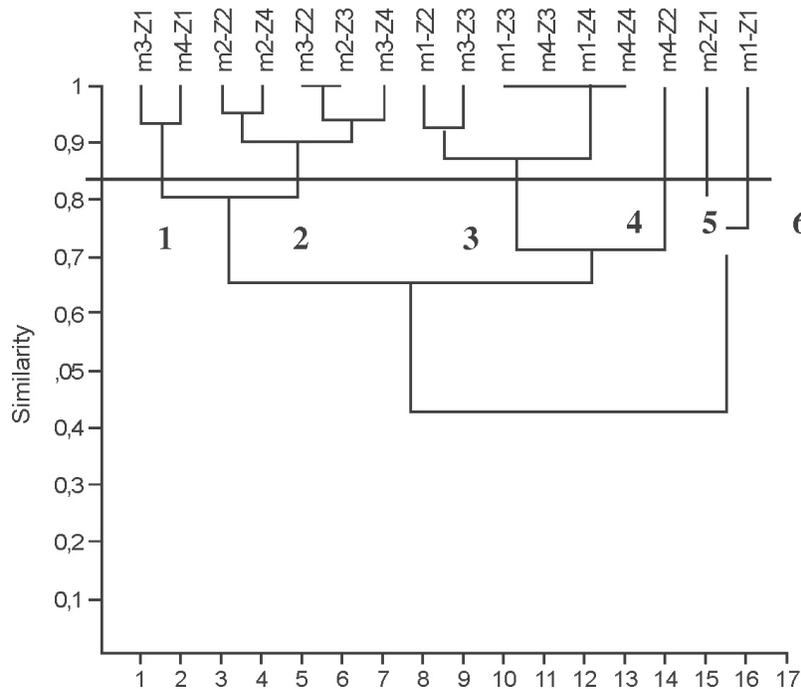


Figura 3. Dendrograma a partir de los índices de similitud de Bray Curtis empleando la riqueza.

**Análisis de mutivariado:** En la figura 4, se ve la formación de cuatro grupos: el uno, el de mayor proyección, esta integrado por los muestreos que mayor diversidad presentaron, destacándose principalmente, los muestreos 1, 2 y 4 del páramo natural; el resto estuvo integrada por las muestras de la zona agrícola.

El segundo grupo, se destacó por la diversidad media obtenida para las zonas 2 y 3, el grupo 3 y 4, señalaron los muestreos, con los valores de diversidad más bajos de todas las zonas. El comportamiento de las variables estuvo directamente relacionado y confirmaron los resultados obtenidos a lo largo de este estudio.

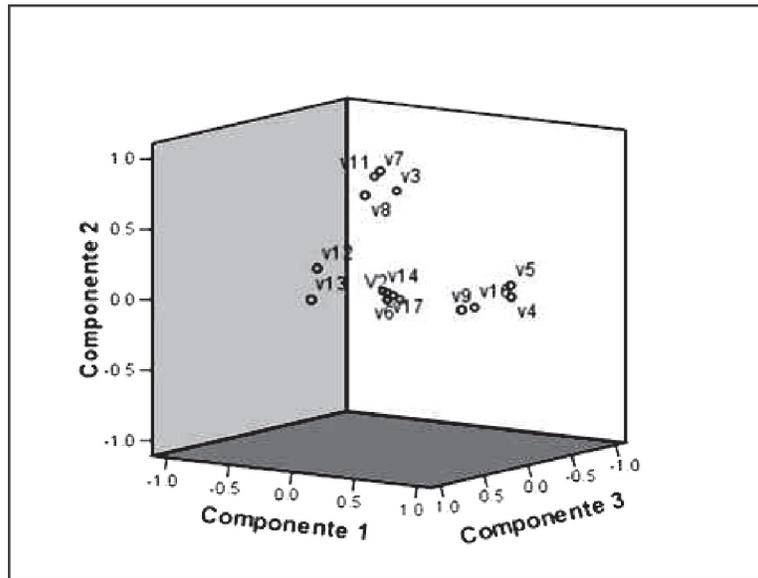


Figura 4. Componentes principales con base en la diversidad de las zonas V2-V5 = Muestreo 1 zonas 1-2-3-4, V6-V9 muestreo 2 zonas 1-2-3-4, V10-V13 =Muestreo 3 zonas 1-2-3-4, V14-V17 Muestreo 4 zonas1-2-3-4.

## CONCLUSIONES

La fauna edáfica del páramo posee una alta especificidad de hábitat y recursos para el desarrollar su ciclo de vida, el laboreo del suelo repercutió en la pérdida de grupos taxonómicos disminuyendo su frecuencia, su constancia y su dominancia en el tiempo; de esta forma, la regeneración de las poblaciones del suelo queda supeditada a las oportunidades que pueda generar el hombre en sus actividades.

El establecimiento de cultivos en el páramo ocasiona cambios en la composición y en la abundancia de la edafofauna. Algunos grupos desaparecen mientras que otros, como las especies cosmopolitas, se incrementan o adaptan a las condiciones del medio, como es el caso de Acari, larvas de Coleoptera, Entomobryidae, Psocoptera, Aphidoidea y Staphylinidae.

El cultivo de papa modifica drásticamente la distribución de la edafofauna; al comparar los horizontes A y B no se

hallan mayores diferencias. El horizonte A de la zona cultivada en papa pierde la capacidad para sostener la abundancia y la riqueza de fauna edáfica propia del páramo.

En general, el páramo natural proporciona todas las condiciones para que la fauna edáfica se mantenga con sus características, composición y dinámica. El cultivo de papa, independientemente del estado en que se encuentre, altera de forma drástica la estructura ecológica de las comunidades de la fauna edáfica, disminuyendo su composición, su abundancia y su riqueza.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A y COLCIENCIAS por el apoyo al Grupo Páramo para la realización de la investigación a través de la financiación del programa Jóvenes Investigadores e Innovadores.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA MUNICIPAL CARMEN DE CARUPA, 2007. Plan de Desarrollo Municipal, 2004-2007. 420p.
- ALARCÓN, H.; BARBOSA, C.C.; ARGUELLO, S.; RAMIREZ, A.; SALAZAR, H.F.; VILLE, T.J.; VILLA, L.A. 2002. Transformaciones y cambio en el uso del suelo en los Paramos de Colombia en las últimas décadas. En: IDEAM; MMA; NUD Eds. Páramos y Ecosistemas Alto Andinos en Condiciones Hot Spot & Global Climática Tensor. p.211-333.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S. 1989. Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods. CAB International. Wallingford, UK. p. 59-69.
- ANDRADE, G.; ROSAS, M L.; ARANGO, F.G. 2002. Lineamientos para definir la vulnerabilidad y adaptabilidad de los ecosistemas continentales colombianos ante la convención de cambio climático. En: IDEAM; MMA; NUD Eds. Páramos y Ecosistemas Alto Andinos en Condiciones Hot spot & Global Climática Tensor. p.71-160.
- AVELLANEDA, A. 1998. Limitaciones en la aplicación de la normativa ambiental para la gestión en páramos. En: Memorias Curso Caracterización y Manejo de la Zonas de Páramo. MMA, ICFES, BID. Villa de Leyva. 185p.
- BERNAL, C.A. 1985. Estudio comparativo de la entomofauna del pajonal paramuno y del bosque alto andino de la región de Monserrate Cundinamarca. Ecología de los Paramos Andinos, Una visión preliminar integrada. Inst. Ciencias Naturales. Biblioteca José Jerónimo Triana No 9. p. 225-260.
- BORROR, D.J.; TRIPLEHORN, C.A. 1989. An introduction to the study of insects. 6ª Ed. Saunders College Publ. Philadelphia. EEUU. 875p.
- CASTAÑO, U.; FRANCO, V. L.; REY, C. 2003. El páramo en Colombia. Hofstede, R; Segera, P; MENA, P. Ed. Los Páramos del Mundo. 59p.
- CORTÉS, L.A. 1995. Los suelos de páramo: Regulador del recurso hídrico en Boyacá. En: Fundación de Ecosistemas Altoandinos Ed. El Páramo. Ecosistema de Alta Montaña. Serie Montañas Tropoandinas. Fundación de Ecosistemas Andinos. Bogotá. 1:85-93.
- ESTUPIÑAN, L.H. 2001. Los páramos, ecosistemas para conservar. Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 4(1):7-12.
- GÓMEZ, S.C. 2002. Cambios y transformaciones en el suelo del bioma del páramo por el cambio climático. Memorias Congreso Mundial de Páramos Tomo I. Paipa (Colombia). p.72-79.
- GONZÁLES, F.; CÁRDENAS, F. 1995. El páramo un paisaje deshumanizado: El caso de las provincias del Norte y Gutiérrez (Boyacá-Colombia). En: Reyes, P., Molano, J. Eds. El páramo, Ecosistema de Alta Montaña. Serie Montañas Tropoandina, Vol. 1. Fundación Ecosistemas Andinos. Editorial Fundación Cultural Javeriana de Artes Gráficas. Bogotá. p. 25 - 44.
- GUHL, E. 1982. Los paramos que circundan la Sabana de Bogotá. Jardín Botánico "José Celestino Mutis" Bogotá. 120p.
- HOFFMANN, A. 1996. Animales desconocidos relatos acarológicos. Fondo de Cultura de Económica. México. 215p. Disponible desde Internet en: (con acceso 12/10/06).
- HOFSTEDE, R. 2003. Los Páramos en el Mundo: su diversidad y sus habitantes. En: Hofstede, R.; Segara, P; Mena, P. Eds. Los Páramos del Mundo. p.15-38.
- INFANTE, J. 1987. Influencia del uso del suelo sobre la mesofauna edáfica en el Páramo de Chingaza, Cundinamarca Colombia. Tesis de grado. Fac. Ciencias, Depto. Biología. U. N. de Colombia. 240p.
- MALAGÓN, D.; PULIDO, C. 2000. Suelos del Páramo colombiano. En: Rangel, J.O. (Ed). Colombia Diversidad Biótica III. La Región de la vida Paramuna. U. N. de Colombia. p.37-84.
- MARÍN, P.E.; FEJOO, A.; PEÑA, J.J. 2001. Cuantificación de la macrofauna en un vertisol bajo dife-

- rentes sistemas de manejo en el Valle del Cauca Colombia. *Suelo Ecuatoriales*. 31(2):233-238.
- MORALES, J.; SARMIENTO, L. 2002. Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el Páramo Venezolano. *Ecotrópicos*. 15(1):99-110.
- PARISI, V. 1979. *Biología y ecología del suelo*. Edit. Blume. España. 169p.
- PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*. 12(1-2):75-97.
- PEREDO, P.S.; BARRERA, C.P.; PARADA, Z.E. 2002. Efecto de prácticas agrícolas convencionales sobre la biodiversidad de los grupos mesofaunísticos edáficos en un huerto de ciruelos. Una aproximación agroecológica. *Agro Sur*. 30(2):7-14.
- PETERSON, A. 1960. *Larvae of insects*. Ed. Edward's Brothers. Inc-Ann Arbor. Michigan. 416p.
- PRIETO, P.J.; CASASBUENAS, P.L. 2005. Impacto de la Quema sobre la fauna edáfica en el Páramo Rabanal, Samacá Boyacá. *Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá*. 86p.
- RAMÍREZ, R.P.; TRUJILLO, R.P.; RIVERA, C.B. 2005. Identificación y cuantificación de la actividad microbiana y macro fauna de un andisol bajo diferentes sistemas de manejo, en el municipio de Marinilla Antioquia. *Universidad Nacional. Medellin*. p.1-26.
- RUIZ, H.D. 2006. Efectos de diferentes grados de perturbación del ecosistema sobre la macrofauna del suelo. *Depto. Biología U. La Habana*. Disponible desde Internet en: <http://humboldt.org.co/chmcolombia/servicios/jsp>. (con acceso 20/06/06).
- SALAMANCA, P.N.; CHAMORRO B.C. 1994. La edafofauna del páramo de Monserrate - Hacienda "Santa Bárbara" - (Cundinamarca - Colombia). En: Mora-Osejo, L.; Sturm, H. Eds. *Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino. Cordillera Oriental de Colombia*. Tomo II. Acad. Col. de Cienc. Exactas, Físicas y Naturales; Col. Jorge Álvarez Lleras No. 6:631-647.
- VANEGAS, O.V. 2002. Influencia de algunas características del hábitat sobre la edafofauna de un bosque altoandino y una plantación de pino. Tesis de Grado: *Depto. Biología. U.N. de Colombia. Bogotá*. 70p.
- VARELA, R. A. 2006 *Grupos funcionales microbianos y servicios ecosistémicos del suelo*. *Memorias Congreso del Suelos 2006*.
- VARGAS-RÍOS, O.; RIVERA, D. 1990. El páramo un ecosistema frágil. *Cuadernos de Agroindustria y Economía Rural*. No. 25. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 25p.
- WALLTER, D.E.; PROCTOR, H.C. 2005. Orders, suborders & cohorts of mites in soil. Disponible desde Internet en: <http://www/lucidcentral.com/keys/cpitt/public/Mites/Soil%20mites/index.htm> (con acceso 15/07/06).
- WALWORK, J. 1970. *Ecology of Soil Animals*, Mc Graw Hill. London. 283p.

Recibido: marzo 21 de 2007

Aceptado: septiembre 14 de 2007

# REGISTRO Y NOTAS BIONÓMICAS DE UNA NUEVA PLAGA DEL AGUACATE *Laurencella colombiana* (HEMIPTERA: MARGARODIDAE) EN COLOMBIA

## RECORD AND BIONOMIC NOTES OF A NEW AVOCADO PEST *Laurencella colombiana* (HEMIPTERA: MARGARODIDAE) IN COLOMBIA

Zulma Nancy Gil P.<sup>1</sup>  
Francisco Javier Posada F.<sup>1</sup>  
Myriam Pérez S.<sup>2</sup>  
Reinaldo Cárdenas M.<sup>3</sup>

### RESUMEN

En un reconocimiento de insectos del aguacate *Persea americana* (Mill) en Villamaría (Caldas, Colombia), se detectó por primera vez un Hemiptera: Margarodidae. La identificación como *Laurencella colombiana*, la realizó el doctor Imre Foldi (Museo de Historia Natural de Paris, Francia) y la doctora Gillian W. Watson (CABI Bioscience Identification Services, Inglaterra). Este es un nuevo registro de un género y especie para Colombia y para el aguacate. El insecto es gregario, todos los estados, maduros e inmaduros, se pueden encontrar juntos. Tanto las hembras adultas, como las ninfas, se alimentan succionando savia sobre las hojas, las ramas y los troncos. El daño es severo porque causa el secamiento de los terminales y de las ramas. El insecto, se cubre con secreciones cerosas blancas y excreta abundante miel de rocío que favorece el desarrollo de fumagina.

Palabras clave. Reconocimiento, insecto chupador, secamiento, ramas, tronco, aguacate.

### SUMMARY

In a survey carried out on avocado insect pests in Villamaría (Caldas, Colombia), for the first time a Margarodidae (Hemiptera), was found. The insect was identified by Dr. Imre Foldi (Muséum National d'Histoire Naturelle, Entomology, Paris) and Dr. Gillian W. Watson (CABI Bioscience Identification Services, England) as *Laurencella colombiana*. The insect lives in groups and the different stages can be found together. They feed sucking on leaves, branches and trunks. The damage is especially serious on young branches and leads to the desiccation of terminal shoots and stem. The insect covers itself by white waxy secretions and excretes abundant honeydew, which encourages the development of sooty mould.

Key words: Survey, sucking insect, desiccation, shoots, stem, avocado.

### INTRODUCCIÓN

El aguacate es una fruta cuyo centro de origen es América tropical. En Colombia es una planta ampliamente cultivada en huertos o asociada a otros cultivos. En los últimos años ha recobrado importancia por la creciente demanda interna y por el potencial de exportación. En varias regiones del país, se encuentran

<sup>1</sup> I.A. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de investigaciones del Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia Sede Planalto, km. 4 vía Chinchiná-Manizales. Chinchiná (Caldas) – Colombia. (E-mail: (ZNG) zulma.gil@cafedecolombia.com); (FJPF) francisco\_posada@cafedecolombia.com).

<sup>2</sup> Tecnólogo Agropecuario. Laboratorio de Producción de hongo. Disciplina de Entomología Centro Nacional de investigaciones del Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia

<sup>3</sup> Investigador científico III. Disciplina de Entomología Centro Nacional de investigaciones del Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia. QEPD.

extensiones apreciables en monocultivo, con objetivo comercial, ya que Colombia es uno de los países con condiciones óptimas para este árbol. Se tienen registros de excelentes producciones que hacen altamente atractivo este cultivo como negocio agrícola y se cuenta con material de propagación de variedades mejoradas y nativas seleccionadas, con recomendaciones para los diferentes pisos altitudinales, tipos de suelos y condiciones ecológicas (Salazar *et al.* 1978; Ríos & Tafur, 2003, Velásquez, 2006).

El manejo sanitario es uno de los aspectos más críticos de este cultivo a pesar de existir los registros y la divulgación de los insectos que se presentan como fitófagos del aguacate (Saldarriaga, 1977; Posada, 1989; Cárdenas & Posada, 2001). En Colombia, a pesar de estas publicaciones, es muy poca o nula la investigación sobre insectos plagas y sus métodos de manejo integrado. El manejo, se basa esencialmente en la aplicación calendario con regimenes de aspersión, en algunos casos semanales, de mezclas de insecticidas con fungicidas y fertilizantes, sin evaluación de la efectividad de la aplicación.

Los insecticidas que se usan son generalmente del mismo grupo químico y se aplican con énfasis en prevenir la presencia de insectos plagas. Las plantaciones de aguacate son administradas por personal sin ninguna capacitación sobre el manejo de problemas sanitarios, por lo que no están en condiciones de tomar acciones oportunas para evitar el daño o controlar apropiadamente las poblaciones de las plagas. En las visitas de campo, se tuvo la percepción que los administradores de las plantaciones no están capacitados para evaluar los problemas sanitarios ni tienen conocimiento sobre evaluación de daño, de biología, de enemigos naturales y de métodos de control de insectos plagas.

Mantener este sistema de producción del aguacate no es sostenible a largo plazo para los productores, debido a los elevados costos de producción, al alto impacto ambiental negativo generado por la contaminación de pesticidas y a los riesgos para la salud pública, ya que es un cultivo de consumo directo de la fruta y con perspectivas de exportación donde, últimamente, se exigen estándares de calidad y hay establecidos niveles máximos de residuos de plaguicidas (EC, 2004, MacLachlan, 2006).

En Colombia hay registradas alrededor de 68 especies de artrópodos que se alimentan de aguacate (Posada, 1989), pero esto no significa que todos causen daño de importancia económica. Hay especies que tienen distribución amplia y las que llegan a causar daño severo son los insectos barrenadores de tallos y de frutos: *Copturomimus perseae* (Hustache), *Heilipus lauri* Boheman (Coleoptera: Curculionidae); *Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Stenomidae) (Hoyos & Giraldo, 1984; Cárdenas & Posada, 2001) y, recientemente, se registraron dos especies de trips: *Frankliniella gardeniae* Moulton y *Selenothrips rubrocinctus* Girard (Thysanoptera: Thripidae) (Echeverri & Loaiza, 2001).

Los Margarodidae son un grupo de insectos chupadores con hábitos de alimentación sobre el follaje, raíz, tallo y frutos. De esta familia hay registradas en Colombia varias especies que atacan diversas especies de cultivos y de plantas ornamentales, pero no aguacate (Posada, 1989). Atacando aguacate hay registros de *Icerya purchasi* Maskell en Perú y en Estados Unidos (USDA – APHIS, 2004). Esta especie, se encuentra en Colombia atacando otras plantas hospedantes, pero aun no se ha registrado sobre aguacate (Posada, 1989). *Icerya aegyptiaca* (Douglas) es una especie con distribución en islas del Pacífico, Asia, Australia, África y tiene estatus de especie de riesgo sanitario e invasora en Estados Unidos (USDA – APHIS, 2000). *Icerya seychellarum* (Westwood) e *Icerya sulfurea* Lindinger han sido registradas por Foldi & Watson dentro de la lista de Coccidae que atacan aguacate a nivel mundial (Foldi & Watson, 2001).

En Colombia, en 1994, apareció en una plantación de aguacate en Villa María (Caldas, Colombia) una nueva especie de Margarodidae que se identificó inicialmente como *Dosichoides* sp. por la doctora Gillian W. Watson (Posada, 2000). Sin embargo, muestras enviadas más tarde al doctor Foldi en Francia, se reconoció que era una nueva especie para la ciencia y se describió como *Laurencella colombiana* Foldi & Watson (Hemiptera: Margarodidae) (Foldi & Watson, 2001).

En la India, se presenta la especie *Drosicha stebbingi* (Hemiptera: Margarodidae) en el cultivo del mango. Esta especie tiene hábitos y características morfológicas similares a los de *L. colombiana* en aguacate. Para el control utilizan prácticas de manejo como: colocación de

bandas engrasadas alrededor del tronco con una mezcla de aceite de ricino con ácido sulfúrico concentrado, para detener el ascenso de las ninfas que emergen de los huevos colocados por hembras adultas sobre el suelo (Williams & Watson, 1990).

También en la India, el corte de las ramas que dan contra el suelo, se aplica como una práctica rutinaria para evitar que las ninfas asciendan a los árboles. Adicionalmente realizan la recolección de los insectos por medio de un barrido alrededor de la raíz del árbol y luego los queman en una fosa (Williams & Watson, 1990). Como enemigos naturales, estos autores, registraron cinco especies de Coccinelidos y *Chrysopa* sp., como predadores y un Ichneumonidae del género *Phygadenon* parasitoide de ninfas de segundo y tercer instar.

En el presente artículo, se realiza el primer registro de la especie *L. colombiana* en Colombia, se describen los huevos, los adultos, las hembras y los machos, destacando sus caracteres morfológicos más sobresalientes, sus hábitos y se indican algunos métodos de control que se han venido utilizando.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En un reconocimiento de insectos del aguacate realizado en la finca Guamal, municipio de Villamaría (Caldas), a 1750msnm, con una extensión de 46ha sembradas en aguacate y una temperatura promedio de 18°C, se observaron poblaciones altas de un Margarodidae causando un daño severo, especialmente sobre la variedad "Winslowson", la cual se observó como la más susceptible. Muestras de los diferentes estados biológicos del insecto, se trasladaron al laboratorio de entomología de CENICAFÉ donde fueron realizadas mediciones en huevos y en adultos (machos y hembras), observaciones y descripciones sobre la morfología y la biología del insecto, toma de fotos y registro de datos.

En el campo, en la finca Guamal, también se realizaron observaciones sobre la actividad y el comportamiento del insecto. En todas las partes del árbol, se hicieron observaciones periódicas, se recogió información sobre las prácticas de manejo empleadas en la finca y se evaluó la actividad de enemigos naturales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Identificación y taxonomía.** Los adultos fueron identificados por el doctor Imre Foldi del laboratorio de Entomología del Museo de Historia Natural de Paris, Francia y la doctora Gillian W. Watson del servicio de identificación de insectos de Inglaterra, quienes encontraron que se trataba de una nueva especie y la clasificaron en el orden: Hemiptera, familia: Margarodidae, tribu: Llaveini, especie: *Laurencella colombiana* Foldi & Watson (Foldi & Watson, 2001).

**Nombre vulgar.** En la región los agricultores la denominan "Cucaracha". Sin embargo, no existe una clara similitud con este insecto, ya que éste es blanco y posee una cobertura cerosa y sus movimientos son muy lentos. Este insecto, se observó atacando aguacate en Villamaría, Caldas, desde 1994 (Nancy Castaño, Comunicación personal).

### Descripción morfológica.

**Huevos.** Recién puestos son de color amarillo intenso y brillantes, a medida que avanza el desarrollo embrionario, se oscurecen pasando por un color rojo intenso hasta convertirse en negro. Son de forma oval, con el corion liso y son depositados en grupo. Cada hembra tiene la capacidad de colocar de 150 - 200 huevos, los cuales miden (promedio  $\pm$  Desviación Estándar)  $1,8 \pm 0,1$ mm de largo y  $0,5 \pm 0,02$ mm de ancho, con un tamaño de la muestra  $N = 10$  (Figura 1.1).

**Ninfas.** Cuando emergen son de forma oval, de color rojo (Figura 1.2); a medida que avanzan en el desarrollo aparecen sobre el cuerpo puntos blancos debido a las secreciones cerosas que expulsan a través de los poros cerígenos. Sobre el dorso presentan tres bandas longitudinales oscuras formadas por setas negras y delgadas. Cuando pasan de un instar a otro, se cubren totalmente de secreciones. Las ninfas emergen de la exuvia a través de una abertura longitudinal en la región cefalotorácica. El orificio anal, se encuentra en la parte dorsal y en la región posterior del cuerpo y se reconoce porque a su alrededor se presenta una aureola de color blanco formada por las secreciones (Figura 1.3). Cuando se presiona el cuerpo del insecto, se puede lograr que expulse una gota de miel de rocío a través del ano.

**Adultos.** La especie presenta un marcado dimorfismo sexual. Las hembras son ápteras, robustas, de color café, cubiertas por una sustancia cerosa de color blanco que es producida días antes de la oviposición (Figura 1.4). El cuerpo esta provisto de setas simples de color negro. Los segmentos, cabeza, torác y abdomen no se diferencian fácilmente. La longitud del ápice de la cabeza al abdomen en promedio es de  $11,5 \pm 0,7$ mm, ( $n = 10$ ). El ancho del cuerpo es de  $7,5 \pm 0,4$ mm, ( $n = 10$ ). La antena tiene nueve segmentos con setas largas y simples y el último segmento es más largo y delgado que los anteriores. La longitud de las antenas en promedio es de  $1,3 \pm 0,1$ mm, ( $n = 10$ ). Los ojos están ubicados en la base de la antena. El estilete es largo, se encuentra en la parte ventral y se extiende hasta las coxas de las patas medias.

Los machos presentan un par de alas bien formadas (Figura 1.5); el otro par está atrofiado. Las alas son anchas, más largas que el cuerpo, provistas de dos venas muy visibles y son de color gris oscuro. La envergadura alar en promedio es de  $13,1 \pm 0,4$  mm. Los ojos son prominentes y compuestos y se proyectan hacia los lados de la cabeza. El aparato bucal esta ausente. Las antenas son largas y formadas por 27 segmentos. En la mitad de cada segmento presentan numerosas setas que son largas y simples. La antena mide en promedio  $5,1 \pm 0,1$ mm. El cuerpo es de color rojo y presenta cuatro cercos largos y desiguales a ambos lados de la parte anterior del abdomen.

**Hábitos y comportamiento.** Cuando las ninfas emergen de los huevos colocados por las hembras en el suelo, empiezan a subir al árbol, buscan las hojas de los terminales jóvenes y se sitúan en el envés de las hojas en las nervaduras centrales y secundarias. Todos los estados son muy móviles y de hábitos gregarios, ya que por terminal se pueden encontrar numerosas colonias compuestas por individuos de diferentes instares y adultos. Si hay ramas y hojas que dan contra el suelo, se pueden encontrar poblaciones muy altas en éstas.

Las hembras adultas descienden al suelo para ovipositar (Figura 1.6); allí se recubren de secreciones blancas que protegen los huevos, los cuales no se ven a simple vista (Figura 1.7). El periodo de oviposición dura aproximadamente 15 días; cuando termina, la hembra se reduce en tamaño. La cópula se produce tanto en el suelo como en la parte aérea del árbol. Los machos

son menos numerosos que las hembras y se encuentran localizados en el envés de las hojas bajas y uno que otro en la copa del árbol.

**Daño.** *L. colombiana* es un insecto muy prolífico. Todos los instares ninfales e incluso la hembra adulta, se alimentan y se encuentran en el árbol. Al succionar la savia, se presenta un secamiento generalizado de las partes terminales del árbol (Figura 1.8). Las secreciones azucaradas de este insecto favorecen la formación de fumagina, la cual reduce la capacidad fotosintética de la planta. Además, mancha los frutos lo que incrementa los costos de postcosecha por la limpieza de la fruta. En lotes afectados de forma generalizada, se presenta fumagina en tallos, ramas, hojas, flores y frutos (Figura 1.9). El daño, se hace crítico cuando la población es alta por la reducción de la producción. El insecto, se presenta durante todos los meses pero su nivel de población puede ser variable a través del año.

El daño causado por esta especie de insecto chupador de la savia es severo y alcanza el nivel de importancia económica en la variedad "Winshowson", porque afecta en forma generalizada los árboles, se dispersa dentro del cultivo y exige la toma de medidas de control con los que se incrementan los costos de producción.

**Forma de observar el insecto en el cultivo.** Debido al tamaño grande, la presencia de secreciones cerosas de color blanco y el hábito de ovipositar en el suelo es fácil detectar el insecto en la planta y muestrearlo manualmente. Cuando los huevos eclosionan, se observan las ninfas por todo el tronco, subiendo a los terminales para alimentarse. También es posible observar los machos durante el período de cópula en la base del tallo y en el plato del árbol.

**Enemigos naturales.** Dentro de los enemigos naturales, se encontró un Coccinelidae del género *Azya* sp. (Figura 1.10), que se observó activo en todo el árbol y en el suelo predando sobre los huevos y las ninfas de diferentes instares. Mediante mediciones realizadas en huertos de aguacate, se pudo verificar que la población de este depredador es abundante en presencia de *L. colombiana*. Se encontraron 36 larvas del depredador en promedio por árbol con un máximo de 72 y un mínimo de 13, mientras que la población de la plaga fue en promedio de 59 hembras con un máximo de 203 y un mínimo de cinco hembras por árbol. Estos coccinelidos

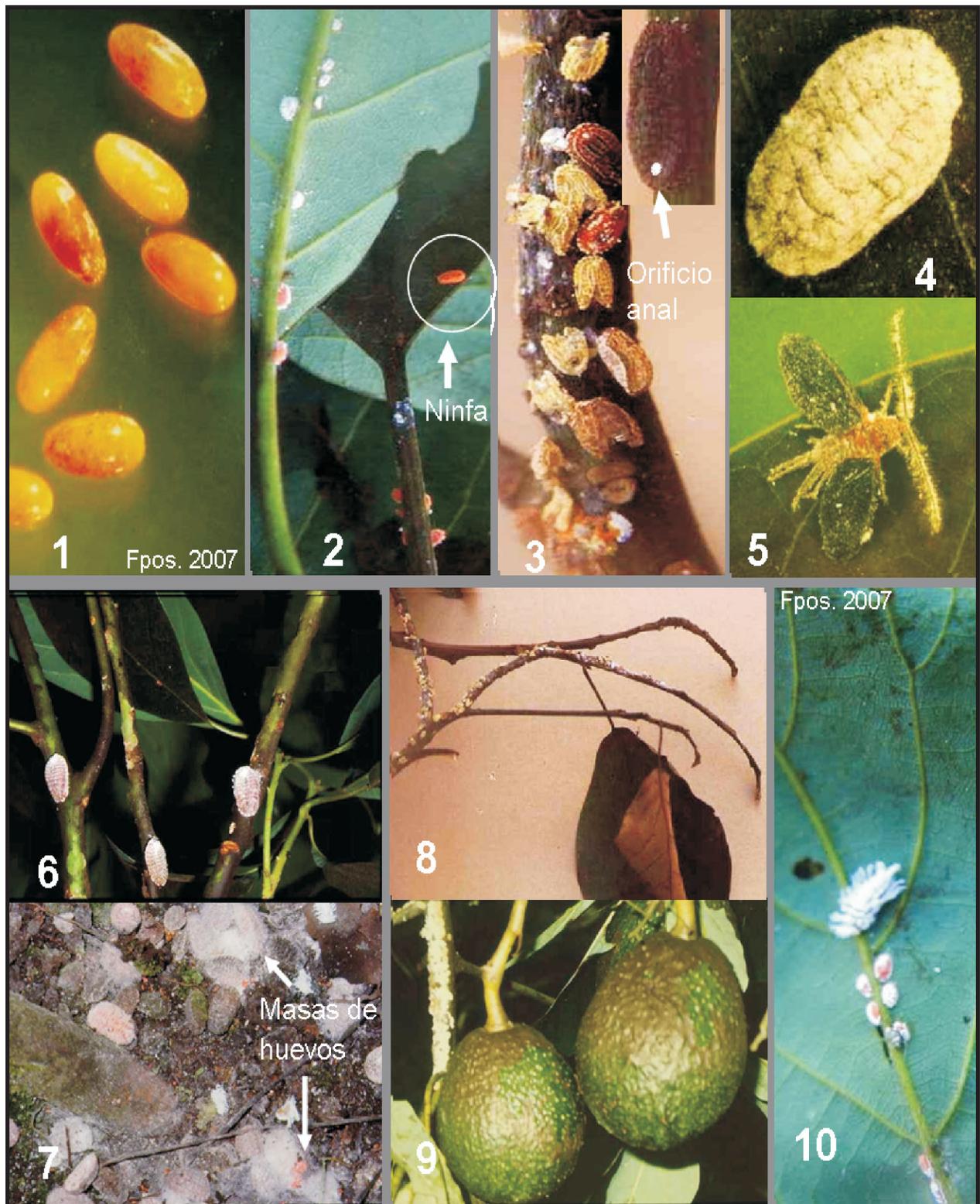


Figura 1. Estados biológicos de *L. colombiana*. 1. Huevos, 2. ninfas, 3. ninfas en últimos instares, 4. adulto hembra, 5. adulto macho, 6. hembras adultas de *L. colombiana* descendiendo del árbol al suelo, 7. masas de huevos cubiertas por secreciones cerosas, 8. Daño de *L. colombiana* causando secamiento de las ramas, 9. fumagina en frutos, 10. larva de *Azya* sp. predando sobre ninfas situadas en la nervadura central de las hojas.

empupan en las grietas de los árboles y en el suelo, lugares que es importante revisar, para protegerlos.

**Medidas de manejo.** Para el manejo de *L. colombiana*, se evaluaron varios métodos de control. Uno de ellos consistió en unas bandas plásticas amarillas colocadas en el tallo del árbol, cubiertas con una sustancia pegajosa. Estas bandas detienen el ascenso del insecto y cuando están agregados, se recolectan y se destruyen. Este método presenta limitaciones, ya que los insectos benéficos, como los coccinelidos depredadores, también quedan atrapados.

La aplicación de insecticidas ha sido la medida mayormente utilizada. Se han aplicado varios insecticidas en diferentes dosis y generalmente se aplican solos o en mezcla con emulsificantes o con aceites. Algunos de estos son: deltametrina 2,5cc + 15cc de agua jabonosa / L, deltametrina 2cc + 15cc de aceite agrícola + 20cc de agua jabonosa / L, chlorpirifos 2,5cc + 15cc de aceite agrícola + 20cc de agua jabonosa / L, acefato 2g/L, acefato 2g + 20cc de agua jabonosa/L, diclorvos 2cc/L.

Las aplicaciones de insecticidas, se hacen con regímenes semanales cuando se presentan explosiones de *L. colombiana*, con el objetivo de disminuir la infestación. No hay criterios de evaluación de las aplicaciones ni de la eficacia de los productos, solo se busca encontrar el producto o mezcla que solucionen el problema temporalmente. Este enfoque de manejo, se debe superar estableciendo un programa basado en la investigación y en la evaluación de métodos de control.

Esto es urgente, ya que para productos de exportación, como el aguacate, se han establecido límites máximos de residuos de plaguicidas lo que implica que se debe vigilar la trazabilidad y la inocuidad (EC, 2004; FAO/WHO, 2006). Esto se puede constituir en una oportunidad para agregarle valor a la fruta por producción limpia y buscarle mercado con ese tipo de rotulación, ahora que existe un nicho de mercado en crecimiento con un grupo de consumidores sensible a estos tópicos y dispuestos a pagar por frutas producidas amigablemente cuidando la biodiversidad (FAO, 2001; SBA, 2006).

Teniendo en cuenta el valor de la cosecha de aguacate y la demanda nacional e internacional, el manejo de plagas en aguacate requiere de la organización gremial

de los productores, de tal manera que se invierta en la producción sostenible de este renglón agrícola, enfocada al desarrollo de métodos de manejo integrado que permitan mantener este renglón productivo a largo plazo. En Colombia, se cuenta con inventarios de insectos fitófagos del aguacate (Posada, 1989) y de algunos se tiene el conocimiento de sus aspectos bionómicos (Saldarriaga, 1977; Cárdenas & Posada, 2001). Sin embargo, se requiere hacer mayores esfuerzos en los reconocimientos de los enemigos naturales y evaluar su potencial para el desarrollo del control biológico como una alternativa de manejo al uso generalizado de productos químicos. Igualmente, se requiere desarrollar sistemas de vigilancia y evaluación y establecer niveles de daño, con el objetivo de reducir el uso de pesticidas. El uso de éstos, se debe realizar por recomendación técnica, basada en pruebas de eficacia y en la evaluación de métodos de aplicación que aseguren su máxima eficacia y el mínimo riesgo de contaminación ambiental o presencia de residuos. Las consecuencias del uso indiscriminado de los insecticidas para controlar todo insecto que se ve en las plantaciones de aguacate es posiblemente el causante de la aparición de nuevas especies que no se conocían como plagas del aguacate (Gagné *et al.* 2004).

El objetivo que Colombia satisfaga la demanda interna y pueda exportar aguacate solo se puede llegar a realizar si se invierte en educación y se crean programas para la capacitación de personal que maneje las plantaciones con criterios técnicos. Se requiere más apoyo a la investigación y la capacitación en programas sanitarios, tanto de enfermedades como de entomología. Esta es una oportunidad para las universidades del país de vincularse con proyectos de investigación, como soporte al desarrollo de este importante renglón agrícola. Esto es algo que se viene haciendo en California, Chile, México y Nueva Zelanda, países que han logrado convertir el desarrollo de la producción de aguacate en un renglón agrícola de gran importancia económica, basado en la investigación y en la educación (Hofshi, 2002; CAC & CMCC, 2003; CAC, 2006; Sagarpa, 2006). En California, se cuenta con programas de control biológico, manejo racional de pesticidas y monitoreo de las poblaciones de plagas, complementado con medidas de cuarentena que permiten manejar, en forma racional y a bajo costo, un reducido número de insectos plagas (Gustafson, 1979, Hoddle *et al.* 2002, UCDAVIS, 2007).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Señor Nestor Buitrago propietario de la finca el Guamal por permitir la colección de muestras de *L. colombiana* y realizar observaciones de campo. A Nancy Castaño por solicitar que estudiáramos este insecto que era nuevo en la región y en el cultivo del aguacate. Al doctor Imre Foldi y a la Dra G.W. Watson quienes describieron esta nueva especie para la fauna del aguacate y de Colombia.

## BIBLIOGRAFÍA

- CAC; CMCC. 2003. A Pest Management Strategic Plan for Avocado Production in California. 43p. Disponible desde Internet en (con acceso 06-18-2007).
- CAC. 2006. Grower Best Practices Manual. 70 p. Disponible desde Internet en . (con acceso 06-18-2007).
- CÁRDENAS M., R.; POSADA F., F.J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Armenia (Colombia), Comité Departamental de Cafeteros del Quindío-Cenicafé, 250p.
- EC, 2004. MRL pesticide. Disponible desde Internet en: [http://ec.europa.eu/food/plant/protection/resources/mrl\\_pesticide.pdf](http://ec.europa.eu/food/plant/protection/resources/mrl_pesticide.pdf). (con acceso 06-18-2007).
- ECHEVERRI F., F.; LOAIZA M., E. 2001. Primer registro de trips (Insecta: Thysanoptera) y su comportamiento asociado a cultivos de aguacate en Caldas y Risaralda. En: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 28. Pereira (Colombia), Agosto 8-10, 2001. Resúmenes. Pereira (Colombia), SOCOLEN, p.28-29.
- FAO, 2001. World Markets for Organic Fruit and Vegetables - Opportunities for Developing Countries in the Production and Export of Organic Horticultural Products. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y1669E/y1669e00.htm#Contents>. (con acceso 06-18-2007).
- FAO/WHO, 2006. Pesticide residues in food 2006. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. FAO Plant Production And Protection Paper187. 400 p. Disponible desde Internet en: [http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/JMPR/DOWNLOAD/2006\\_rep/report2006jmpr.pdf](http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/JMPR/DOWNLOAD/2006_rep/report2006jmpr.pdf). (con acceso 06-18-2007).
- FOLDI, I.; WATSON, G.W. 2001. A new pest scale insect on avocado trees in Colombia, *Laurencella colombiana*, sp. n. (Hemiptera: Coccoidea: Margarodidae). Ann. Soc. Entomol. Fr. 37(3):367-374.
- GAGNE R.J.; POSADA, F.; GIL, Z.N. 2004. A new species of Bruggmanniella (Diptera: Cecicomyiidae) aborting young fruit of avocado, *Persea americana* (Lauraceae), in Colombia and Costa Rica. Proc. Entomol. Soc. Wash. 106 (3):547-553.
- GUSTAFSON C., D. 1979. A review of pest control in avocados. California Avocado Society 1979 Yearbook 63: 58-65. 7p. Disponible desde Internet en: [http://www.avocadosource.com/CAS\\_Yearbooks/CAS\\_63\\_1979/CAS\\_1979\\_PG\\_058-065.pdf](http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_63_1979/CAS_1979_PG_058-065.pdf). (con acceso 06-18-2007).
- HODDLE, M.S., MORSE, J.G., PHILLIPS, P.A., FABER, B.A., JETTER, K.M. 2002. Avocado thrips: New challenge for growers. California Agriculture, May-June 56 (3):103-107.
- HOFSHI. R. 2002. The chilean avocado industry an overview. AvoResearch. 2 (1) 1-12. Disponible desde Internet en: [http://www.avocadosource.com/Journals/AvoResearch/avoresearch\\_02\\_01\\_2002\\_Hofshi\\_Chile.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/AvoResearch/avoresearch_02_01_2002_Hofshi_Chile.pdf). (con acceso 06-18-2007).
- HOYOS, G., L.F.; GIRALDO, L.J. 1984. Reconocimiento de los insectos barrenadores del fruto del aguacate (*Persea americana* Mill) y evaluación económica de su daño, en huertos de los departamentos de Caldas y Risaralda. Manizales. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía. Manizales. 98p.
- MACLACHLAN, D. 2006. Pesticide risk profile for the feeding of avocado and mango processing waste to cattle and sheep. Department Of Agriculture, Fisheries An Dforestry Canberra. Australia. 24 p. Disponible desde Internet en: <http://www.safemeat.com.au/NR/rdonlyres/9ED0AAD4-E203->

- 4E9B-9C20-2F806057CE78/0/avocado\_mango\_Jan06FINAL.pdf. (con acceso 06-18-2007).
- POSADA F., F.J. 2000. Importante aclarar. Notas y Noticias Entomológicas (Socolen). 28:5-6.
- POSADA O., L. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bogota. Instituto Colombiano Agropecuario, Boletín Técnico No 43. 662p.
- RÍOS C., D.; TAFUR R., R. 2003. Variedades de aguacate para el trópico: Caso Colombia. Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate). p.143-147.
- SAGARPA. 2006. Campaña manejo fitosanitario del aguacatero. 3p. Disponible desde Internet en: <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/michoacan/agricultura/sanidad/campmanejofitosanitarioaguacatero.pdf> (con acceso 06-18-2007).
- SALAZAR C., R.; TORRES M., R.; SERNA V., J.; GALLEGOS V., M.A. 1978. Resultados preliminares en la evaluación de ocho variedades de aguacate *Persea americana* Mill. en zona cafetera colombiana. Revista ICA (Colombia) 13(3):425-435.
- SALDARRIAGA V., A. 1977. Plagas del aguacate y su control. Curso sobre frutales. Compendio No 20. Bogotá. ICA, p.45-70.
- SBA, 2006. Organic agriculture - alternative food production. 20p. Disponible desde Internet en: <http://www.sba-int.ch/pdf/organic/Organic.pdf>. (con acceso 06-18-2007).
- UCDAVIS. 2007. Avocado Pest Management. Disponible desde Internet en . (con acceso 06-18-2007).
- USDA – APHIS, 2000. Regulated Plant Pest List. 11p. Disponible desde Internet en: <http://www.invasive.org/regulatedpestlist.pdf>. (con acceso 06-18-2007).
- USDA – APHIS, 2004. Importation of 'Hass' Avocado (*Persea americana*) Fruit from Peru into the Continental United States. Raleigh, NC. 87p. Disponible desde Internet en: [http://www.aphis.usda.gov/peer\\_review/downloads/APHIS-2006-0072-0002%5B1%5D.pdf](http://www.aphis.usda.gov/peer_review/downloads/APHIS-2006-0072-0002%5B1%5D.pdf). (con acceso 06-18-2007).
- VELÁSQUEZ P., J.A. 2006. Identificación del aguacate como un rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado. Secretaría de Productividad y Competitividad Gobernación de Antioquia. 10p. Disponible desde Internet en: [http://www.politecnicojic.edu.co/encuentroaguacate/memorias/17/jorge\\_velasquez.pdf](http://www.politecnicojic.edu.co/encuentroaguacate/memorias/17/jorge_velasquez.pdf). (con acceso 06-18-2007).
- WILLIAMS, D.J.; WATSON, G.W. 1990. The scale insects of the tropical south pacific region part 3: the soft scales (Coccidae) and other families. C.A.B Internal Inst. Entomol. Wallingford. p.15-18.

Recibido: mayo 16 de 2007

Aceptado: octubre 6 de 2007

# USO DE MICROSATÉLITES PARA LA CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE PALMA DE ACEITE TIPO DURA

## USING MICROSATELLITES FOR MOLECULAR CHARACTERISATION OF DURA OIL PALM

Pedro Jesús Rocha Salavarieta<sup>1</sup>

Sandra Rubiela Suárez González<sup>2</sup>

Leonardo Rey Bolívar<sup>3</sup>

### RESUMEN

La palma de aceite llegó a Colombia hacia la década de 1940, con materiales de siembra tipo Dura. Los cruces realizados generaron progenies que fueron establecidas en las diferentes zonas productoras del país. Sin embargo, después de varias décadas, se reconoce que la utilización de dichos genotipos podría haber sido mayor. En consecuencia, Cenipalma estableció actividades conducentes a identificar la mayoría de tales materiales Dura y, sobre lo que se encontró, realizar evaluaciones moleculares para conocer la variabilidad genética de las poblaciones y las relaciones entre los individuos, con el fin de recuperar poblaciones y emplear algunos de los individuos disponibles, como parentales en cruces controlados. Así, en el presente artículo, se reportan los resultados de la caracterización molecular, mediante la técnica de amplificación de loci microsatélites, de 80 individuos, correspondientes a 13 poblaciones de palma de aceite tipo Dura. Se concluye que, con base en su similitud genética, dichas poblaciones pueden ser clasificadas en dos grandes grupos y que es posible

reconstruir en gran medida las poblaciones originales con los materiales actuales. Además, se encontró que la variabilidad genética entre las poblaciones (interpoblacional) es mayor que la encontrada dentro de cada población (intrapoblacional).

Palabras clave: *Elaeis guineensis* Jacq., análisis poblacional, PCR.

### SUMMARY

The oil palm arrived in Colombia by the 1940's, with the Dura type as planting material. Breeding-crosses generated progenies that were established in the different oil palm growing regions of the country. However, after several decades, it has been recognized that the use of these genotypes could have been broader. In consequence, Cenipalma established research activities to identify the maximum possible number of such Dura material and, on the resulting palms, to carry out molecular evaluations in order to determine the genetic variability of these populations and the relationship among individuals. This information will be useful in order to renew oil palm populations and to use some of these materials as parental lines in controlled crosses. Thus, in this paper, results are reported on the molecular characterization, using microsatellite-PCR-based technique, of 80 Dura-type oil palm individuals, from 13 populations. Results show that, based on their genetic similarity, these populations can be classified into two major groups and it is possible to recover, in a considerable way, original oil palm populations by using

<sup>1</sup> Biólogo, Ph.D., Investigador Titular, Director Laboratorio de Caracterización Molecular, Cenipalma. Dirección para correspondencia: Calle 21 No. 42C-47, Bogotá. pedro.rocha@cenipalma.org

<sup>2</sup> Química Industrial, Asistente de Investigación, Laboratorio de Caracterización Molecular, Cenipalma.

<sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Director División de Variedades, Cenipalma.

the currently identified materials. In addition, a higher interpopulation genetic variability than intrapopulation variation was found.

Key words: *Elaeis guineensis* Jacq., population analysis, PCR.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de la palma de aceite o palma africana, *Elaeis guineensis* Jacq., es el que mayor cantidad de aceite produce por unidad de área cuando se compara con otras oleaginosas, tales como soya, colza, maíz y girasol (Corley & Tinker, 2003). En Colombia, desde hace ya varias décadas, la organización e institucionalidad de los cultivadores de palma aceite, representada por Fedepalma, ha hecho posible que este cultivo se convierta en una opción de desarrollo económico y social en cuatro grandes regiones, que incluyen 26 municipios de doce departamentos (Fedepalma, 2006): zona norte (Antioquia, Bolívar, Cesar, Magdalena), zona central (Cesar, Norte de Santander, Santander), zona oriental (Caquetá, Casanare, Cundinamarca y Meta) y zona occidental (Nariño).

Cada una de las zonas palmeras colombianas posee enormes contrastes en cuanto a condiciones edafo - climáticas y de manejo agronómico, incidencia de plagas y de enfermedades y materiales genéticos, entre otras. Por esta razón, el Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) ha desarrollado un programa de mejoramiento genético de *E. guineensis*, con el fin de obtener materiales adaptados a las diversas condiciones ambientales de Colombia y con tolerancia a diferentes tipos de estrés biótico y abiótico (Rey *et al.* 2004).

Tres tipos de palma de aceite, Dura (D), Pisífera (P) y Ténera (T o DxP), se reconocen en estado natural con base en la presencia o ausencia de la cubierta (cuesco) de la nuez del fruto. Dicha característica está controlada por un gen mayor conocido como *Sh*, del inglés *shell* (Beirnaert & Vanderweyen, 1941; Corley & Tinker, 2003). El tipo Dura, genotipo homocigótico (*Sh+ / Sh+*), produce un fruto con una nuez que presenta un cuesco grueso, de 2 a 8mm. El tipo Pisífera, también homocigótico (*Sh- / Sh-*), produce una nuez atípica que no posee cubierta o si aparece, es vestigial. El tercer material es el híbrido intraespecífico tipo Ténera, un heterocigoto

(*Sh+ / Sh-*), con cuesco de grosor intermedio, entre 0,5 y 2mm, resultado del cruce de un progenitor Dura (madre) con otro Pisífera (padre). Por presentar altos contenidos de aceite, debido a que entre el 60 y el 90% del fruto es mesocarpo (pulpa), los materiales Ténera son los más empleados comercialmente en el ámbito mundial (Corley & Tinker, 2003).

La disminución del grosor de cuesco ha sido uno de los objetivos de los programas de mejoramiento de diversas instituciones (Corley & Tinker, 2003; Rocha, 2003). Así, esta característica ha sido mapeada mediante el uso de marcadores moleculares tipo RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA, Moretzshon *et al.* 2000), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism, Billotte *et al.* 2001a) y microsatélites (Billotte *et al.* 2005).

El ingreso de la palma de aceite a Colombia, se inició en 1933 con material proveniente del África. Hacia 1949, se introdujeron materiales DelixDura provenientes del Asia (Bastidas *et al.* 2003). Uno de los aspectos más interesantes de los materiales sembrados inicialmente en Colombia y en general en el mundo, es que todos se relacionan en algún grado con cuatro palmas tipo Dura, localizadas en el jardín botánico de Bogor (Corley & Tinker, 2003). Por tal razón, es acertado considerar que la variabilidad genética que ha sido empleada en los cultivos de palma de aceite del mundo es baja. No obstante, se ha observado que en Colombia aún existen materiales tipo Dura de los que originalmente fueron introducidos al país y que se han adaptado de manera excepcional a diversas condiciones. Por esta razón, el Programa de Variedades de Cenipalma ha desarrollado una línea de investigación que permita primero conocer rápidamente la variabilidad genética de tales palmas, segundo hacer seguimiento a las características de productividad y tolerancia a plagas y enfermedades y tercero seleccionar, de manera eficiente, posibles parentales élite, con el fin de incorporarlos al programa de mejoramiento de palma de aceite. Para realizar estas actividades, el Programa ha implementado la utilización de marcadores moleculares (Rocha, 2007; 2004; 2003), en particular la detección de polimorfismos, mediante la técnica de amplificación de alelos microsatélites (Rocha *et al.* 2005; Montoya *et al.* 2005). Así, en el presente artículo, se presentan los resultados de la caracterización molecular, usando la técnica de microsatélites, de algunos de los genotipos Dura,

localizados en plantaciones comerciales de las cuatro regiones palmeras colombianas, con el fin de determinar sus relaciones genéticas. Con esta información, se trata de estimar la variabilidad genética de palmas tipo Dura existentes en Colombia y, con base en las progenies comerciales actuales, a futuro, recuperar algunos de los progenitores femeninos existentes hace más de 40 años en Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon 80 palmas que representaban 13 poblaciones (Figura 1). Aquí, el término “población” hace referencia a grupos de palmas que se encontraban en distintas plantaciones y no a poblaciones naturales. Los individuos analizados corresponden a una muestra de una población de 781 individuos previamente seleccionados por caracterización morfoagronómica y cuyo índice de selección fue de 1,1 equivalente a unas 67.000 palmas iniciales.

Se recolectaron dos folíolos de hojas maduras de palmas adultas, mayores de 40 años de edad, los cuales se empacaron en bolsas de papel, fueron mantenidos a temperatura ambiente y transportados, vía terrestre, hasta el Laboratorio de Caracterización Molecular (LCM, Cenipalma, Bogotá). Una vez en el laboratorio, los folíolos fueron mantenidos a  $-70^{\circ}\text{C}$  hasta su uso.

### Extracción del ADN y amplificación de microsatélites:

El ADN fue extraído, según el protocolo reportado por Arias & Rocha (2004). Alícuotas de 50ng de ADN fueron empleadas como molde en una reacción de PCR de 25 $\mu\text{L}$ , que contenía solución tampón de PCR 1X (Tris-HCl 20mM, pH 8,4 y KCl 50mM);  $\text{MgCl}_2$  1,5mM; dNTP 200 $\mu\text{M}$ ; 1 U de Taq DNA polimerasa (Invitrogen Life Technologies) y 0,2 $\mu\text{M}$  de cada cebador. En total, 80 muestras de ADN sirvieron como molde para la amplificación de los alelos presentes en 20 loci (según Billotte *et al.* 2001b). Las condiciones de amplificación incluyeron un minuto a  $95^{\circ}\text{C}$ , seguido por 35 ciclos de amplificación, cada uno de  $94^{\circ}\text{C}$  durante 30 segundos;  $52^{\circ}\text{C}$  durante 1 minuto y  $72^{\circ}\text{C}$  durante dos minutos. Un paso de extensión final durante ocho minutos a  $72^{\circ}\text{C}$ .

Separación y visualización: Los productos amplificados fueron separados mediante electroforesis en gel de poliacrilamida 6%, desnaturalizante (urea 5M), a  $50^{\circ}\text{C}$ ,

durante una hora y 30 minutos y 100 watos constantes de potencia (fuente de poder Power Pac 3000, BioRad). Los tamaños moleculares de las bandas, se determinaron por comparación con marcadores de peso molecular de ADN de 25pb y de 10pb (Cat. 10597-011 y 10821-015, Invitrogen). Los geles fueron teñidos con nitrato de plata, según la metodología descrita por Meléndez (2006) y Suárez (2006).

Análisis de bandas: Las bandas reveladas como resultado del proceso de tinción fueron registradas visualmente con ayuda de un transiluminador de luz blanca. Para cada locus, se determinó el número de alelos amplificados, utilizando, como referencia, patrones de amplificación reportados (Billotte *et al.* 2001b; Montoya *et al.* 2005; Suárez, 2006). Las bandas, se numeraron en orden descendente, tomando como referencia su respectivo peso molecular, y se codificaron en una matriz binaria donde “1” indicó presencia y “0” ausencia. Adicionalmente, se generó una matriz que tomó en consideración el peso de cada uno de los alelos registrados y se codificaron (con letras mayúsculas) los alelos presentes en cada locus. Esta matriz, se utilizó con el programa Popgene version 1.32 (Yeh & Boyle, 1997). Con éste, se obtuvieron las frecuencias alélicas para cada locus de cada población. A partir de éstas fue posible evaluar la variabilidad genética dentro de las poblaciones y la estructura genética (distribución de la variación dentro y entre poblaciones).

La variación genética dentro de las poblaciones, se estimó con los parámetros: porcentaje de loci polimórficos (P, un locus se consideró polimórfico cuando la frecuencia de su alelo más común no excedía 0,95); número medio de alelos por locus (A), número de alelos observados (Ao), número efectivo de alelos por locus (Ae), (Kimura & Crow, 1964), heterocigosidades (o diversidad genética) observada (Ho) y esperada (He) y Heterocigosidad promedio esperada (H). Para determinar la estructura poblacional, se calcularon los estadísticos F, según Wright (1951). Adicionalmente, para complementar los análisis, se estimaron las relaciones genéticas entre las poblaciones, mediante métodos de taxonomía numérica (análisis de similitud y análisis de clasificación aglomerativa con el programa NTSys versión 2.11L, Rohlf, 2000). Se estimaron las diferencias entre poblaciones, en términos de su distancia genética, mediante el empleo del índice de Nei (1972). La matriz de similitud para todas las poblaciones permitió agruparlas y

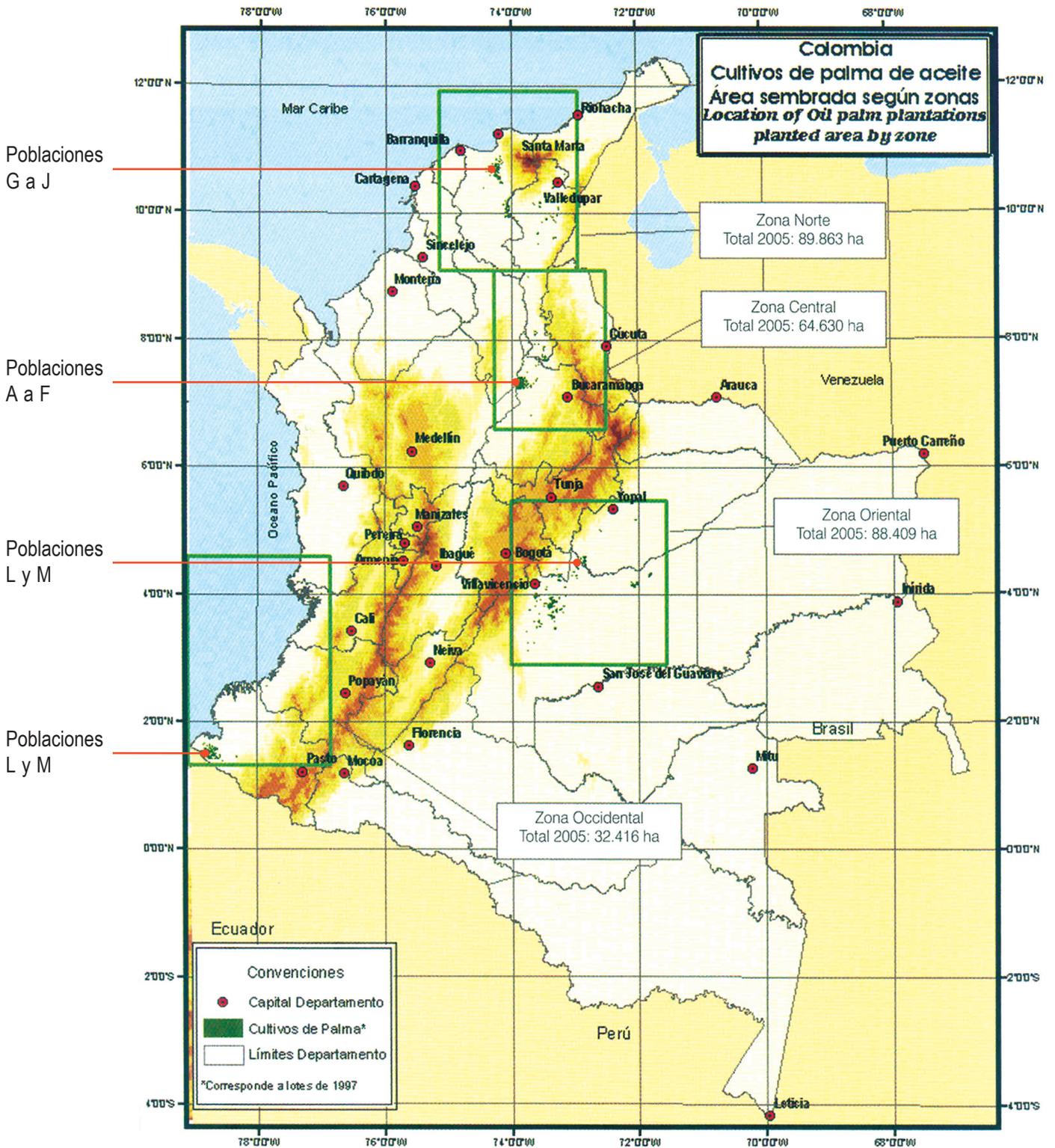


Figura 1. Localización aproximada de los sitios de muestreo de las 13 poblaciones analizadas. Imagen adaptada de Fedepalma (2006).

construir dendrogramas empleando los métodos UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Arithmetic Average, Sneath & Sokal, 1973) y el de vecinos cercanos (Saitou & Nei, 1987). La matriz de similaridad fue transformada a un producto en forma escalar con la función Dcenter (double center) de NTSys y, en consecuencia, sus valores y vectores Eigen pudieron ser calculados (Gower, 1966). El ordenamiento de los grupos en gráficas bidimensionales, se realizó con la función Eigen de NTSys. De igual manera, se estimaron las relaciones genéticas entre los individuos de las poblaciones, mediante los métodos de taxonomía numérica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis poblacional

En el presente trabajo, se evaluaron 80 materiales de *E. guineensis* tipo Dura con 20 combinaciones de cebadores específicos para amplificar 20 loci microsatélites. Es de mencionar que, para conocimiento de los autores, esta es la primera vez que se reporta la caracterización molecular de materiales Dura de poblaciones presentes en Colombia.

El locus mEgCIR0134, se comportó como un doble locus, en consecuencia, se consideró como un locus adicional, obteniendo así amplificación para 21 loci. En total, se amplificaron 40 alelos (Tabla 1), con tamaños entre 85 y 345 pares de bases (pb).

Un locus, se considera polimórfico cuando presenta más de un alelo. Para los experimentos reportados aquí, de los 21 loci amplificados, 13 (61,90%) fueron polimórficos. Un loci presentó cinco alelos, tres presentaron tres y nueve presentaron dos alelos. Para los ocho loci restantes fue posible amplificar sólo un alelo por locus. Dentro de estos, los loci mEgCIR0304 y mEgCIR0326 estuvieron presentes en el 97,5% de los individuos. Debido a la naturaleza de este estudio, relacionada con encontrar diferencias entre los materiales Dura, los ocho loci con sólo un alelo, se consideraron monomórficos y fueron eliminados para el análisis de la variabilidad genética dentro de las poblaciones (Tabla 1). Es de anotar que uno de los miembros del locus doble fue monomórfico (mEgCIR0134A), mientras que el otro (mEgCIR0134B) presentó tres alelos. En total, se estudiaron las frecuencias alélicas de 32 alelos de 13 loci para las 13 poblaciones.

La media de alelos por locus polimórfico fue de 2,4615 (Tabla 1), con rango de dos a cinco alelos. Estos valores son menores que los reportados por el LCM, en análisis de poblaciones *E. guineensis* (Montoya *et al.* 2005; Meléndez, 2006).

La heterocigocidad media observada para los 13 loci polimórficos fue de 0,5532; el valor más alto (0,8571) fue para el locus mEgCIR0134-B y el más bajo (0,1774) para el locus mEgCIR0018 (Tabla 1).

El número medio de individuos por población fue de 6,15 (Tabla 2); no obstante, las poblaciones B y H presentaron sólo tres individuos cada una, mientras que la población J incluyó a 12 individuos. Ciertamente, los tamaños de población empleados fueron pequeños y en consecuencia los resultados de los cálculos, elaborados en términos de probabilidades, pueden estar sesgados por el azar. Sin embargo, debido a la imposibilidad de contar con más individuos, pues la mayoría de las palmas de este tipo han sido erradicadas y conociendo que las palmas empleadas en este estudio pertenecían a las poblaciones iniciales o tenían algún grado de parentesco con los materiales erradicados, la información de variabilidad genética generada y las posibles relaciones entre palmas reportadas aquí, se constituyen en una herramienta de utilidad para el objetivo de recomponer poblaciones Dura colombianas.

El número medio de alelos diferentes observados en cada población estuvo entre 1,7692 (población H) y 2,2500 (población L). El número medio de alelos efectivos fue de 1,7616, con rango entre 1,6028 (población H) y 1,9476 (población D). Dentro de las 13 poblaciones evaluadas, el polimorfismo medio de los loci fue de 84,62% (Tabla 2).

La diversidad genética o heterocigocidad media observada ( $H_o$ ) fue en promedio de 0,5453 (Tabla 2), con rango entre 0,3974 (población H) y 0,7692 (población F). Estos valores son realmente altos e indican, por ejemplo, que para la población F, el 76,92% de las plantas individuales analizadas fueron heterocigotas para cualquiera de los loci analizados. Por su parte, la heterocigocidad media esperada ( $H$ ) según Nei (1973) fue de 0,3793, con el valor mínimo (0,3077) para la población H y el máximo (0,4233), para la población D. Este valor es menor que el reportado por Billotte *et al.* (2001b) para *E. guineensis* ( $H_e=0,68$ ) y, de igual

Tabla 1. Variabilidad genética para 20 loci microsatélites amplificados en 80 materiales tipo Dura, que conformaron 13 poblaciones. Se mencionan los loci monomórficos y polimórficos. Las estimaciones, se llevaron a cabo sólo con los loci polimórficos. Ao= número medio de alelos, Ae= Número de alelos efectivos,  $F_{ST}$  = diferenciación genética interpoblacional, Nm= flujo de genes.

Locus	Alelo	Tamaño aprox. (pb)	Frecuencia alélica	Tamaño de muestra	Ao	Ae	$F_{ST}$	Nm
<b>A. Loci monomórficos</b>								
mEgCIR0254	A	160	1,0000	138	1	1,000	0,000	
mEgCIR0304	A	114	1,0000	156	1	1,000	0,000	
mEgCIR0326	A	275	1,0000	156	1	1,000	0,000	
mEgCIR0350	A	269	1,0000	142	1	1,000	0,000	
mEgCIR0377	A	149	1,0000	154	1	1,000	0,000	
mEgCIR0391	A	297	1,0000	144	1	1,000	0,000	
mEgCIR0437	A	196	1,0000	148	1	1,000	0,000	
mEgCIR0134-A	A	182	1,0000	100	1	1,000	0,000	
<b>B. Loci polimórficos</b>								
mEgCIR0008	A	210	0,3913	138	2	1,9097	0,114	1,9470
	B	200	0,6087					
mEgCIR0009	A	180	0,3264	144	2	1,7848	0,139	1,5471
	B	176	0,6736					
mEgCIR0018	A	177	0,2661	124	2	1,6410	0,463	0,2902
	B	175	0,7339					
mEgCIR0046	A	230	0,1690	142	3	2,5048	0,252	0,7411
	B	225	0,5282					
	C	210	0,3028					
mEgCIR0067	A	187	0,1230	122	5	4,0292	0,294	0,6018
	B	175	0,3770					
	C	163	0,1639					
	D	162	0,2295					
	E	153	0,1066					
mEgCIR0221	A	213	0,3231	130	2	1,7775	0,173	
	B	195	0,6769					
mEgCIR0230	A	350	0,6441	118	2	1,8467	0,241	0,7882
	B	326	0,3559					
mEgCIR0332	A	147	0,6066	122	3	2,2348	0,215	0,9123
	B	145	0,1639					
	C	131	0,2295					
mEgCIR0353	A	102	0,5366	82	2	1,9893	0,351	0,4617
	B	85	0,4634					
mEgCIR1772	A	178	0,7188	64	2	1,6787	0,634	0,1445
	B	175	0,2812					
mEgCIR0465	A	137	0,2365	148	2	1,5652	0,093	
	B	125	0,7635					
mEgCIR0476	A	167	0,4250	120	2	1,9560	0,033	
	B	165	0,5750					
mEgCIR0134-B	A	162	0,2347	98	3	2,6284	0,386	0,3971
	B	161	0,5102					
	C	158	0,2551					
Media				119	2,4615	2,1189	0,261	0,7067

Tabla 2. Variabilidad genética estimada para las 13 poblaciones de *E. guineensis* tipo Dura, basada en 80 individuos y en el análisis de 13 loci polimórficos. Convenciones:  $\hat{A}o$ = número medio de alelos observados;  $\hat{A}e$ = media del número efectivo de alelos (Kimura & Crow, 1964); P (%): porcentaje de loci polimórficos en cada población;  $\hat{H}o$ = media de la heterocigocidad observada;  $\hat{H}$ = media de la heterocigocidad esperada de Nei (1973);  $F_{IS}$  = índice de fijación de Wright (1978),  $F_{IS} = (\hat{H} - \hat{H}o) / \hat{H}$ . Los errores se muestran entre paréntesis.

Población	Individuos	$\hat{A}o$	$\hat{A}e$	P (%)	$\hat{H}o$	$\hat{H}$	$F_{IS}$
A	7	2,2308 (0,7250)	1,8036 (0,5837)	92,31	0,5689 (0,3081)	0,3970 (0,1794)	-0,4330
B	3	1,9167 (0,6686)	1,7427 (0,5733)	69,23	0,5833 (0,4523)	0,3565 (0,2386)	-0,6362
C	6	2,1538 (0,6887)	1,8713 (0,5861)	92,31	0,6000 (0,3355)	0,4132 (0,1940)	-0,4521
D	6	2,2308 (0,9268)	1,9476 (0,8495)	92,31	0,6577 (0,3421)	0,4233 (0,1855)	-0,5537
E	5	1,9231 (0,4935)	1,7649 (0,4487)	84,62	0,4756 (0,4265)	0,3911 (0,1898)	-0,2161
F	4	1,9231 (0,2774)	1,8000 (0,3055)	92,31	0,7692 (0,3301)	0,4231 (0,1401)	-0,8180
G	5	1,8333 (0,5774)	1,6661 (0,4731)	69,23	0,4917 (0,4699)	0,3412 (0,2271)	-0,4411
H	3	1,7692 (0,5991)	1,6028 (0,5284)	69,23	0,3974 (0,4490)	0,3077 (0,2332)	-0,2915
I	8	2,0000 (0,5774)	1,6458 (0,5147)	84,62	0,4684 (0,3443)	0,3367 (0,2032)	-0,3911
J	12	2,0769 (0,6405)	1,6945 (0,5209)	84,62	0,4746 (0,3476)	0,3534 (0,2070)	-0,3430
K	9	2,0769 (0,4935)	1,7692 (0,4004)	92,31	0,4842 (0,3176)	0,4031 (0,1597)	-0,2012
L	6	2,2500 (0,7538)	1,7561 (0,6022)	84,62	0,6167 (0,4101)	0,3714 (0,1991)	-0,6605
M	6	2,1538 (0,5547)	1,8357 (0,4873)	92,31	0,5013 (0,3652)	0,4137 (0,1769)	-0,2117
<b>Media</b>	<b>6.15</b>	<b>2,0414</b>	<b>1,7616</b>	<b>84.62</b>	<b>0,5453</b>	<b>0,3793</b>	<b>-0,4346</b>

manera, es menor que los valores encontrados, por el LCM, para poblaciones provenientes de la República de Angola ( $\hat{H} = 0,515$ , Rocha *et al.* 2007).

Los valores de índice de fijación de Wright (1951) de las poblaciones analizadas, se presentaron en un rango entre -0,2012 (población K) y -0,8180 (población F), media de -0,4346 (Tabla 2). Los valores negativos

obtenidos para todas las poblaciones (Tabla 2) muestran una fuerte tendencia hacia la heterocigocidad ( $F_{IS}$  tiene rango que va entre -1 que indica exceso de heterocigotos hasta +1 que refleja exceso de homocigotos). Por su parte, el valor medio de la diferenciación genética interpoblacional ( $F_{ST}$ ) fue de 0,261 (Tabla 1). Según los rangos de interpretación planteados por Wright (1978), este valor está entre 0,25 y 1,00 e indicaría una

diferenciación genética muy grande o dicho de otra manera, muestra que el 26% de la variación total, se justifica por la diferencia entre poblaciones. Sin embargo, este valor debe ser tratado con cautela, porque el rango en que se basa dicho promedio incluye valores que pasan por poca, moderada, gran y muy grande diferenciación genética (Tabla 1). De todas maneras, la información obtenida permite hacer varias consideraciones. La primera, que el cruce inicial de las palmas tipo Dura (hace ya varias décadas) fue controlado y exitoso en varios casos, llevando a una diferenciación genética muy significativa entre las poblaciones del mismo tipo de material debida a una heterocigocidad alta ( $H_o=0.5453$ , Tabla 2). La segunda, cuestiona la influencia del número pequeño de individuos por población en el valor real para  $F_{ST}$ . Se considera una "población grande", aquella en la que el número de individuos adultos es del orden de cientos más que de decenas (Falconer, 1981). La tercera consideración hace referencia a la existencia de diversos factores ambientales que pueden estar afectando el comportamiento de los genotipos, lo cual refleja ganancia genética por adaptación, lo cual es de utilidad para un programa de mejoramiento (Rey *et al.* 2004).

El valor medio de flujo de genes ( $Nm$ ) fue de 0,7067 (Tabla 1); sin embargo, el rango incluye valores que van desde 0,1445 hasta 7,4286, lo cual no permite hacer inferencias sobre tasas de evolución o fijación de alelos en cada población.

### Relaciones entre poblaciones

Las relaciones entre poblaciones, se ajustan a lo esperado con base en la información histórica y de campo (Figura 2). Al emplear herramientas de análisis filogenético (agrupamientos de vecinos cercanos, Saitou & Nei, 1987) se aprecian grupos de poblaciones (Figura 2A), los cuales se mantiene independientemente del análisis de agrupamiento u ordenación a que se sometan los datos (Figuras 2 A, B y C). Al analizar el grupo conformado por las poblaciones G, H, I y J (cuyos valores de diversidad genética son muy similares, Tabla 2) es evidente que se relacionan fuertemente entre sí. Ninguna de las poblaciones explica la variabilidad completa del grupo; pero, es claro que la recombinación que precedió a estos materiales cobijó la totalidad del grupo y, en consecuencia, el grupo se acerca a lo que debiera representar una réplica de la población inicial.

La población B está ubicada en la base de la formación de agrupamientos (Figura 2A), posiblemente ésta mayor diferencia genética se relacione con progenitores que no existen en la actualidad o que no fueron muestreados. De todas maneras, los tres individuos que conforman esta población, se constituyen en entidades que pueden ayudar a restaurar poblaciones iniciales que no fueron muestreadas.

El análisis vectorial (Figura 2C) muestra que las poblaciones G y H están altamente relacionadas y éstas a su vez con las poblaciones I y J. Por otra parte, las poblaciones C, D, F y K están muy relacionadas entre sí. Las poblaciones L y M y A y B se agrupan aparte (Figura 2C). De nuevo, cabe anotar que estas "poblaciones" no son poblaciones naturales, sino el resultado de una distribución aleatoria de semilla, lo cual se ve reflejado en los análisis de relaciones entre individuos.

### Análisis entre individuos

Con el fin de establecer las relaciones existentes entre los individuos de las diferentes poblaciones analizadas, se llevaron a cabo estimaciones de similitud, de agrupamiento y de ordenamiento (Figura 3). Se escogió el índice de Nei (1972) debido a la condición diploide de la palma y a la característica codominante de los microsatélites.

Al analizar el agrupamiento basado en el método de vecinos cercanos, se aprecia la formación de dos grandes grupos (Figura. 3A), los cuales están presentes también en el ordenamiento con base en vectores Eigen (Figura 3B). Uno de los grandes grupos (Grupo I) está conformado por 38 de los 43 individuos de las poblaciones A, B, C, D, E, F, L y M. Tres de los cuatro individuos restantes (identificados como 6, 12 y 15) salen del grupo, debido a su alta diferenciación, la cual hace que, aún compartiendo información, probablemente derivada de parentales comunes, sus diferencias genéticas sean considerablemente altas. Los individuos 31 y 40 salen del Grupo I, debido a su similitud con individuos del Grupo II. El Grupo II está conformado por 27 de los 28 individuos de las poblaciones G, H, I y J (acorde con lo reportado en Figura 2C). Debido a su similaridad con el Grupo I, el individuo restante (53) sale del Grupo II. Así, el comportamiento de las poblaciones (Figura 2C) y de los individuos (Figura 3B) es bastante similar. Sin embargo, la única población que aparentemente no se

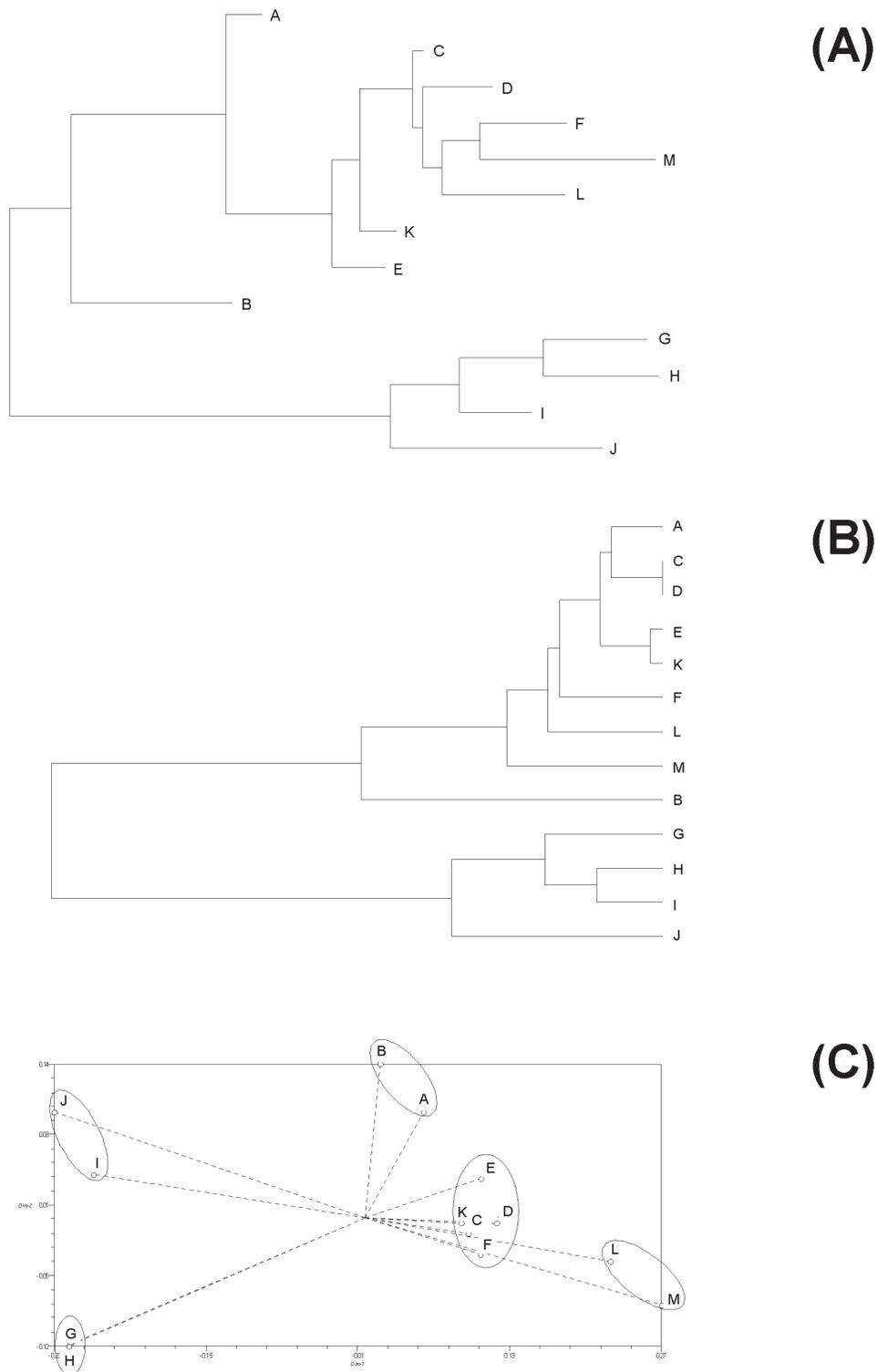


Figura 2. Relaciones de similitud entre las poblaciones evaluadas (notadas de A a M). La matriz de distancia genética fue calculada en Popgene según Nei (1972). (A) Agrupamiento con el método de vecinos cercanos (Saitou & Nei, 1987); (B) Agrupamiento con el método UPGMA (C) Ordenamiento con base en vectores Eigen (Gower, 1966).

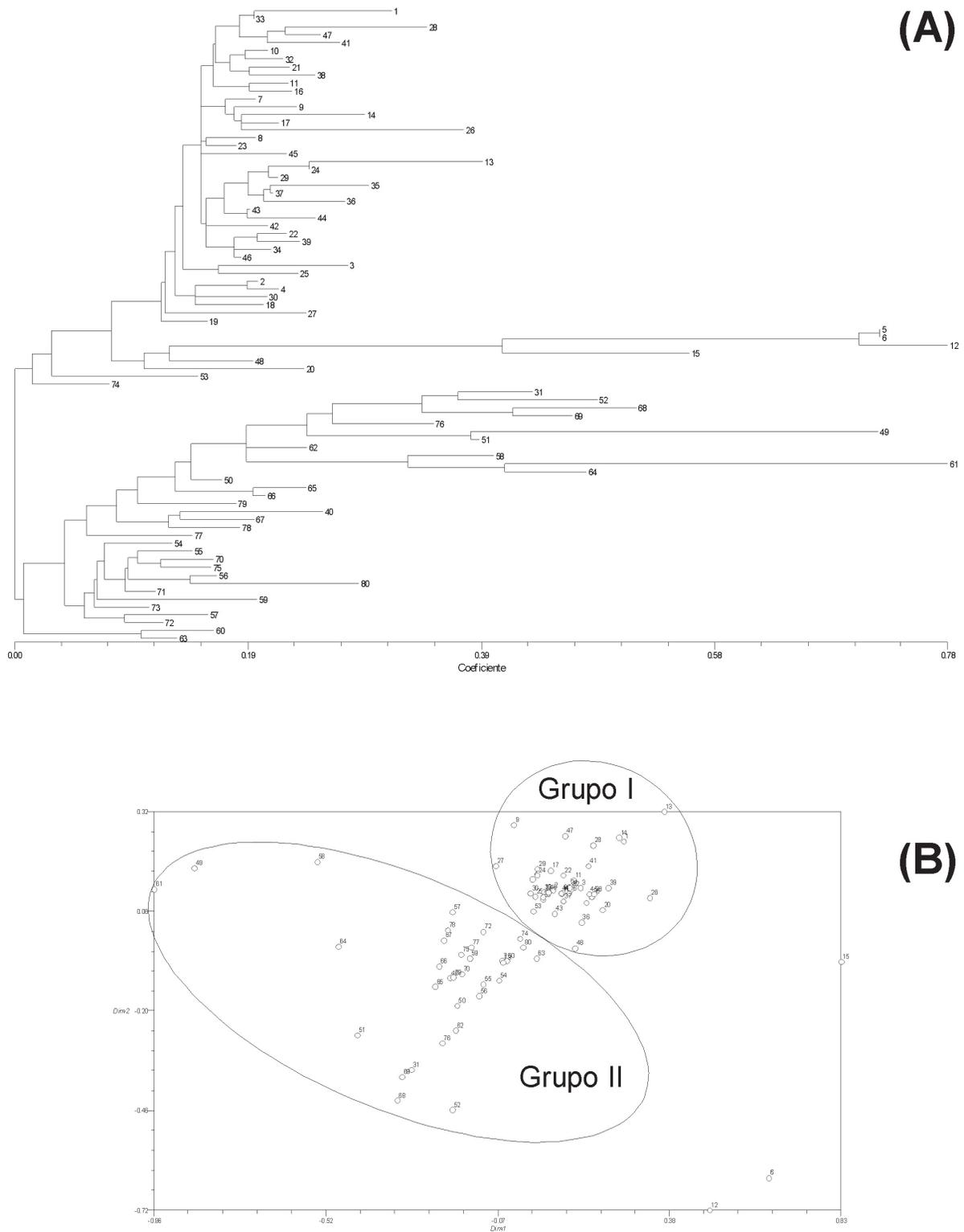


Figura 3. Relaciones de similitud entre las 80 palmas de las 13 poblaciones evaluadas. La matriz de distancia genética fue calculada según Nei (1972). (A) Agrupamiento con el método de vecinos cercanos (Saitou & Nei, 1987); (B) Ordenamiento con base en vectores Eigen (Gower, 1966).

ajusta a las distribuciones en grupos es la población K. Esta población (de nueve individuos), se agrupa en el análisis por poblaciones con las poblaciones C, D, E y F (Figuras 2A y C). Sin embargo, el análisis por individuos (Figura 3B) muestra que dicha "población" tiene individuos que se distribuyen entre los dos grupos encontrados, seis individuos (44 a 49) en el Grupo I y sólo tres individuos (50 a 52) en el Grupo II. Evidentemente, la contribución del ordenamiento se ve muy afectada por el tamaño de la población.

## CONCLUSIONES

El éxito de un programa de fitomejoramiento está en la disponibilidad de material parental y de sistemas de selección eficientes. Con el objeto de determinar la variabilidad genética de los materiales tipo Dura y generar información de utilidad para una posible recomposición de poblaciones, se obtuvo información de 13 loci microsatélites (de 20 evaluados), los cuales fueron bastante eficientes e informativos (Tabla 1, sección B).

Se mostró una diferenciación genética alta. En particular, se determinó que la variabilidad entre las poblaciones de materiales tipo Dura analizadas es mayor que la variabilidad genética hallada dentro de cada una de las poblaciones. Además, los análisis de relaciones genéticas entre individuos de las distintas poblaciones agruparon a la mayoría de individuos y de poblaciones en dos grupos. Se identificaron aquellos individuos (6, 12 y 15) que salen de los agrupamientos y otros que por su similitud podrían ser seleccionados como representantes de cada población o grupo.

Así, la información obtenida en el presente estudio es importante para el programa de fitomejoramiento de Cenipalma, debido a que se ha ampliado el conocimiento genético de materiales que, aparte de tener características morfoagronómicas de interés (tolerancia a estrés biótico y abiótico) y de haber ganado adaptación a distintas condiciones medioambientales, fueron utilizados exitosamente en el pasado, pero no se conservaron para los futuros programas de fitomejoramiento.

Por su variabilidad genética, características morfoagronómicas y de adaptación, los materiales evaluados se constituyen en un elemento importante para

el rescate y la generación de combinaciones deseables de genes que serán de utilidad para el desarrollo de la palmicultura colombiana.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al ingeniero Iván Ayala (Cenipalma) por el suministro de material biológico, al Comité Editorial de Cenipalma, por la crítica de este manuscrito y a los árbitros externos por sus valiosos comentarios. Esta investigación fue patrocinada por el Fondo de Fomento Palmero (FFP), administrado por Fedepalma.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, D.; ROCHA, P. 2004. Análisis de diversidad genética en materiales tolerantes y susceptibles a la pudrición de cogollo en palma de aceite mediante marcadores moleculares. *Palmas (Colombia)*. 25(3):11-27.
- BASTIDAS, S.; PEÑA, E.; REYES, R. 2003. Genealogía del germoplasma de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) del proyecto de mejoramiento genético de Corpoica. *Palmas*. 24(1):21-29.
- BEIRNAERT, A.; VANDERWEYEN, R. 1941. Contribution a l'étude génétique et biométrique des variétés d'*Elaeis guineensis* Jacq. *Publ. Inst. Natl. Etude Agron. Congo Belge, Ser. Sci. (Belgium)*. 27:1-101.
- BILLOTTE, N.; FRANCES, L.; AMBLARD, P.; DURAND-GASSELIN, T.; RUSTERUCCI, A.M.; NOYER, J.L.; COURTOIS, B. 2001a. Search for AFLP and microsatellite molecular markers of the *SH* gene in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) by bulk segregant analysis (BSA) and by genetic mapping. *Proceedings of 2001 PIPOC International Palm Oil Congress – Cutting-edge technologies for sustained competitiveness (Agriculture)*. Malaysia. p.442-445.
- BILLOTTE, N.; RUSTERUCCI, A.M.; BARCELOS, E.; NOYER, J.L.; AMBLARD, P.; BAURENS, F.C. 2001b. Development, characterization, and across-taxa utility of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) microsatellite markers. *Genome (Canada)*. 44(3):413-425.

- BILLOTTE, N.; MARSEILLAC, N.; RISTERUCCI, A.M.; ADON, B.; BROTTIER, P.; BAURENS, F.C.; SINGH, R.; HERRÁN, A.; ASMADY, H.; BILLOT, C.; AMBLARD, P.; DURAN-GASSELIN, T.; COURTOIS, B.; ASMONO, D.; CHEAH, S.C.; ROHDE, W.; RITTER, E.; CHARRIER, A. 2005. Microsatellite-based high density linkage map in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Theoret. Appl. Genet. (Germany). 110:754-765.
- CORLEY, R.H.V.; TINKER, P.B. 2003. The oil palm. 4<sup>th</sup> ed. Blackwell Publ. Great Britain. 562p.
- FALCONER, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2<sup>nd</sup> ed. Longman. New York. 340p.
- FEDEPALMA. 2006. Statistical yearbook 2006. The oil palm agroindustry in Colombia and the World 2001-2005. Fedepalma, Bogotá, 122p.
- GOWER, J.C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. Biometrika (United Kingdom). 53:325-338.
- KIMURA, M.; CROW, J.F. 1964. The number of alleles that can be maintained in a finite population. Genetics (U.S.A.). 49:725-738.
- MELÉNDEZ, E. 2006. Caracterización molecular de palma de aceite, *Elaeis guineensis* Jacq., procedente de Angola mediante microsatélites en Cenipalma. Trabajo de Grado. Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta. 93p.
- MONTOYA, C.; ARIAS, D.; REY, L.; ROCHA, P.J. 2005. Diversidad genética de materiales *Elaeis guineensis* Jacq. procedentes de Angola. Fitotecnia Colombiana. 5(2):1-10.
- MORETZSOHN, M.C.; NUNES, C.D.M.; FERREIRA, M.F.; GRATTAPAGLIA D. 2000. RAPD linkage mapping of the shell thickness locus in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Theoret. Appl. Genet. 100:63-70.
- NEI, M. 1972. Genetic distance between populations. Am. Nat. 106:283-292.
- NEI, M. 1973. Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proc. Nat. Acad. Scienc. 70:3321-3323.
- REY L.; GÓMEZ P.L.; AYALA I.; DELGADO W.; ROCHA, P. 2004. Colecciones genéticas de palma de aceite *Elaeis guineensis* (Jacq.) y *Elaeis oleifera* (H.B.K) de Cenipalma: características de importancia para el sector palmicultor. Palmas. 2(No. Especial):39-48.
- ROCHA, P.J. 2003. Marcadores moleculares, una herramienta útil para la selección de palma de aceite. Palmas. 24(2):11-25.
- ROCHA, P.J. 2004. Conceptos básicos en biotecnología de la palma de aceite. Palmas. 25(No. Especial. Tomo 1.):1-17.
- ROCHA, P.J. 2007. La biotecnología como una herramienta para agilizar la selección de nuevos materiales en palma de aceite. Palmas.28(No. Especial. Tomo 1): 144-148.
- ROCHA, P.J.; MELÉNDEZ, E.; REY, L. 2007. Ampliación del análisis de diversidad genética de palma de aceite proveniente de Angola. Respuestas (Colombia). 12(1):20-28.
- ROCHA, P.J.; ROJAS, Y.; REY, L. 2005. Caracterización molecular preliminar del banco de germoplasma de *Elaeis oleifera* [H.B.K.] Cortés, mediante microsatélites. Ceniavances (Colombia). No. 130:1-4.
- ROHLF, F.J. 2000. NTSYSpc: Numerical taxonomy and multivariate system. Version 2.1. Exeter Publ. Ltd. Setauket, N.Y. Programa informático.
- SAITOU, N.; NEI, M. 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. Mol. Biol. and Evol. (United Kingdom). 4:406-425.
- SNEATH, P.H.A.; SOKAL, R.R. 1973. Numerical taxonomy. Freeman, San Francisco, CA. 573p.
- SUÁREZ, S.R. 2006. Estudio preliminar de la caracterización molecular por microsatélites de progenitores

tipo Dura de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Trabajo de Grado. Facultad de Química Industrial. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A) y Corporación Tecnológica de Bogotá (C.T.B.). Bogotá. 90p.

WRIGHT, S. 1978. Evolution and the genetics of populations. Vol. 4. Variability within and among natural populations. University of Chicago Press, Chicago, IL. 581p.

WRIGHT, S. 1951. The genetical structure of populations. Ann. Eugenics (United Kingdom). 15:323-354.

YEH, F.C.; BOYLE, T. 1997. Population genetic analysis of co-dominant and dominant markers and quantitative traits. Belgian J. Bot. (Belgium) 129:157.

Recibido: marzo 15 de 2007

Aceptado: agosto 6 de 2007

# ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE GENOTIPOS DE ALGODÓN (*Gossypium hirsutum* L.) EN EL CARIBE COLOMBIANO

## FENOTYPIC STABILITY OF COTTON (*Gossypium hirsutum* L.) GENOTYPES IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN

Hermes Araméndiz T.<sup>1</sup>  
Miguel Espitia C.<sup>2</sup>  
Alejandro Agámez C.<sup>3</sup>  
Carlos Cardona A.<sup>4</sup>  
Juana Robles G.<sup>1</sup>

### RESUMEN

El algodón es el principal cultivo durante el segundo semestre del año en la región caribe. Es desarrollado en condiciones ambientales y tecnológicas variables que afectan los rendimientos de fibra de los cultivares y la competitividad del sistema de producción. El objetivo de esta investigación fue analizar la estabilidad fenotípica del rendimiento de fibra de diez genotipos de algodón en ocho ambientes de la Costa Atlántica. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en todos los ambientes. Para los análisis de estabilidad, se utilizaron las metodologías propuestas por Lin & Binns (1988a) y Carneiro (1998). El análisis de variancia combinado detectó interacción genotipo-ambiente significativa ( $p < 0.01$ ), como reflejo en el cambio de la superioridad de los cultivares de un ambiente a otro. De acuerdo con la metodología empleada, los cultivares L. Cesar-151 y Delta opal resultaron ser los

más deseables por presentar los menores valores de Pig (más estables) y los mayores rendimientos promedios de fibra. La metodología de Carneiro (1998) seleccionó, por su mayor estabilidad fenotípica y rendimientos, a L. Cesar-151 y Delta Opal y discriminó, para ambientes favorables, y a L. Cesar-149 y Corpoica M-123 para ambientes desfavorables.

Palabras clave: Interacción genotipo-ambiente, rendimiento de fibra, parámetros de estabilidad.

### SUMMARY

Cotton is the main crop of the second term of the year in the Colombian Northern Coast. It grows under variable environmental and technological conditions that affect cultivar fiber yield and the competitiveness of the production system. The main objective of this research was to analyze the phenotypic stability of the fiber yield of ten cotton genotypes in eight environments of the Atlantic Coast. A complete randomized block design with four replicates was used in all experiments. The stability analysis was made by means of the methodologies proposed by Lin & Binns (1988) and Carneiro (1998). The combined variance analysis detected significant interaction genotype-environment ( $p < 0.01$ ), as reflected in the change of the superiority of genotypes from an environment to another. According to the methodology employed, the cultivars L. Cesar -151 and Delta opal

<sup>1</sup> Docente. Universidad de Córdoba. Montería. Carrera 6N°76-103. haramendiz@hotmail.com

<sup>2</sup> Docente. Universidad de Córdoba. Mespitia37@hotmail.com

<sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo. Corpoica. C.I. Turipana. alejandro\_agamez@yahoo.com

<sup>4</sup> Docente. Universidad de Córdoba. ccardona@sinu.unicordoba.edu.co

<sup>5</sup> Docente. Universidad de Córdoba. jrobles@sinu.unicordoba.edu.co

showed the best results, since they presented the lowest Pig values (more stable) and the higher average fiber yield. The methodology of Carneiro (1998) selected, due to greater phenotypic stability and yields, L. Cesar-151 and Delta Opal for better environmental conditions and L. Cesar-149 and Corpoica M-123 for less favorable environments.

Key words: Interaction genotype-environment, fibre yield, parameters of stability.

## INTRODUCCIÓN

El algodón de fibra media es la principal especie agrícola cultivada en el segundo semestre del año en el Caribe colombiano; genera el 6% de los empleos directos entre los cultivos transitorios. El área sembrada en el 2006 fue de 35.000 hectáreas, las cuales representaron el 65% de la producción nacional, con rendimientos de algodón semilla promedios de 2.000kg ha<sup>-1</sup> y rendimientos de fibra promedio de 863kg ha<sup>-1</sup>; guarismo éste que permitió al país ubicarse en el puesto 15, a nivel mundial (Arias, 2007). Esta actividad es realizada en condiciones ambientales y tecnológicas variables, sin riego suplementario, con uso de cultivares foráneos y, muchas veces, de poca adaptación a las condiciones cambiantes del trópico. Estos factores, unidos a otros de origen político y económico nacional e internacional, han afectado la competitividad del cultivo. Ello ha conllevado a la reducción del área de siembra de 250.000ha en la cosecha 1990-1991 a 51.225ha en la temporada 2006-2007 (Mendoza *et al.* 1999; Arias, 2007), conduciendo a la conversión del país de exportador a importador de fibra y, con ello, se ha originado un vacío en la generación de empleos directos e indirectos en esta actividad (Espinal *et al.* 2005).

La etapa final de cualquier programa de mejoramiento genético exige la realización de experimentos en ambientes divergentes, en razón a que los productores realizan sus cultivos en condiciones muy complejas, con un gran efecto ambiental en la expresión del genotipo y cambios en la expresión del fenotipo (Kang, 1998). Por lo anterior es necesario, estimar el potencial de rendimiento, al igual que la adaptabilidad y la estabilidad fenotípica de cultivares avanzados en esas ofertas ambientales y de manejo agronómico, de igual manera obtener conclusiones más confiables de las líneas en

evaluación y así realizar recomendaciones mucho más precisas a esas condiciones impredecibles y acordes con las particularidades de las zonas productoras de la región Caribe, especialmente, las concernientes con el régimen de lluvia.

La evaluación de cultivares en los ambientes no arroja una respuesta sencilla, por lo general, presentan una interacción con el mismo, definida como una respuesta diferencial de los cultivares a la variación de los ambientes, dificultando la selección de genotipos adaptados. Así mismo, influye esta interacción en la eficiencia de la estimación de parámetros genéticos, progresos con la selección y un reducido progreso de los programas de mejoramiento (Duarte & Vencovsky, 1999). Para regiones con irregularidad entre localidades y años en la oferta ambiental, como el Caribe colombiano y progresos en los rendimientos de la agricultura son posibles con la identificación de genotipos que expresen su potencial genético en ambientes más favorables y específicos, de tal manera, que ello conduzca a un menor costo de la producción de cada kilo de fibra.

Chloupek & Hrstkova (2005) indican que la adaptabilidad es el resultado de la interacción del genotipo con el ambiente y esta característica está controlada genéticamente, ya que QTL, asociados con la adaptabilidad, han sido identificados en trigo y cebada (Kato *et al.* 2000; Snape *et al.* 2007), posibilitando la habilidad de explorar atributos ambientales y agronómicos. El ambiente comprende factores naturales, como la geografía, los años, el suelo y la precipitación que es el más impredecible por su variación de año en año, además de factores humanos, como las prácticas agronómicas (Lin & Binns, 1988b; Dencic *et al.* 2000; Chloupek *et al.* 2004).

Para entregar a productores o recomendar cualquier cultivar es fundamental la realización de estudios de adaptabilidad y de estabilidad fenotípica. Existen muchos métodos que han venido siendo aplicados para analizar la interacción genotipo – ambiente. Entre ellos, sobresalen los que se basan en el análisis de regresión (Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966; Verma *et al.* 1978); análisis multivariados (Lin & Thompson, 1975; Lin & Butler, 1990); análisis de componentes principales (Kroonenberg & Basford, 1989; Gauch, 1988; Gauch & Furnas, 1991); componentes de variancia (Plaisted, 1960;

Wricke, 1962; Shukla, 1972) y análisis no paramétrico (Lin & Binns, 1988a; Carneiro, 1998; Abeyisiriwadena, 2001), entre otros.

La escogencia del método depende de los datos experimentales, principalmente, los relacionados con el número de ambientes disponibles, precisión requerida para la discriminación genotípica y tipo de información deseada. Se enfatizan que algunos métodos son alternativos, en tanto que otros son complementarios, pudiendo ser utilizados conjuntamente en el mejoramiento de plantas (Cruz & Regazzi, 1997).

La metodología de Lin & Binns (1988a) es una buena alternativa para la evaluación de cultivares con relación a la interacción genotipo-ambiente. Sobre este método, Huehn (1990), Atroch *et al.* (2000) y Scapim *et al.* (2000) señalan que no tiene las limitaciones de la regresión cuya interpretación es más difícil, es simple y fácil de aplicar y caracteriza los genotipos en un solo parámetro ( $P_i$ ) que asocia la estabilidad con el rendimiento y, que a menor valor, mayor será su estabilidad. Además, la inclusión o retirada de uno o pocos cultivares no causa grandes variaciones en la estimación de los parámetros y permite la clasificación de los genotipos para selección en el proceso de mejoramiento. Este método fue modificado por Carneiro (1998) para identificar los genotipos superiores en ambientes favorables y desfavorables. Estos métodos han sido aplicados en arroz por Abeyisiriwadena (2001) y por Atroch *et al.* (2000); en maíz por Scapim *et al.* (2000) y por Murakami *et al.* (2004); en frijol por Morais *et al.* (2001); en quinua por Jacobsen *et al.* (1996); en alfalfa por Ferreira *et al.* (2004) y en algodón por Espitia *et al.* (1993) y por Vertel *et al.* (1999).

El programa de mejoramiento de algodón de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) trabaja en áreas tropicales donde existe una alta diversidad ambiental y de manejo agronómico que contribuyen significativamente a la presencia de interacción genotipo – ambiente. Por lo tanto, el objetivo fue conocer la estabilidad fenotípica de líneas avanzadas y variedades comerciales de algodón de fibra media, para seleccionar los mejores genotipos, para las áreas productoras de la región Caribe.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio, se utilizaron los datos de rendimiento de fibra, obtenidos de experimentos realizados en fincas de productores y de centros de investigación de diferentes regiones aldoneras del caribe colombiano, realizados en la cosecha 2003-2004, bajo la responsabilidad de CORPOICA, en los departamentos de Córdoba, de Cesar y de la Guajira.

Los experimentos fueron sembrados de acuerdo a la época de siembra de cada ambiente, en los municipios de Maicao, El Copey, Codazzi, San Juan del Cesar, Cereté, San Pelayo, Cotorra y Aguachica, utilizando el diseño experimental de bloques completamente al azar, con 10 tratamientos (Línea Cesar -149, Línea Cesar -151, Línea Cesar -153, Línea Turipaná-1, Línea Turipaná-2, Línea Turipaná-3, Línea Turipaná-4, Corpoica M-123, Delta Opal y Sinuana M-137) y cuatro repeticiones. El manejo agronómico utilizado en la investigación fue el mismo que aplicaron los productores en sus lotes comerciales donde estuvieron ubicados cada uno de los experimentos. Las unidades experimentales estuvieron conformadas por seis surcos de 10m de longitud, separados a 0,90m y con distancias entre plantas de 0,40m. Las variables consideradas en la investigación fueron rendimiento de fibra, número de motas por planta, porcentaje de fibra, peso de mota y calidad de fibra.

Se realizaron análisis individuales de variancia, seguidos de análisis combinados (conjunto) para identificar la importancia de los efectos de los componentes experimentales del modelo mixto asumido, considerándose como fijo los genotipos y aleatorio las localidades, utilizando el programa SAS (SAS Institute, 2002).

En el método de Lin & Binns (1988a), el desempeño general de los genotipos es definido como el cuadrado medio de la distancia entre la media del cultivar y la respuesta media máxima para todas las localidades, de tal modo que los genotipos, con menores valores, corresponden a los de mejor desempeño. De acuerdo con esta definición, el estimador  $P_{ig}$  es determinado por la siguiente fórmula:

$$P_{ig} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

donde:

- Pig = estadístico del parámetro de estabilidad del cultivar i;
- $X_{ij}$  = rendimiento de fibra (kg ha<sup>-1</sup>) del i – ésimo cultivar en el j – ésimo ambiente;
- $M_j$  = respuesta máxima observada entre todos los cultivares en el ambiente j;
- n = número de ambientes.

Carneiro (1998) descompuso el estadístico Pig, con el fin de identificar los genotipos superiores en ambientes favorables y desfavorables, utilizando la misma metodología de clasificación de ambientes de Eberhart & Russell (1966). En esta descomposición, los siguientes estadísticos son estimados:

$$Pif = \frac{\sum_{j=1}^f (X_{ij} - M_j)^2}{2f} \text{ y } Pid = \frac{\sum_{j=1}^d (X_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

donde:

- Pif = estadístico de Pig para ambientes favorables;
- Pid = estadístico de Pig para ambientes desfavorables;
- f = número de ambientes favorables;
- d = número de ambientes desfavorables;

$X_{ij}$  y  $M_j$  como fueron definidos anteriormente.

De esta manera, la selección de los cultivares puede ser realizada para los diferentes tipos de ambientes (general y específica), siendo mucho más completa que la propuesta original.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de variancia combinado, se encuentran consignados en la Tabla 1. En ella, se puede apreciar diferencias altamente significativas para todas las fuentes de variación, indicando que los cultivares poseen divergencia en cuanto a su potencial de rendimiento de fibra y que los ambientes satisfacen el pre-requisito de contraste entre las localidades.

De igual manera, la existencia de interacción genotipo-ambiente (Cultivares x Localidades), denota la dificultad de recomendar, de forma general, cultivares para la región en estudio, por lo que es necesario un estudio más detallado de la interacción genotipo-ambiente para realizar recomendaciones altamente precisas de los cultivares sometidos en estudio. Esta variabilidad de respuesta ha sido divulgada a nivel de especies y de cultivares por Souza & Holanda, 1993; Banziger & Cooper, 2001 y Chloupek & Hrstkova, 2005.

En la Tabla 2, se observa una amplia variación en el estadístico Pig para los cultivares estudiados en la diferentes localidades, oscilando dichos guarismos entre 4783,19 (L. Cesar – 151) y 96446,44 (L. Turipaná – 3) y el rendimiento de fibra por hectárea promedio, entre 1110 (L. Turipaná – 3) y 1461kg ha<sup>-1</sup> (L.Cesar – 151). Los cultivares L.Cesar -151 y Delta Opal, registraron los menores valores de Pig con 4783,19 y 6604,51, siendo calificados como los más estables, ya que a menor Pig, pequeño será también el desvío en torno de la producción máxima de cada ambiente e integran el grupo más productivo en los ambientes considerados,

Tabla 1. Análisis de variancia combinado para el rendimiento de fibra (kg/ha<sup>-1</sup>) de diez cultivares de algodón, evaluados en el caribe colombiano, durante la cosecha 2003-2004.

Fuente de variación	GL	S. de C	C. M.	F	Pr> F
Repeticiones (Localidades)	24	6383319	265972	7,40	<.0001
Cultivares	9	3518078	390898	6,86	<.0001
Localidades	7	51478809	7354116	25,62	<.0001
Cultivares x Localidades	63	3588301	56957	1,59	0.0082
Error residual	216	7760511	35928	-	-

G.L. : Grados de libertad; S. de C.: Suma de cuadrados; C.M.: Cuadrados medios

puesto que su rendimiento de fibra fue de 1461 y 1379kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Lo que posiblemente obedezca a la presencia de bloques de genes asociados con la adaptabilidad y la estabilidad, como lo reportaron en otras especies Kato *et al.* (2000) y Snape *et al.* (2007) o una mayor estabilidad agronómica (Lin *et al.* 1986; Piepho, 1996), debido a que registraron un mayor potencial productivo en los ambientes donde fueron evaluados. Ante estos resultados, la línea L. Cesar -151, se convierte

en un genotipo promisorio para las zonas algodonerías del Caribe colombiano, por lo que puede ser elevado a la categoría de variedad. Igual conducta con la variedad Delta Opal, que puede ser recomendada a los productores por su excelente comportamiento agronómico, como se puede apreciar en la Tabla 3, ya que la característica porcentaje de fibra del genotipo colombiano es superior en 2 y 3%, respecto a las variedades comerciales, lo cual redundará en un mayor rendimiento de fibra. Así mismo,

Tabla 2. Rendimiento medio de fibra (kg/ha<sup>-1</sup>), parámetros estabilidad para condiciones generales ( $P_{ig}$ ), condiciones ambientales favorables ( $P_{if}$ ) y desfavorables ( $P_{id}$ ), con su clasificación de acuerdo a la metodología de LIN & BINNS (1988a) y CARNEIRO (1998).

Cultivares	Media	$P_{ig}$	Clasif.	$P_{if}$	Clasif.	$P_{id}$	Clasif.
LC - 149	1329	19189,22	3	28040,44	5	6103,99	1
LC - 151	1461	4783,59	1	68,43	1	12642,19	5
LC - 153	1236	57927,86	7	80054,94	9	21049,41	7
L T - 1	1188	58313,53	8	74317,90	7	31639,58	8
L T - 2	1125	80310,93	9	102076,88	10	44034,35	10
L T - 3	1110	96446,64	10	16291,93	3	35658,70	9
L T - 4	1231	49603,16	5	68532,78	6	18053,79	6
CM - 123	1257	52345,05	6	78523,43	8	8714,42	2
Delta opal	1379	6604,51	2	4904,0	2	9438,54	3
SM - 137	1316	20641,62	4	26282,41	4	11240,29	4
Media general	1263						

Tabla 3. Valores promedios de rendimiento de algodón –semilla y características de la fibra de los cultivares evaluados en ocho ambientes de la región Caribe, 2003-2004.

Cultivares	Alg-Sem (kg/ha)	Fibra %	Rendim.-Fibra (kg/ha)	Peso de mota (g)	Longitud (mm)	Uniformidad (%)	Resistencia (gr/tex)	Finura (mg/pulg)
L. Cesar -149	3.329	40,44	1.329	5,16	1,175	77,54	28,40	4,20
L. Cesar -151	3.490	42,19	1.461	5,30	1,174	77,46	28,23	4,29
L. Cesar -153	3.030	41,45	1.236	5,15	1,181	80,56	28,92	4,44
L. Turipaná 1	3.308	36,51	1.187	5,74	1,149	79,25	27,79	4,34
L. Turipaná 2	3.196	35,65	1.125	5,80	1,133	79,69	26,67	4,40
L. Turipaná 3	3.146	36,75	1.109	5,52	1,142	80,03	27,62	4,33
L. Turipaná 4	3.300	37,91	1.231	5,56	1,131	79,52	26,84	4,45
Corpoica M-123	3.176	39,88	1.256	5,38	1,168	80,38	28,11	4,51
Delta Opal	3.615	38,63	1.379	5,45	1,157	81,99	29,32	4,55
Sinuana M-137	3.295	40,34	1.315	5,22	1,136	81,27	28,35	4,36

mayor longitud de fibra con relación a las variedades comerciales y atributos de uniformidad, resistencia y finura, que satisfacen los estándares de calidad de fibra requeridos por la industria textil.

El análisis de adaptabilidad y de estabilidad con la metodología de Lin & Binns (1988a) resalta la inestabilidad de los cultivares L. Turipaná 1; L. Turipaná 2, L. Turipaná 3 y L. Turipaná 4 oriundos del departamento del Córdoba, por los altos valores de *Pig*. De igual manera, acusaron bajos rendimientos de fibra y de longitud de fibra (Tabla 3), lo que corrobora lo anotado por Morais *et al.* (2001), quienes indican que la mayor estabilidad está obligatoriamente asociada a una mayor producción y viceversa. Teniendo en consideración que esta metodología se basa en una comparación con relación a la mejor media de cada ambiente, es posible que estas líneas adolezcan de genes favorables para un mejor rendimiento de fibra y ellos contribuya a un mayor *Pig*.

La aplicación del método de Lin & Binns (1988a) modificado por Carneiro (1998), contenida en la Tabla 2, resalta como más estables para condiciones favorables *Pif*, los cultivares L. Cesar -151 y Delta Opal, que ocuparon el primero y segundo lugar de la clasificación,

con *Pif* de 68,43 y 4904,0, respectivamente; siendo mucho mejor L. Cesar -151 que la variedad comercial. En condiciones ambientales desfavorables, se destacó como la más estable la línea L. Cesar -149, con un *Pid* de 6103,99, seguida de Corpoica M – 123, con 8714,42 y Delta opal con 9438,54. Estos resultados señalan la posibilidad de entregar a los agricultores nuevos materiales con ventajas comparativas en su estabilidad y en su rendimiento de fibra en condiciones desfavorables.

Como se aprecia en la Tabla 2, los métodos de análisis aplicados no arrojaron resultados muy discrepantes en la conducta de los genotipos estudiados y sí complementarios para una mejor decisión por parte de CORPOICA en la discriminación genotípica de sus líneas. Además, son métodos simples y eficientes para estimar en un solo parámetro la adaptabilidad y la estabilidad y su relación con el rendimiento de fibra, para su posterior recomendación a las áreas productoras.

Los índices de adaptabilidad y de estabilidad para localidades *Pil* están contenidos en la Tabla 4. Se observa que, en términos generales, hubo una mejor oferta ambiental con relación a fertilidad de suelos, precipitación y manejo agronómico en el caribe húmedo

Tabla 4. Rendimiento de fibra (kg/ha-1) de diez cultivares de algodón evaluados en ocho ambientes del caribe colombiano, 2003-2004

Cultivares	LOCALIDADES								$\bar{x}$ varietal
	Maicao	El Copey	Codazzi (Motilonia)	San Juan del Cesar	Cereté (Turipaná)	San Pelayo	Cotorra	Aguachica	
LC- 149	1433	817	737	999	1615	1741	1915	1376	1329
LC- 151	1690	895	637	986	1786	2007	2202	1486	1461
LC- 153	1550	800	619	832	1759	1441	1540	1346	1236
LT- 1	1530	643	692	732	1509	1592	1584	1219	1188
LT- 2	1262	457	652	941	1401	1546	1665	1075	1125
LT- 3	1299	529	636	947	1369	1471	1418	1207	1110
LT- 4	1551	679	721	852	1532	1567	1587	1360	1231
CM-123	1532	755	731	1011	1749	1319	1749	1206	1257
DP opal	1592	765	911	812	1664	1778	2113	1399	1379
SM- 137	1577	780	715	957	1812	1485	1857	1340	1316
$\bar{x}$ localidad	<b>1501</b>	<b>712</b>	<b>705</b>	<b>907</b>	<b>1619</b>	<b>1594</b>	<b>1763</b>	<b>1301</b>	
<i>Pil</i>	4290	69037	69960	45796	1296	1785	0	13340	

respecto al caribe seco, a excepción de Maicao, ya que en estas localidades se registró un mayor rendimiento de fibra/ha, lo que corrobora lo expresado por Chloupek & Hrstkova (2005). Morais *et al.* (2001), resaltan la correlación entre la oferta ambiental y el rendimiento. Se destacaron por su rendimiento de fibra superior a 1500kg/ha<sup>-1</sup> en el caribe húmedo Cotorra, Cereté y San Pelayo, en tanto que en el caribe seco, Maicao. Sobresalen, como los de peor oferta ambiental, El Copey y Codazzi (C.I. Motilonia), que hace de estas áreas del caribe seco marginales para el cultivo del algodón con estos genotipos, por la alteración de las lluvias, pérdida paulatina de la fertilidad de suelos e irregularidad en el manejo de problemas fitosanitarios.

La respuesta diferencial de los cultivares a la oferta ambiental del caribe colombiano permite separar los ambientes y recomendar los cultivares con mayor adaptación específica para una región en particular y así aprovechar las condiciones ambientales previsibles, como sugieren Lin & Binns (1988b) y tecnológicas para una mejor producción Chloupek *et al.* (2004).

## CONCLUSIONES

Los cultivares difieren para rendimiento de fibra en su comportamiento en cuanto a la adaptabilidad y la estabilidad fenotípica, con posición privilegiada para las líneas promisorias L. Cesar -151 y L. Cesar -149, que ocuparon el primer lugar en la clasificación por estabilidad, por rendimiento de fibra y por calidad de la misma en condiciones ambientales favorables y desfavorables.

El caribe húmedo posee mejor oferta ambiental para la expresión genética de los cultivares de algodón y, por lo tanto, mejor competitividad de sus productores.

## BIBLIOGRAFÍA

ABEYSIRIWADERNA, D.S. 2001. Statistical analysis of on-farm yield trials for testing adaptability of rice. *Euphytica*. 121(3):215-222.

ARIAS, A.F. 2007. El sector algodónero en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cereté, Mayo 25 de 2007.

ATROCH, A.L.; SOARES, A.A.; PATTO, M.A. 2000. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro testadas no estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*. 24(3):541-548.

BANZIGER, M.; COOPER, M. 2001. Breeding for low input conditions and consequences for participatory plant breeding: examples from tropical maize and wheat. *Euphytica*. 122(3):503-510.

CARNEIRO, P.C.S. 1998. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. Viçosa, Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa. 155p.

CHLOUPEK, O.; HRSTKOVA, P. 2005. Adaptation of crops to environment. *Theoret. Appl. Genetics*. 111(7):1316-1321.

CHLOUPEK, O.; HRSTKOVA, P.; SCHWEIGERT, P. 2004. Yield and its stability, crops, diversity, adaptability and response to climate changes, weather and fertilization over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. *Field Crops Res*. 85(2-3):167-190.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. 1997. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2.ed. Viçosa: UFV. 390p.

DENCIC, S.; KASTORI, R.; KOBILJSKI, B.; DUGGAN, B. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica*. 113(1):43-52.

DUARTE, J.B.; VENCOSKY, R. 1999. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise. "AMMI". Riberão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. (Monografias, 9). 60p.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6(1):36-40.

ESPINAL, C.F.; COVALDA, H.M.; PINZÓN, N.; BARRIOS, C.A. 2005. La cadena de algodón en Colombia

- una mirada global de su estructura y dinámica 1991-1995. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Documento de Trabajo N°90. Disponible desde Internet en: <http://www.agrocadenas.gov.co>. (con acceso 20/03/07).
- ESPITIA, M.; ARAMENDIZ, H.; MENDOZA, A. 1993. Selección simultánea de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) por altos rendimientos y estabilidad. *Revista ICA*. 28(3):227-234.
- FERREIRA, R. de P.; BOTREL, M. de A.; RÜGGIERI, A.C.; PEREIRA, A.V.; FERNANDES, A.D.; DA SILVA, F.J.; CRUZ, C.D. 2004. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa em relação a diferentes épocas de corte. *Ciencia Rural*. 34(1):265-269.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian J. Agric. Res.* 14:742-754.
- GAUCH, H. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*. 44:705-715.
- GAUCH, H.; FURNAS, R. 1991. Statistical analysis of yield trials matmodel. *Agron. J.* 83(4):916-920.
- HUEHN, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*. 47(3):189-194.
- JACOBSEN, S.E.; HILL, J.; STOLEN, O. 1996. Stability of quantitative traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Theoret. Appl. Genetics*. 93(1-2):110-116.
- KANG, M.S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advanc. Agronomy*. 35:199-240.
- KATO, K.; MIURA, H.; SAWADA, S. 2000. Mapping QTLs controlling grain yield and its components on chromosome 5 A of wheat. *Theoret. Appl. Genetics*. 101(7):1114-1121.
- KROONENBERG, P.M.; BASFORD, K.E. 1989. An investigation of multiattribute genotype response across environments using three mode principal component analysis. *Euphytica*. 44(1-2):109-123.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. 1988a. A superiorite measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Science*. 68(2):193-198.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. 1988b. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. *Theoret. Appl. Genetics*. 76(3):425-430.
- LIN, C.S.; BUTLER, G. 1990. Cluster analysis for analyzing two-way classification data. *Agron. J.* 82(2):344-348.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEVKOVITCH, L.P. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*. 26(5):894-900.
- LIN, C.S.; THOMPSON, B. 1975. An empirical method of grouping genotypes based on a linear function of the genotype-environment interaction. *Heredity*. 34:255-263.
- MENDOZA, A.; ARAMENDIZ, H.; URREA, R. 1999. Origen, características y comportamiento productivo de nuevas líneas de algodón para el caribe húmedo. En: *Memorias Curso Manejo del Algodonero, Plan Nacional de Algodón, Corpoica – Conalgodón – Fondo de Fomento Algodonero*. p.13-17.
- MORAIS, S.A.; AZEVEDO FILHO, J.A.; DOS SANTOS DIAS, L.A.; GONÇALVES, CH.; BIANCHINI, C. 2001. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no estado de São Paulo. *Bragantia*. 60(2):69-77.
- MURAKAMI, D.M.; CARDOSO, A.A.; CRUZ, C.D.; BIZAO, N. 2004. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. *Ciência Rural*. 34(1):71-78.
- PLAISTED, R.L. 1960. A shorter method of evaluating the ability of selection to yield consistently over seasons. *Am. Potato J.* 37:166-172.
- PIEPHO, H.P. 1996. Analysis of genotype by environment interaction and phenotypic stability. In: Kang, M.S.; Gauch Jr., H.G. (Eds) *Genotype by interaction*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. p.151-174.

- SAS INSTITUTE, 2002. Software and Services: System for windows, version. 8.0
- SCAPIM, C.A.; RODRIGUES, V.; BRACCINI, A.; CRUZ, C.D.; BASTOS ANDRADE, C.A.; GONÇALVES, M.C. 2000. Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Ebehart and Russell, Linn and Binns and Huehn models. *Genetics and Molecular Biology*. 23(2):387-393.
- SHUKLA, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype – environmental components of variability. *Heredity*. 29:237-245.
- SNAPE, J.W.; FOULKES, M.J.; SIMMONDS, J.; LEVERINGTON, M.; FISH, L.J.; WANG, Y.; CIAVARRELLA, M. 2007. Dissecting gene x environmental effects on wheat yield via QTL and physiological analysis. *Euphytica*. 154(3):401-408.
- SOUZA, D.N.A.; HOLANDA, D.J.S. 1993. Adaptabilidade ambiental de cultivares de algodoeiro mocó. *Pesquisa Agropec. Bras.* 28(7):797-801.
- VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. 1978. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. *Theoret. Appl. Genetics*. 53(2):89-91.
- VERTEL, M.; ESPITIA, M.; MARTÍNEZ. R. 1999. Comparación de ocho índices para determinar estabilidad fenotípica en algodón. *Temas Agrarios*. 8:69-80.
- WRICKE, G. 1962. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzzücht.* 47(1):92-96.

Recibido: abril 9 de 2007

Aceptado: septiembre 19 de 2007

# COMPORTAMIENTO DE LA PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja* Just et Buk) A CALCIO Y BORO EN UN SUELO DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA

## CREOLE POTATO (*Solanum phureja* Just et Buk) BEHAVIOR TO CALCIUM AND BORON IN A SOIL OF CUNDINAMARCA, COLOMBIA

Andrés Segura<sup>1</sup>  
Alfonso Triviño<sup>1</sup>  
Rodrigo Lora Silva<sup>2</sup>

### RESUMEN

En el municipio de Funza, Cundinamarca, en un suelo derivado de cenizas volcánicas clasificado como Typic Dystrandep, se evaluó en papa criolla (*Solanum phureja* Just et Buk) el efecto de la aplicación edáfica de calcio y de boro y su interacción en términos de rendimiento y de calidad de los tubérculos. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo factorial completo, dos factores y cuatro niveles para un total de 48 unidades experimentales de 20m<sup>2</sup>. Los niveles de calcio fueron 0-18-36-54kg/ha y de boro 0-0,5-1-1,5kg B/ha. Se evaluó el rendimiento total y por tamaño del tubérculo, la humedad y la densidad y el análisis económico. Los resultados mostraron efecto significativo de los tratamientos en el rendimiento, obteniéndose los mayores con la aplicación de 18 y 54kg-Ca/ha, y de 1kg B/ha junto con 18kg-Ca/ha, con rendimiento total de 29,7; 30,2 y 22,5 t/ha, respectivamente. No hubo efecto en el tamaño de tubérculos, pero la mayoría de ellos fue de tamaño primera. Los mayores ingresos marginales, se obtuvieron con la aplicación de calcio solo, 1kg de B y 18 de Ca y 1kg de B y 36 de

Ca. Por su parte, los niveles de 0,5; 1,0 y 1,5kg B/ha sin Ca produjeron ingresos marginales de \$253.400, \$502.000 y \$885.000, respectivamente. Aunque no hubo incremento significativo en la densidad de los tubérculos, se presentó incremento en relación al testigo para las combinaciones de 0,5kg B/ha y los niveles de Ca, indicando la necesidad de la presencia del Boro con el Calcio.

Palabras clave: Fertilización, micro y nutrientes secundarios, tamaño de tubérculos, rentabilidad.

### SUMMARY

At Funza, Cundinamarca, Colombia, in a soil derived from volcanic ashes, classified as Typic Dystrandep, the effect of Calcium and Boron applications and its interactions on yield and tuber quality of the creole potato was evaluated. A complete randomized block design with factorial arrangements, two factors and four levels was used for a total of 48 experimental units of 20m<sup>2</sup> each. The levels of Ca were 0-18-36-54kg/ha and those of B 0, 0.5, 1, 1.5kg/ha. Total yield and tuber size, as well as tuber density and humidity and the economic analysis were evaluated. The results showed a significant effect of the treatments on the total yield, being the highest, obtained with 18 and 54kg Ca/ha and 1kg B/ha with 18kg Ca/ha, 29.7, 30.2 y 22.5 t/ha, respectively. No effect on tuber size was observed, but production was mainly of the first class size. The highest marginal incomes were obtained with

<sup>1</sup> Ingenieros Agrónomos

<sup>2</sup> Ing. Químico, M.Sc., docente investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Correo electrónico: rodrigolora@yahoo.com, Dirección para correspondencia: Calle 99 No. 48D-15, Unidad 5, Apto 2, Bogotá, D.C.

calcium alone, 1kg of B and 18kg of Ca, and 1kg of B and 36 of Ca. The boron levels, 0.5, 1.0 and 1.5 without Ca produced marginal incomes of \$253.400, \$502.000 and \$885.000, respectively. Although no significant increase of the tuber density was obtained, in comparison with the check, for the combinations of 0.5kg/ha of B and the Ca levels, an increase was observed, indicating the necessity of the presence of B with Ca.

Key words: Fertilization, micro and secondary nutrients, tuber size, rentability

## INTRODUCCIÓN

La papa criolla (*Solanum phureja* Just et Buk), se siembra en Colombia en una extensión aproximada de 12.000 hectáreas semestrales en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Nariño y Antioquia, principalmente (Lora *et al.* 2006). Por sus propiedades culinarias y nutricionales, el tubérculo es de gran aceptación en la población colombiana y además tiene un alto potencial de exportación hacia Estados Unidos, Canadá, Japón y algunos países europeos.

En el país, la papa criolla se cultiva bajo condiciones similares a la dadas para la especie *Solanum tuberosum*, en la cual se ha desarrollado investigación que ha permitido hacer recomendaciones confiables de fertilización. Por su parte, en papa criolla, se requiere más investigación, especialmente en lo relacionado a la fertilización con nutrientes mayores, secundarios y menores en las variedades nuevas seleccionadas, básicamente no solo por su rendimiento, sino también por el tiempo de brotación de los tubérculos, lo que origina pérdidas en su calidad comercial e industrial y el tubérculo se consume brotado (FEDEPAPA, 2005; Zapata *et al.* 2006).

Como nutrimento esencial para las planta, en el suelo el calcio (Ca) existe en muchas formas, pero para fines de nutrición, se considera el Ca en la solución del suelo, el Ca intercambiable y el Ca activo, el cual está constituido por particular finas de carbonato soluble en agua cargada de CO<sub>2</sub>, que por ionización el calcio pasa a la forma intercambiable (Espinosa, 2003; Lora, 2001). El Ca se absorbe y trasporta en forma iónica, es decir, como catión Ca. Su movilidad es mayor en

el apoplasto que en el simplasto de modo que en aquellos órganos que reciben la mayor parte del calcio por el floema es frecuente que reciban un suministro inadecuado del nutrimento (Epstein & Bloom, 2005). El rol del calcio en el ciclo de vida de la planta ha sido bien establecido y revisado extensamente por varios autores (White & Broadley; Hirsechi; Marschemer; citados por Busse & Palta, 2006). Algunas de estas funciones son las siguientes: la mayor parte del calcio, se localiza extracelularmente donde afecta procesos básicos en la pared celular y en las membranas. El pectato de calcio es un componente de la pared celular a la que estabiliza y hace resistente a la degradación por pialacturonasas. El crecimiento de la raíz depende de Ca extracelular, que afecta fundamentalmente al alargamiento celular. Pequeñas cantidades de Ca son necesarias para la mitosis, habiéndose sugerido que las nucleoproteínas se mantienen unidas entre sí mediante puentes cálcicos; también es activador de ciertas enzimas, como la fosfolipasa, la quinasa, la trifosfatasa de la adenosina y otras. Interviene en la circulación de los azúcares, en el metabolismo del nitrógeno (reducción de nitratos), en la neutralización de los ácidos orgánicos y en la reducción de la permeabilidad celular.

Igualmente juega papel importante en la selectividad de la absorción iónica. Por su parte, la ausencia de una cantidad adecuada de Ca en los tubérculos ha sido asociada con una alta incidencia de defectos fisiológicos, tales como corazón hueco, centro marrón y manchas internas marrones (Björn *et al.* 2006; Ozgen *et al.* 2006). Trabajos empleando el radioisótopo <sup>45</sup>Ca indicaron que colocando el fertilizante en el tubérculo y en el área estolonífera durante la época de crecimiento mostraron un incremento del contenido del calcio dentro del tubérculo y que el elemento es transportado al tubérculo vía xilema con el agua y las raíces en el estolón asociado con el suministro de agua y calcio al tubérculo en desarrollo. Por otra parte, la demanda transpiracional es determinante en la distribución del calcio dentro de la planta (Busse & Palta, 2006; Larcher, 2003). Además, una adecuada relación del calcio con otros elementos, como potasio, magnesio y azufre es importante dentro de la planta (Malavolta, 1994; Bello & Blanco, 2001).

Con relación a los fertilizantes portadores de Ca son varios los materiales para corregir deficiencias de este nutrimento. En general, las enmiendas para corregir la acidez del suelo, tales como los carbonatos y los

óxidos e hidróxidos de calcio pueden aportar cantidades elevadas del elemento y, por un aumento del calcio intercambiable, suministrar a la planta el nutrimento. Además, el sulfato de calcio puede ser una fuente de azufre y calcio; igualmente fuentes altamente solubles en agua, tales como el cloruro y el nitrato de calcio son altamente ventajosos, aplicando el fertilizante en solución (Björn *et al.* 2006; Espinosa, 2003).

El boro (B) es uno de los ocho micronutrientes esenciales para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. En el suelo, se encuentra bajo cuatro formas (Alarcón, 2002; Golberg, 1997):

- Formando parte de minerales silicatados de muy baja disponibilidad para las plantas.
- Presente en la solución y del suelo como ácido bórico no disociado o como anión borato,  $B(OH)_4^-$ .
- Adsorbido por las arcillas e hidróxidos de hierro y aluminio a valores de pH, especialmente aleolinos.
- Ligado a la materia orgánica de la que es liberado progresivamente durante el proceso de mineralización o ésta por acción microbiana, constituyéndose así como la principal fuente de los suelos a las plantas.

En general, suelos con bajo contenido de materia orgánica o baja tasa de mineralización, pueden presentar deficiencias de B. La disponibilidad del micronutriente es afectada tanto por los factores que favorecen su fijación como por aquellos relacionados con el clima, material parental, interacciones con otros elementos, materia orgánica y textura del suelo. El pH es uno de los factores que más influye en la disponibilidad del boro para las plantas, siendo mínima con un pH inferior a cinco y máximo entre 5 y 7 y 9 a 10. El encalado disminuye la disponibilidad por fijación sobre los hidróxidos de hierro y de aluminio recién formados. Las arcillas con estructura micácea, como la vermiculita, tienen mayor habilidad de fijación que las esmectitas. Por su parte, arcilla amorfas o no cristalinas, como el alofano y la imogolita presentes en suelos derivados de cenizas volcánicas, tienen elevada capacidad de fijación de aniones, como boratos, fosfatos y molibdatos (Rojas, 1988).

El B es absorbido por las plantas principalmente como ácido bórico no disociado o como anión borato  $B(OH)_4^-$ . Su transporte a la parte aérea es por flujo de transpiración

a través del xilema (Marschner, 2003). El nutrimento es móvil en el floema en aquellas especies vegetales que utilizan polioles como metabolito fotosintético primario (Brown & Barry, citados por Ávila & Ruiz, 2003), tales como maní, nectarines, almendro, manzano, melocotón, níspero, olivo, pera, uva, ciruela y apio.

Para cultivos, como la papa, en caso de hacer aplicaciones foliares es recomendable efectuar varias que cubran las hojas especialmente hasta la floración para asegurar la síntesis de fotosintetatos, en los cuales el B es necesario. Se anota que en la mayoría de los suelos dedicados al cultivo de papa en Colombia existe deficiencia de B, por lo cual, se hace necesario la aplicación del nutrimento bien sea foliar o edáfica (Barrera, 2000; Lora *et al.* 2006; Lora *et al.* 2004). Son varias las funciones propuestas para el boro a saber: transporte de azúcar, síntesis de la pared celular, lignificación, estructura de la pared celular, metabolismo de los carbohidratos, metabolismo del RNA, respiración, ácido indolacético, membranas, metabolismo de fenoles, germinación del polen, crecimiento de tubo polínico y síntesis de proteínas (Marschner, 2003; Epstein & Bloom, 2005). Para la determinación de B disponible en suelos, se han evaluado varias metodologías, incluyendo los síntomas foliares de deficiencia y de toxicidad (Vargas *et al.* 2002; Lucho *et al.* 2005). Los extractantes de B disponibles más empleados son HCl 0,05M,  $Ca(H_2PO_4)_2$  0,08M y agua caliente. Además, la determinación colorimétrica del complejo con azometina-H (Lora, 1998). Es importante tener en cuenta que el límite de boro en el medio de crecimiento entre toxicidad y deficiencia es muy estrecho, por lo cual, este nutrimento debe ser manejado con cuidado (Lora, 2007).

Se debe considerar que el comportamiento de la papa a la aplicación de boro puede depender de la variedad, tal como ha sido soportado en *Solanum tuberosum* (Abella & Gerenas, 1984). También, se ha encontrado un efecto significativo de la aplicación de B sobre la materia seca del tubérculo en papa criolla (Ávila & Ruiz, 2003).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de aplicaciones edáficas de Ca y B y su interacción en rendimiento y en calidad de tubérculos en papa criolla (*Solanum phureja*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el municipio de Funza, vereda El Cacique, con una precipitación anual de 800mm, temperatura de 15°C, ubicado a 2620msnm, en un suelo derivado de cenizas volcánicas y clasificado taxonómicamente como Typic Dystrandept, medial isomésico. Con base en el análisis del suelo, se aplicó N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O como grado 13-26-6, hierro y cobre.

La fuente de calcio empleada fue nitrato de calcio, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> con un 24% de calcio y 17,5% de nitrógeno, la de boro fue bórax del 10% de boro. Para nivelar el nitrógeno, se utilizó urea del 46% de nitrógeno. El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar en arreglo factorial 4 x 4 con dos factores (B y Ca) y cuatro niveles. Se hizo análisis de varianza y, donde se observó diferencia significativa, se empleó el método de comparaciones múltiples de Duncan al 0,05%. Cada tratamiento fue repetido tres veces para un total de 16 tratamientos y 48 unidades experimentales constituidas

por cuatro surcos de 5m de largo y 1m entre surcos, para un área de 20m<sup>2</sup>. Los tratamientos fueron: 0-0,5-1-1,5kg-B/ha y 0-18-36-54kg-Ca/ha, tal como aparece en la tabla 1. Por sitio, se colocaron dos semillas de papa variedad yema de huevo a 40cm entre cada uno de ellos. Los fertilizantes, se aplicaron al momento de la siembra; se realizó un control de arvenses y fitosanitario al igual que el aporque, el cual estimula la estolonización que producirá los tubérculos, ayuda a la conservación de la humedad y a la protección contra plagas y enfermedades y, evita el verdeamiento de los tubérculos.

Se cosecharon por unidad experimental los dos surcos centrales y se llevó a t/ha. Se tomó una muestra de 2kg por parcela para la clasificación por tamaños: extra, primera, segunda y tercera (FEDEPAPA, 2005). En el tamaño primera, se tomó la densidad aparente, el peso fresco, el peso seco y la humedad. Para el análisis económico, se empleó la metodología empleada por Pérez & Riaño (2001).

Tabla 1. Tratamientos empleados.

TRATAMIENTO No.	B kg/ha	Ca kg/ha
T1	0	0
T2	0	18
T3	0	36
T4	0	54
T5	0,5	0
T6	0,5	18
T7	0,5	36
T8	0,5	54
T9	1	0
T10	1	18
T11	1	36
T12	1	54
T13	1,5	0
T14	1,5	18
T15	1,5	36
T16	1,5	54

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Rendimiento total:** Los datos de la tabla 2 muestran efecto significativo de los tratamientos sobre la producción total de tubérculos. De acuerdo al coeficiente de determinación  $R^2$ , el 80% de la respuesta encontrada es debido a las aplicaciones de calcio y de boro. Por su parte, el coeficiente de variación de 12,45% está indicando una buena homogeneidad en las unidades experimentales. Las más bajas producciones, se presentaron con las interacciones Ca:B, de acuerdo a los tratamientos 12 y 7. Igualmente hubo efecto negativo con relación al testigo en los tratamientos 6-8-16-14-12-7, sugiriendo la no efectividad de la combinación de los dos nutrimentos bajo estudio. Posiblemente, el contenido de 0,29mg/kg de B disponible, considerado medio a bajo, junto con el derivado de la mineralización de la materia orgánica del suelo es un nivel elevado para papa criolla. Es importante, por consiguiente,

determinar los niveles críticos de boro en papa criolla en suelo y foliar en varias condiciones agroecológicas y con diferentes variedades, tal como lo reporta Lora (2007), para evitar inducir toxicidad del nutrimento, cuyas consecuencias para la planta pueden ser más graves que una deficiencia. En la tabla 3, por medio de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan de los tratamientos con el testigo, se observa que éste fue estadísticamente superior a los tratamientos 14-12-7, señalando un efecto negativo de la aplicación de boro con las dosis de calcio, posiblemente por exceso de boro en el suelo, el cual indujo toxicidad para la planta. El Boro con el Ca forma el tetraborato de calcio, moderadamente soluble en agua caliente y soluble en ácidos diluidos. Los tratamientos 10-4-2 fueron significativamente superiores al testigo, mostrando que la mayor respuesta fue al Ca y que es importante determinar la relación Ca:B adecuada en el suelo y en la planta bajo diferentes ambientes agroecológicos.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre el rendimientos total de tubérculos.

TRATAMIENTOS (kg/ha) B y Ca.	PRODUCCIÓN * t/ha
T4 (0-54)	30,2a
T2 (0-18)	29,7ab
T10 (1-18)	29,5ab
T13 (1,5-0)	26,5abc
T11(1-36)	25,3abcd
T9 (1-0)	24,8abcd
T3 (0-36)	24,3bcd
T5 (0,5-0)	24,0cd
T15 (1,5-36)	24,0cd
T1 (0-0)	23,8cd
T6 (0,5-18)	23,5cd
T8 (0,5-54)	22,0cde
T16 (1,5-54)	20,3de
T14 (1,5-18)	17,7ef
T12 (1-54)	16,8f
T7 (0,5-36)	12,8f

$R^2 = 0,8013$ ; C.V. = 12,45

\* Cifras con las mismas letras no difieren estadísticamente, (Duncan 0,05).

Tabla 3. Prueba de comparaciones múltiples de Duncan con el tratamiento testigo.

Tatamientos	Duncan 0,5% t/ha	Diferencia de rendimientos t/ha	Diferencia significativa
T16 - T1	5,81	3,50	NO
T15 - T1	5,80	0,20	NO
T14 - T1	5,79	6,10	SI**
T13 - T1	5,77	2,70	NO
T12 - T1	5,76	7,70	SI**
T11 - T1	5,75	1,50	NO
T10 - T1	5,70	5,71	SI**
T9 - T1	5,70	1,10	NO
T8 - T1	5,66	1,80	NO
T7 - T1	5,62	11,00	SI**
T6 - T1	5,56	0,30	NO
T5 - T1	5,49	0,20	NO
T4 - T1	5,27	6,40	SI**
T3 - T1	5,14	0,50	NO
T2 - T1	4,88	5,90	SI**

NO: no hay diferencia significativa

\*\*diferencia altamente significativa.

**Rendimiento por tamaño del tubérculo:** En la tabla 4, se puede observar la producción promedio de cada tratamiento por categorías y su participación porcentual, bajo las aplicaciones edáficas de calcio y boro. Aun cuando estadísticamente no hubo efecto significativo es importante considerar que la menor producción se presentó en la calidad tercera, la cual tiene baja aceptación en el mercado nacional.

Por su parte, la calidad primera se presentó en la mayor proporción en los tratamientos, seguido por las calidades segunda, extra y tercera. Posiblemente, si se desea obtener mayor participación de los tamaños primera y extra, se debe investigar en varias condiciones agroecológicas y con diferentes variedades de papa criolla (Zapata *et al.* 2006).

**Efectos combinados de la aplicación de Ca y B sobre la densidad y la humedad del tamaño primera:** La densidad y humedad de los tubérculos son características importantes, pues están articuladas al contenido de almidón y materia seca. En la tabla 4, aparece la densidad

y la humedad de los tubérculos tamaño primera que fue el de mayor representación en el rendimiento total. El análisis de tendencia central para densidad indica que no hubo efecto de los tratamientos, ya que el coeficiente de variación fue solo de 3,68% (Solannas *et al.* 2005).

Las menores densidades, se presentan en los tratamientos 1-2-3-4, donde la dosis de boro es cero y los niveles de calcio se van incrementando. Por su parte, a medida que la dosis de calcio aumenta en presencia de 0,5kg-B/ha, la densidad aumenta hasta un valor de 1,188, mostrando un efecto positivo de esta dosis de boro en presencia de las dosis variables de calcio.

Es muy posible que la densidad de los tubérculos esté muy ligada a la variedad que se utilice. No se presentaron diferencias en el contenido de humedad de los tubérculos, como lo indica el coeficiente de variabilidad de solo 6,70%. En general es conveniente que la humedad sea baja para que la materia seca sea alta y, por tanto, mayor el peso del tubérculo (Epstein & Bloom, 2005). Posiblemente, como lo consideran también Abella &

Tabla 4. Efecto de los tratamientos en la producción y en la calidad de tubérculos.

Tratamiento No.	extra t/ha	primera t/ha	segunda t/ha	tercera t/ha	Densidad	Humedad (%)
T1	1,97a	14,18a	7,51a	0,18a	1.084	85
T2	4,28a	16,26a	8,63a	0,5a	1.071	83
T3	3,51a	14,61a	5,97a	0,24a	1.093	82
T4	1,66a	18,99a	952a	0,00a	1.075	83
T5	3,77a	16,24a	3,98a	0,00a	1.088	83
T6	2,09a	15,30a	5,98a	0,14a	1.157	84
T7	1,52a	8,62a	2,61a	0,08a	1.188	84
T8	1,69a	13,88a	6,38a	0,04a	1.188	81
T9	3,11a	17,34a	4,31a	0,07a	1.099	83
T10	5,39a	17,54a	6,58a	0,00a	1.124	84
T11	1,19a	17,67a	6,21a	0,22a	1.094	83
T12	0,98a	11,26a	4,50a	0,10a	1.129	82
T13	2,56a	17,64a	5,87a	0,43	1.166	83
T14	3,52a	10,22a	3,77a	0,15a	1.089	83
T15	2,32a	15,11a	6,46a	0,11a	1.079	82
T16	2,03a	13,93a	4,23a	0,15a	1.147	82

Cifras con las mismas letras no difieren estadísticamente, (Duncan 0,05).

Densidad y Humedad:

Media : 1.117 : 83  
 Desviación Standard : 0,041 : 1.00015  
 C.V. : 3,68% : 6,70 %

Gerenas (1984), al igual que la densidad, la humedad puede estar ligada a la variedad y a las condiciones agroecológicas. Estos autores encontraron efecto varietal al realizar una investigación con tres variedades de papa de año (*Solanum tuberosum*).

**Análisis económico:** Se consideró el precio de venta de la papa y el valor de los fertilizantes empelados (calcio y boro), según la metodología utilizada por Pérez & Riaño (2001). Los parámetros utilizados fueron:

- Rendimiento total: sumatoria extra, primera y segunda
- Ingreso total: rendimiento por tamaño y su valor
- Ingreso marginal: valor del rendimiento marginal
- Relación beneficio-costo: ingreso marginal sobre costo variable
- Valor kg extra+primera : \$340,00

- Valor kg segunda : \$300,00
- Valor kg de borax : \$3.500,00
- Valor kg de nitrato y calcio : \$1.205,00

La tabla 5, muestra que los tratamientos con mayor relación beneficio:costo son el T2, donde por cada peso invertido en fertilizando (18kg-Ca/ha) se ganan \$19,23, continuando con los tratamientos T13 – T10 – T9 – T5 – T4. Por su parte hubo tratamientos donde se presentó pérdida como los T6–T7–T8–T12–T14–T16, por lo cual no son recomendables económicamente. El mayor ingreso marginal, se obtuvo con los tratamientos T4–T5–T9–T10–T11–T13 y T-15; posiblemente el T4 es uno de los más atractivos para el agricultor. El importante que el agricultor haga este sencillo análisis económico para que así pueda determinar si la explotación agrícola es o no rentable.

Tabla 5. Análisis económico.

Tratamiento No.	Producción total (t/ha)	Valor total producción	Total costos variables	* Ingreso marginal(\$)	*Relación Beneficio: Costo
T1	23,60	\$7,744,000	----	-----	0
T2	29,20	\$9,572,600	\$90,375	+\$1,828,600	+20,23
T3	24,10	\$7,951,800	\$180,750	+\$207,800	+1,15
T4	30,10	\$9,877,000	\$271,125	+\$2,133,000	+7,87
T5	24,00	\$7,997,400	\$17,500	+\$253,400	+14,48
T6	23,30	\$7,706,600	\$107,875	-\$37,400	-0,35
T7	12,70	\$4,230,600	\$198,250	-\$3,513,400	-17,72
T8	21,60	\$7,207,800	\$288,625	-\$536,200	-1,86
T9	24,70	\$8,246,000	\$35,000	+\$502,000	+14,34
T10	29,50	\$9,770,200	\$125,375	+\$2,026,200	+16,16
T11	25,00	\$8,275,400	\$215,750	+\$531,400	2,46
T12	16,70	\$5,511,600	\$306,125	-\$2,232,400	-7,29
T13	26,10	\$8,625,000	\$52,500	+\$885,000	+16,86
T14	16,50	\$5,802,600	\$142,875	-\$1,941,400	-13,59
T15	23,90	\$7,864,200	\$233,250	+\$120,200	+0,52
T16	20,10	\$6,695,400	\$323,625	-\$1,048,600	-3,24

- \* Ingreso marginal y relación beneficio: positivos
- - Ingreso marginal y relación beneficio: negativos

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de la presente investigación, se puede concluir:

No hubo efecto de los tratamientos en la densidad y en la humedad de los tubérculos tamaño primera, debido posiblemente a que estos parámetros están ligados a la variedad y a las condiciones agroecológicas, tal como se ha encontrado en *S. tuberosum*.

En el rendimiento total de los tubérculos hubo efecto significativo de los tratamientos, especialmente con las aplicaciones de calcio.

Aun cuando no hubo efecto de los tratamientos en el tamaño de tubérculos, la mayor producción fue tamaño primera de buena aceptación en el mercado nacional.

Los mayores ingresos marginales, se obtuvieron con las aplicaciones de calcio y éste junto con algunas de las dosis de boro, lo cual es importante desde el punto de vista de la rentabilidad para el agricultor.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABELLA, J.; GERENAS, E. 1984. Respuesta varietal de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la aplicación de boro en un Andept de páramo de Cundinamarca. Trabajo de Grado, Ing. Agrónomo. U.N. Bogotá. 157p.
- ALARCÓN, V. 2002. El boro como nutriente esencial. Aspectos fisiológicos y dinámicos en el suelo y planta. Depto. Producción Agraria. Universidad de Cartigana, Chile.

- ÁVILA, F.; RUIZ, R. 2003. Efecto de la aplicación foliar y al suelo del boro sobre la papa criolla en un Andisol de la Calera, Cundinamarca. Trabajo de grado, Ing. Agronómico. U.D.C.A. Bogotá. 114 p.
- BARRERA, L. 2000. Boro: Un micronutriente importante en el cultivo de la papa en Cundinamarca y Boyacá. En: Papas Colombianas. I.C.A. p.90-95.
- BELLO, J.; G. BLANCO. 2001. Evaluación del sulfato de calcio como fuente de azufre y calcio en papa criolla en un suelo Typic Hapludalfs de Cundinamarca. Tesis Ing. Agr. U.D.C.A. Bogotá. 140p.
- BJÖRN, K.; PALTA, J.; CRUMP, P. 2006. Enhancing tuber calcium, concentration may reduce incidence of black spot bruise Injury in potatoes. Hort Science 41(5):1213-1221.
- BÜSSE, J.; PALTA, J. 2006. Investigating the in vivo calcium transport path to developing potato tuber using  $^{45}\text{Ca}$ : a new concept in potato tuber calcium nutrition. *Physiol. Plantarum*. 128(2):313-323.
- COPETE, L.; GARZON, N. 1992. Eficiencia agronómica de tres fuentes de azufre en cuatro andisoles bajo condiciones de casa de malla. Santafé de Bogotá. U. Nacional, p.4-24.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. 2005. Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. Senaver Assoc. Inc. Publ., Sunderland, Massachusetts, U.S.A.
- ESPINOSA, J. 2003. Encalado de Suelos Tropicales. En: Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo. Soc. Col. Cienc. Suelos, Bogotá D.C. p.75-84.
- FEDEPAPA. 2005. Guía para el cultivo de la papa. Bogotá, 229p.
- GOLBERG, S. 1997. Reactions of boron with soils. *Plant & Soils*. 193:35-48.
- LARCHER, W. 2003. The utilization of mineral elements. En: *Physiological Plant Ecology*. 4<sup>th</sup> edition. Berlin, Alemania. p.185-229.
- LORA, R. 1998. Análisis de suelos y material vegetal para micronutrientes. En: Silva Mojica, F. (ed). Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Soc. Col. de la Cienc. Suelo. Santafé de Bogotá. p.47-56.
- LORA, R. 2001. Los elementos secundarios en el cultivo de papa. Soc. Col. Cienc. Suelo. Bogotá. p.114-124
- LORA, R. 2007. Contaminación por elementos menores y posibles soluciones. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 10(1):5-20.
- LORA, R.; MONTAÑEZ, I.; BERNAL, H.; GÓMEZ, R. 2006. Evaluación de la aplicación de Fe-Ca-Mn-Zn-B y Mo en papa criolla en un Pachic Melanudands de Cundinamarca. *Suelos Ecuat.* 36(1):5-12.
- LORA, R., PÁEZ, D.; GUZMÁN, M. 2004. Respuesta de la papa criolla a fuentes a dosis de fósforo en Cundinamarca, Colombia. *Suelos Ecuat.* 4 1:1-8.
- LUCHO, C.; PRIETO F.; DEL ROZO, M. RODRÍGUEZ, R.; PAGGI, H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with water in Central México. *Agric. Ecos. Enviromen.* 108:57-71.
- MALAVOLTA, E. 1994. Diagnóstico foliar. En: Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y Control. Soc. Col. de la Ciencia del Suelos. Santafé de Bogotá. p.57-98.
- MARSCHNER, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, S. Diego, California. 889p.
- OZGEN, S.; KARLSSON, B.H.; PALTA, J.P. 2006. Responses of potatoes to supplemental calcium application under field conditions. *Am. J. Potatoe Res:* 83:195-206.
- PÉREZ, Y; RIAÑO. A. 2001. Factibilidad económica y financiera de un cultivo de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) con aplicaciones de NPK en el Municipio de Cogua, Cundinamarca. Trabajo de grado Ing. Agr. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá D.C. 89p.

- ROJAS, A. 1988. Mineralogical influences on boron adsorption in soils from Colombia. Thesis PhD in Soil. U. California, Riverside. 118p.
- SOLANNAS, A.; SALAFRANCA, L; FAUQUET J.; NUÑEZ, I.. 2005. Estadística descriptiva de las ciencias del comportamiento. Thomson Ed.. Madrid, España. 619p.
- VARGAS, C.; BALLESTEROS, I; TRIANA, P. 2002. Evaluación de extractantes para la determinación de boro disponible en suelos. Suelos Ecuat.32:84-89.
- ZAPATA, J.; NAVAS, G.; TAMAYO, A.; DÍAZ, C. 2006. Manejo agronómica de la papa criolla para el procesamiento industrial. CORPOICA, C.I. La Selva, Rionegro, Antioquia. 44p.

Recibido: agosto 6 de 2007

Aceptado: octubre 8 de 2007

# ENCALAMIENTO DE UN SUELO SULFATADO ÁCIDO DE CÓRDOBA Y SU EFECTO SOBRE EL DESARROLLO DE TRES GENOTIPOS DE MAÍZ EN INVERNADERO

## LIMING OF ACID SULPHATE SOILS OF CÓRDOBA AND ITS EFFECT ON DEVELOPMENT OF THREE MAIZE CULTIVARS IN GREENHOUSE

Enrique Combatt Caballero<sup>1</sup>

Alfredo Jarma Orozco<sup>1</sup>

Liliana Atencio Solano<sup>2</sup>

### RESUMEN

El ensayo se realizó en invernadero en la Universidad de Córdoba, con el fin de evaluar el efecto del encalamiento sobre el desarrollo de tres genotipos de maíz (*Zea mays*) y sobre las propiedades químicas de un suelo sulfatado ácido (ssa) del Valle del Sinú. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, donde el factor A correspondió a los genotipos comerciales (Corpoica H-108, ICA V-109, SV-1127) y el B a los niveles de enmienda de cal agrícola (0, 3, 6 y 9t/ha). Los resultados indicaron que al pasar de 6 a 9 toneladas de cal por hectárea, SV 1127 registró incrementos importantes de biomasa de raíz por planta (5g) y altura de planta (25cm), en tanto que el área foliar fue significativamente superior en estos dos tratamientos (más de 450 cm<sup>2</sup>), respecto al resto. Estas respuestas no fueron tan evidentes para los otros genotipos, que presentarían un comportamiento más estable en este tipo de suelos. Las respuestas observadas permitieron concluir que la práctica de encalamiento fue eficiente para reducir los niveles de acidez y mejorar la relación Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> y bases intercambiables y acidez del suelo. Así mismo, los resultados permitieron concluir que SV-

1127 presentaría mejor adaptación cuando la acidez del suelo es neutralizada, en tanto que Corpoica H 108 sería un genotipo más estable al ser cultivado en este tipo de suelos, ya sean encalados o no.

Palabras clave: Acidez del suelo, aluminio, crecimiento y desarrollo, contenido nutricional, maíz.

### SUMMARY

The research was carried out under greenhouse conditions of the Universidad de Córdoba, with the purpose of evaluating the effect of the lime level on the development of three corn genotypes (*Zea mays*) and on the chemical properties of an acid sulphate soil (ass) of the river Sinú valley. A complete randomized experimental design was used with factorial arrangement, where factor A corresponded the commercial corn genotypes (Corpoica H-108, ICA V-109, SV-1127) and B to the applied lime levels (0, 3, 6 and 9t/ha). The results indicated that when passing from 6 to 9 tons of lime per hectare, SV 1127 registered important increases of the root biomass per plant (5g) and of the plant height (25cm), also the leaf area was significantly superior in these two treatments (more than 450 cm<sup>2</sup>), compared to others. These responses were not so evident for the other genotypes that would present a more stable behavior in this soil type. The results observed allowed to conclude that liming was efficient to reduce the acidity levels and to improve the relationship Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup>,

<sup>1</sup> ( I.A. M.Sc. Facultad Ciencias Agrícolas Universidad de Córdoba. [ecombatt@sinu.unicordoba.edu.co](mailto:ecombatt@sinu.unicordoba.edu.co)

<sup>2</sup> I.A. Asistente Técnico Particular. [lilo10\\_6@hotmail.com](mailto:lilo10_6@hotmail.com)

the interchangeable bases and the soil acidity. Likewise, the results allowed to conclude that SV-1127 would present an enhanced adaptation when the soil acidity is neutralized, mean while Corpoica H 108, would be a more stable genotype when cultivated in this soil type, limed or not.

Key words: Acid soil, aluminum, growth and development, nutritional content, maize.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos sulfatados ácidos (ssa), se presentan en zonas donde se encuentran depósitos de materiales parentales ricos en piritita y se ubican generalmente en áreas planas inundadas y frecuentemente drenadas para la agricultura o la construcción. Cuando se exponen los sulfuros al aire tiene lugar la oxidación que origina finalmente una alta acidez que excede la capacidad de neutralización de los mismos. En algunos casos disuelve también los metales pesados que pueden ser tóxicos para la mayoría de las plantas (Dent, 1986; Graham & Larsen, 2000; Sammut, 2002).

Se estima que más de 200 millones hectáreas en el mundo se encuentran cubiertas por turbas, las cuales pueden originar ssa; de éstas, alrededor de 32 millones están en el trópico y un poco más del 80% están formadas en tierras costeras bajas (Fitzpatrick, 1996). Estudios realizados en estas zonas por Dent & Dawson (2000), mediante sistemas informáticos, estiman un total de 24 millones de hectáreas de ssa en el mundo.

En Colombia no hay una cuantificación detallada del área cubierta con ssa, pero ocurren con relativa frecuencia en los departamentos de Sucre, Bolívar, Boyacá, Valle del Cauca y Córdoba. En este último departamento existen entre 10.000 y 20.000 ha, en las cuales el drenaje y el secamiento de las zonas de bacines de la llanura aluvial dirige los procesos hacia la acidificación y la formación de ssa interiores (Combatt, 2004).

Los ssa reducen considerablemente la productividad agrícola, lo que se ve reflejado en el estrés fisiológico de los cultivos, debido a que la acidez soluble, entre otros efectos, desciende el pH a valores menores de 4, de tal forma que las altas concentraciones de iones hidrógeno en la solución del suelo, promueven el ataque

a las estructuras cristalinas de las arcillas, lo que permite que se liberen iones de aluminio a la solución (Sammut, 2002).

En plantas susceptibles, la acumulación de  $Al^{+3}$  es más intensa en las raíces. Las lesiones radiculares provocadas por la toxicidad de ese elemento causan desorganización de las estructuras y de las funciones de las membranas, parálisis de la síntesis de ADN y de la mitosis, reducción del elongamiento celular al ligarse con pectinas, disturbios en la asimilación y en el metabolismo mineral de los ápices de las raíces y disminución de la respiración radical (Pereira *et al.* 2007; Mossor, 2001).

Diversos autores han indicado que la acidez se puede corregir mediante el encalado, neutralizando los iones hidrógeno de la solución del suelo con los iones hidroxilo que se producen al aplicar los materiales encalantes (Ward *et al.* 2002; Guimaraes *et al.* 2000). En el caso del carbonato de calcio, se disuelve a medida que los iones hidroxilo se remueven de la solución del suelo, produciendo iones calcio y bicarbonato. Otros investigadores, como Delhaize & Ryan (1995) y Kochian (1995), indican que las estrategias para aumentar la producción en suelos ácidos incluyen, además del uso de plantas tolerantes a la acidez, la aplicación de cal, ya que la aplicación de calcio o de carbonato de calcio reduce el estrés causado por el aluminio, al ser neutralizado mediante la precipitación o la insolubilización con los hidroxilos producidos en la disociación del carbonato de calcio y el agua. No obstante a lo anterior, Sierra *et al.* (2003) mencionan que la práctica del encalamiento es a menudo costosa y poco eficiente en muchas partes de los trópicos y Mathew *et al.* (2001) recomiendan realizar lavados antes de encalar, para posteriormente, fertilizar.

Por otra parte, el desarrollo de muchos genotipos de maíz tolerantes al aluminio ha contribuido grandemente al incremento de la productividad de su biomasa en suelos ácidos. Los mecanismos de esta adaptación, aunque parcialmente desconocidos, pueden ser explicados de manera general por la exclusión del aluminio por la raíz vía citratos (Piñeros *et al.* 2005) y/o por la inactivación interna de éste. En este sentido, diversos autores han concluido que aunque los mecanismos de exclusión del aluminio en algunas especies pueden no estar completamente identificados es conocido que muchas

de ellas tienen mecanismos eficientes para la exudación de este ión a través de ácidos orgánicos por las raíces (Watanabe & Osaki, 2002; Taylor *et al.* 2000).

Considerando lo anterior y en razón a las áreas crecientes de ssa en el bajo Sinú (Córdoba), se planteó la investigación bajo condiciones de invernadero, con el objetivo de evaluar el efecto del encalamiento sobre las propiedades químicas de este tipo de suelos y sobre el crecimiento y el desarrollo de tres genotipos comerciales de maíz (*Zea mays* L.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un invernadero de la Universidad de Córdoba, (Montería – Colombia), ubicada a 8° 75' de latitud norte y 75° 55' de longitud oeste, a una altura de 15msnm., HR del 85% y temperatura promedio 28°C.

Se utilizó un suelo con régimen de temperatura Isohipertérmico clasificado como *Typic Sulfaquepts*, con una pendiente del 1- 2%, ubicado en la cubeta de decantación, drenaje externo muy lento, interno encharcado, con presencia de *sedimentos aluviales*, cuya limitante es el horizonte sulfúrico. Luego de tomar las muestras para el análisis químico inicial, el suelo se colocó en bolsas de polietileno en cantidad de 12kg por bolsa, conservando la secuencia encontrada en campo de los primeros 40cm del perfil. Con base en este volumen, se estimaron las dosis de 3, 6 y 9 toneladas de cal agrícola por hectárea en g por bolsa (432, 864 y 1296, respectivamente). Los análisis químicos del suelo, se determinaron de acuerdo a la metodología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1990).

Para el ensayo, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 4 y cuatro repeticiones, donde el factor A estuvo conformado por los genotipos (Corpoica H-108, ICA V-109 y SV-1127) y el factor B por las dosis de cal agrícola ( $\text{CaCO}_3$ ) del 90% de pureza (0, 3, 6 y 9t/ha). Después de 30 días del encalado (dde), se sembraron los genotipos de maíz. La fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, se realizó de acuerdo a los resultados del análisis químico para cada uno de estos elementos, en cantidades equivalentes por hectárea, como se relacionan a continuación: fósforo en presiembra incorporado a razón de 46kg, como fosfato diamónico; nitrógeno, como urea en dosis de 92kg y potasio, como KCl en razón de

60kg. Cada unidad experimental estuvo constituida por 10 plantas (una en cada bolsa), aplicándola un volumen de riego de 5L por bolsa cada tres días, con base en las tasas de evapotranspiración observadas en la región. Con el propósito de observar la dinámica de los elementos químicos, a los 35 y 75 días después de la siembra (65 y 105dde), nuevamente se tomaron muestras de suelo. Las variables fisiológicas masa seca de la raíz, altura de planta (cm) y área foliar ( $\text{cm}^2$ ), se tomaron mediante muestreo destructivo sobre cinco plantas por tratamiento a los 75dde.

Para el análisis estadístico de los datos, se aplicaron estudios de varianza. Cuando se presentaron interacciones, se llevaron a cabo comparaciones horizontales para cada variedad dentro de las dosis y cuando éstas no se detectaron, se realizaron pruebas de comparación de medias, según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis químico del suelo.

Inicial. Las condiciones iniciales del suelo indican que el pH es fuertemente ácido, la materia orgánica se considera como alta para la región, el azufre es excesivo y el fósforo medio. El calcio, el magnesio y el potasio presentan niveles altos (relación 27,5), en tanto que el sodio, al nivel observado, no causaría problemas. La concentración de aluminio, se puede considerar como excesiva (Cuadro 1).

65 y 105 días después de encalado. Los resultados del análisis indican que, en cualquiera de las dos épocas de evaluación, el pH del suelo muestra una tendencia de aumento en la medida que se incrementa la dosis de cal, superando los valores iniciales entre un 27 y 33% a los 65dde y entre un 27 y 43% a los 105dde. Esto estaría de acuerdo con lo reportado por Zhang *et al.* (2004), quienes afirman que el pH incrementa con el tiempo y con las dosis de cal aplicadas.

A los 65dde, la materia orgánica continúa siendo alta sin que se presente un cambio considerable en su porcentaje, lo que probablemente sea debido a la poca actividad de los microorganismos, que en esta época aún continuarían siendo escasos. Sin embargo, a los 105dde estos valores disminuyen, eventualmente, como

Cuadro 1. Caracterización química de suelos sulfatados ácidos a los 65 y 105 días después de tres niveles de encalamiento.

Tratamiento	pH	MO	S	P	Ca	Mg	K	Na	Al
	1,1	%	mg/kg		cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>				
T0	3,56	7,43	1250	47,09	6,8	10,8	0,64	0,55	2,6
<b>65 días después de encalado</b>									
T1	4,51	7,24	737,6	24,5	19	7,5	0,6	0,7	0,8
T2	4,54	8,31	622,7	24,5	18,5	5	0,8	0,6	0,7
T3	4,74	6,21	955,5	22	18,5	8	0,7	0,8	0,4
<b>105 días después de encalado</b>									
T1	4,54	6,21	890,9	23,6	17	9	0,9	0,8	0,7
T2	4,54	6,21	487,5	33,6	21,5	4	0,7	0,7	0,6
T3	5,12	5,17	1056,4	26,2	19	8,5	1	0,9	0,4

T0=Testigo absoluto sin encalar; T1, T2 y T3=Tratamientos con 3, 6 y 9 toneladas de cal por hectárea.

una consecuencia de la mineralización, ocasionada por las primeras actividades microbianas en condiciones químicamente mejores, lo que estaría acorde con lo reportado por diversos autores, quienes dicen que el encalado favorece la mineralización de la materia orgánica, ya que proporciona a los microorganismos no tolerantes a la acidez, un ambiente favorable para su desarrollo (Sadzawka & Campillo, 1993; Neale *et al.* 1997), resultando un incremento de la biomasa microbial y la respiración del suelo, al igual que la mineralización del nitrógeno por la liberación de materia orgánica poco estable en la forma de compuestos orgánicos disueltos (Tate, 2000; Fuentes *et al.* 2006).

El comportamiento del azufre sugiere que a pesar de observarse una disminución en sus niveles, en cualquiera de los dos momentos de observación, se presenta aún en concentraciones excesivas; de manera independiente al nivel de cal utilizado, los contenidos de fósforo se reducen en un 50 y 41% a los 65 y 105dde, respectivamente, considerándose estos valores como medios.

Calcio, magnesio y potasio tienen altas concentraciones intercambiables sin presentar una tendencia definida en función del tiempo y nivel de encalamiento; la relación

de estos elementos varió de 27,5 en el suelo sin encalar a alrededor de 34 en promedio para el suelo encalado; sodio, aunque registra una leve tendencia a aumentar con estas variables, sus valores no causarían problemas de toxicidad (Grupta & Abrol, 1990).

La acidez intercambiable ( $Al^{3+} + H^+$ ), se reduce significativamente tanto a los 65 como a los 105dde, con el nivel de cal aplicado, aunque lo hace de manera más fuerte al aplicar 9t de cal por hectárea. Lo anterior, se podría explicar por el efecto de la neutralización de este elemento al precipitarse como hidróxido de aluminio, concordando con estudios en los que se indica que el encalamiento presenta efectos positivos al corregir la acidez en el suelo y reducir la toxicidad por aluminio (Guimaraes *et al.* 2000).

#### Aspectos fisiológicos de la planta.

El cuadro 2 registra los cuadrados medios de las variables masa seca de raíz, altura de planta y área foliar con su respectiva significancia estadística, indicando que existe un fuerte efecto de la interacción genotipo por dosis en todas las variables fisiológicas evaluadas.

Masa seca de raíz. Al analizar los resultados de la biomasa de raíz por planta se pudo determinar que el

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para variables fisiológicas de tres genotipos de maíz y cuatro dosis de cal en ssa a los 75 dds.

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	Masa Seca Raíz g	Altura de Planta cm	Área Foliar cm <sup>2</sup>
Genotipos	2	913,640 **	1911,000 **	4408693 **
Dosis	3	533,356 **	265,5833 ns	759594 **
Genotipo x Dosis	6	155,020 **	747,6667 *	458478 *
Residuo	24	8,9522	283,0833	138252
C.V. (%)		12,4	13,45	14,71
Desvío Estándar		11,42	21,31	700,30

\* y \*\*= Significativos al 0.05 y 0.01% respectivamente de acuerdo al test de Tukey. ns = No significativo (0.05%)

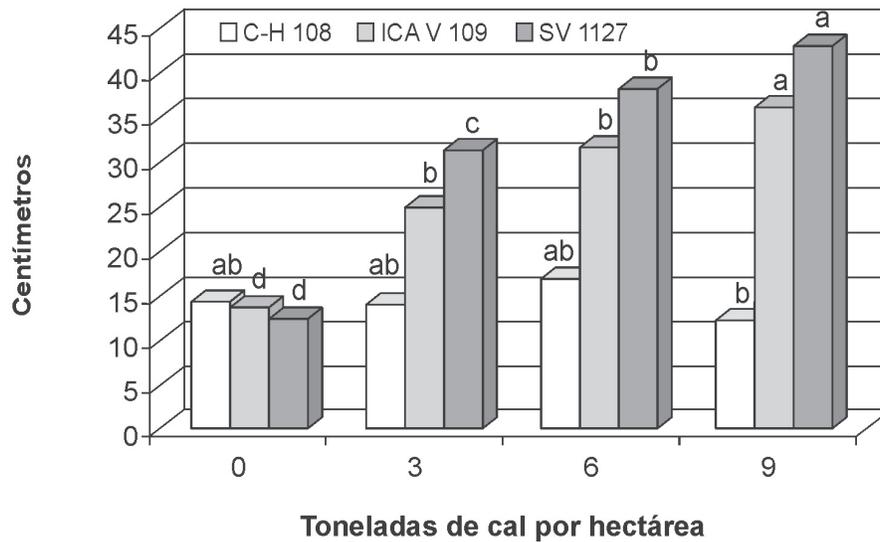
comportamiento de las variedades ante diferentes niveles de saturación de aluminio es diferencial.

La Figura 1 muestra el análisis de la interacción y evidencia la tendencia a aumentar de la masa seca de raíz conforme aumentan las dosis de cal para los genotipos SV-1127 e ICA V-109, contrario al comportamiento de Corpoica H-108 (C H 108), que tiende a mantener una biomasa de raíz relativamente estable a pesar de aumentarse las dosis de cal. El comportamiento de C H 108 explica la interacción y sugiere la capacidad de este genotipo de soportar altos niveles de acidez sin afectar el desarrollo de sus raíces, coincidiendo con lo reportado por sus creadores al indicar que la variedad puede tolerar hasta un 70% de saturación de aluminio (Corpoica, 2007).

Es posible que la formación de complejos orgánicos, como exudados radiculares para impedir la entrada del aluminio, favorezca la toma de nutrientes esenciales y no afecte significativamente la masa seca de la raíz en C H 108 a los niveles de acidez evaluados, tal lo han enunciado varios autores en otras especies (Taylor *et al.* 2000; Marschner, 2002; Casierra, 2001; Caires *et al.*, 2002). Por otra parte Horst (2005) y Jorge & Arrudat (1997) explican que existen variedades de maíz tolerantes a la acidez por su capacidad de excretar compuestos orgánicos, como el citrato, que permiten detoxificar el aluminio, permitiendo mejorar la disponibilidad del fosfato y excluir la toxicidad del ión de las células del ápice de la raíz de plantas tolerantes, que se pueden ver afectadas por el ambiente.

Por otra parte, el aumento de biomasa de raíz en SV-1127 e ICA V-109 al aumentar la neutralización de la acidez por el encalamiento, se puede deber a que la susceptibilidad de estos materiales a altos niveles de acidez (expresada en términos de biomasa de raíz), se reduce significativa y progresivamente, como consecuencia, probablemente, de una mayor disponibilidad de elementos, como el fósforo que al ser constituyente fundamental de moléculas energéticas, como el ATP y ADP, entre otras, favorece el desarrollo y la formación de las raíces, de tal manera que el sistema radical sea más vigoroso y extenso (Rincón *et al.*, 2003). Así mismo, el fósforo junto con el nitrógeno y el calcio en las células permiten que los procesos de división y de elongación se aceleren, favoreciendo la ramificación y la proliferación de las raíces. Es probable que el menor desarrollo radicular de SV 1127, observado en el tratamiento donde no se neutralizó la acidez, se pueda deber al bloqueo de la expansión celular inducida por el aluminio, más que a la división celular, tal como lo propusieran Martínez-Esteves & Ku-Gonzalez (2003) y Mossor (2001) para café.

Altura. Consecuentemente con los resultados observados para la biomasa de raíz, los genotipos mostraron una altura de planta de forma diferencial ante las dosis de cal, siendo explicada esta interacción por el comportamiento de SV 1127 que tiende a aumentar su altura de manera significativa ( $P < 0,05$ ) cuando se aplican 9t de cal/ha, sugiriendo que este material responde de manera positiva al reducirse los niveles de acidez del suelo (Figura 2). Esta situación no fue tan evidente para C H 108 e ICA V 109, los cuales no presentan una tendencia definida en



Promedios dentro de un genotipo (columnas del mismo color) que presentan la misma letra, no difieren estadísticamente a un nivel del 5% de probabilidad de acuerdo a test de Fisher-LSD.

Figura 1. Interacción dosis x genotipo para biomasa de raíz de tres genotipos de maíz bajo cuatro niveles de encalamiento de ssa en Córdoba.

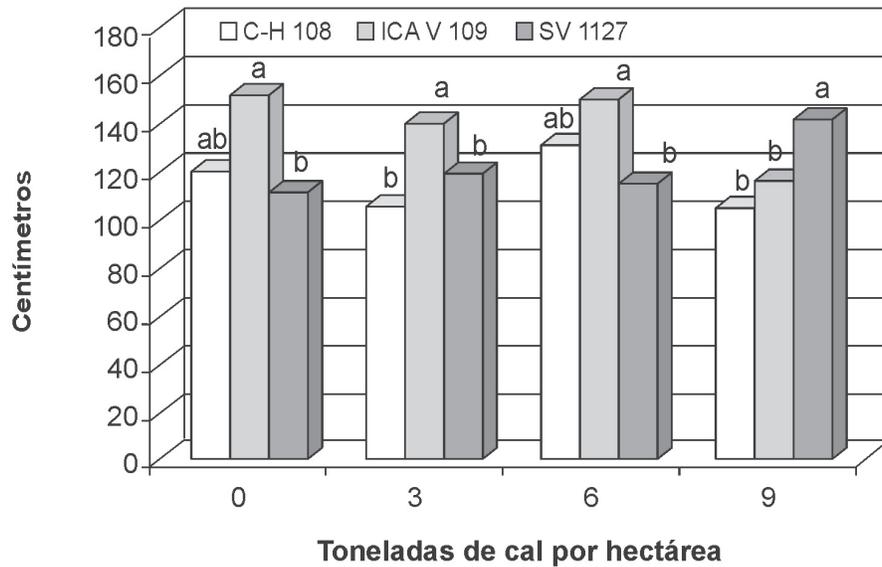
la medida que aumentan las dosis de cal y sugieren una mejor adaptación genética a las condiciones de los ssa evaluados, lo que se puede explicar por el comportamiento diferencial entre especies y genotipos dentro de una especie, respecto a sus requerimientos nutricionales y la oferta de estos en la rizosfera (Meléndez *et al.* 2006).

Los valores registrados de altura de planta en SV 1127 pueden ser una consecuencia del mayor crecimiento radicular en el ambiente donde los niveles de acidez no fueron limitantes por el efecto de la cal, al permitir una mayor área de exploración y mejorar la eficiencia en la captación de otros elementos, como se discutió en el ítem anterior y como lo afirman Meléndez *et al.* (2006), al indicar que el crecimiento de la planta está influenciado, entre otros factores, por la disponibilidad de nutrientes en el ambiente radicular. Las positivas correlaciones entre desarrollo radicular y crecimiento del dosel, así como la importancia de cuantificar el crecimiento de raíces para un mejor entendimiento del desarrollo de toda la planta, han sido confirmadas por varios investigadores en diversas especies, como papa, maíz y vid (Álvarez-Sánchez *et al.* 2007; Pire & Díez, 2006).

Es probable que la mayor altura de planta registrada por SV 1127, como consecuencia de una mayor

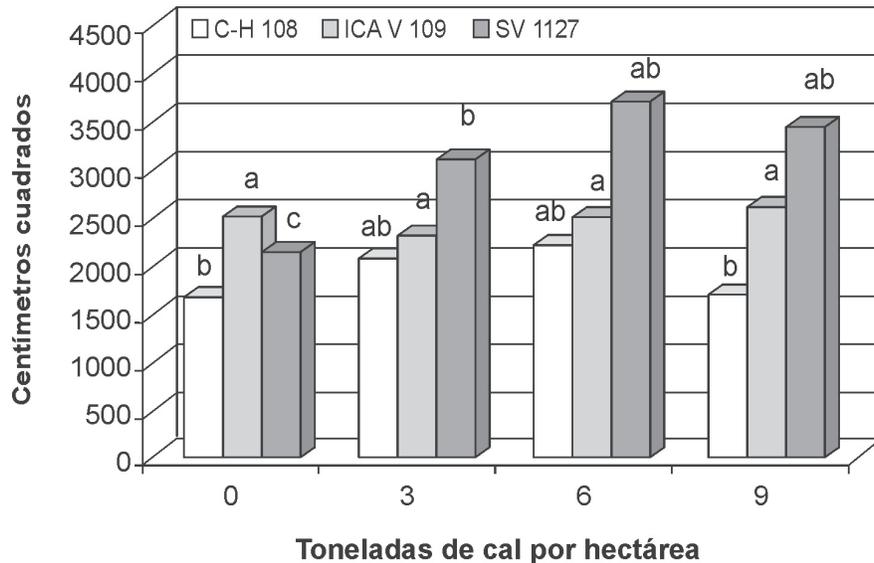
disponibilidad de nutrientes en la raíz en los tratamientos donde se neutralizó la acidez, haya obedecido a mayores tasas de producción de asimilados, las cuales podrían ser una consecuencia de una mejor eficiencia fotosintética, que sería debida a la mayor disponibilidad de elementos como el  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , elementos fundamentales en la síntesis de moléculas fotosensibles, como fitocromos y clorofilas, respectivamente, a partir de su adición a la protoporfirina IX en la ruta metabólica que se origina a partir del ácido glutámico. Esta teoría sería coincidente con lo reportado por Villar & Ortega (2003), quienes reportaron que los niveles de clorofila se ven negativamente afectados por condiciones adversas, como la deficiencia en la disponibilidad de nutrientes.

**Área foliar.** La descomposición de la interacción indicó que la misma está nuevamente explicada por el comportamiento diferencial de SV 1127, al aumentar significativamente su área foliar, cuando no tiene niveles limitantes de acidez en el suelo, tal como lo registra la Figura 3. El mayor desarrollo de la raíz y del dosel de este genotipo bajo estas condiciones, como consecuencia de una mayor disponibilidad de nutrientes y de pigmentos fotosensibles (Costa *et al.* 2001; Novoa & Villagrán, 2002), le permitiría desarrollar una mayor área para la captación de luz (Otero & Polanía, 2002), ya sea por la expansión de las hojas



Promedios dentro de un genotipo (columnas del mismo color) que presentan la misma letra, no difieren estadísticamente a un nivel del 5% de probabilidad de acuerdo a test de Fisher-LSD.

Figura 2. Interacción dosis x genotipo para altura de planta de tres genotipos de maíz bajo cuatro niveles de encalamiento de ssa en Córdoba.



Promedios dentro de un genotipo (columnas del mismo color) que presentan la misma letra, no difieren estadísticamente a un nivel del 5% de probabilidad de acuerdo a test de Fisher-LSD.

Figura 3. Interacción dosis x genotipo para área foliar por planta de tres genotipos de maíz bajo cuatro niveles de encalamiento de ssa en Córdoba.

(Fredeen *et al.* 1989) y/o por el mayor número de estas (Lynch *et al.* 1991); esto se podría traducir en mayores tasas de conversión de fotoasimilados y, finalmente, en una mayor acumulación de biomasa en toda la planta,

tal como se discutió y de manera consecuente con la altura de la planta. Sin embargo, aunque se registraron menores valores de área foliar en C H 108, consecuencia de su menor desarrollo del dosel y biomasa de raíz, los

resultados sugieren que este material tiende a mantener sus características de crecimiento estables a pesar de variar las condiciones de acidez del suelo, desarrollando un dosel acorde con su biomasa radicular.

Por otra parte, a pesar que ICA V 109 muestra mayor crecimiento radicular cuando se aplican altas dosis de cal por hectárea esta condición no se refleja en mayores tasas de crecimiento del dosel como se esperaría, lo que sugiere que este genotipo presenta una menor eficiencia en el intercambio balanceado de la raíz y el dosel (fuente – vertedero), cuando las características químicas del suelo, principalmente la acidez, son variables. Gallardo *et al.*, habían indicado en 2006, que el efecto fitotóxico del aluminio, que se manifiesta principalmente en el sistema radical, también afectaba la parte aérea, afirmación que sin duda se podría asumir como una consecuencia lógica; sin embargo, con base en el desarrollo de ICA V 109, en el presente ensayo, adicionalmente a lo anterior, se deben considerar las particularidades del genotipo y del nivel de toxicidad.

## CONCLUSIONES

Aunque la cal aplicada no neutralizó la acidez intercambiable, se observó una ligera tendencia de la reacción del suelo a aumentar en la medida que se incrementaron las dosis de cal.

El genotipo que mostró la mejor adaptación a las condiciones del suelo sulfatado ácido evaluado a nivel de invernadero fue C H 108, dada su estabilidad ante las variaciones de acidez y de disponibilidad de nutrientes. Por su parte, SV 1127 muestra mejor comportamiento fisiológico cuando la acidez no es limitante.

ICA V 109 registra buen desarrollo de raíz al neutralizar la acidez con 9t de cal/ha, pero esta característica no es reflejada en el desarrollo del dosel (altura de planta y área foliar).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Centro de Investigaciones de la Universidad de Córdoba CIUC, por el apoyo financiero para el desarrollo del trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, E.; ETCHEVERS, B.; ORTIZ, J. 2007. Localización del fertilizante fosfatado y la nutrición de plántulas. REDEPAPA – Red electrónica de la papa. Disponible desde Internet en: <http://www.redepapa.org/alvarezsanchez.pdf>. (con acceso 12/08/07).
- CAIRES, E.; FELDHAUS, I.; BARTH, G.; GARBUIO, F. 2002. Lime and gypsum application on the wheat crop. *Scientia Agricola*, 59: 357-364.
- CASIERRA, F. 2001. Fundamentos fisiológicos, bioquímicos y anatómicos del estrés por aluminio en los vegetales. *Revista COMALFI*: 28(2):8-19.
- COMBATT, E. 2004. Efecto del enclamiento y el lavado sobre algunas propiedades químicas de un suelo sulfatado ácido magnésico del Valle del Rio Sinú. Tesis M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 180p.
- CORPOICA - Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias. 2007. Híbrido de maíz amarillo Corpoica H 108®. Disponible desde Internet en: [http://www.corpoica.org.co/Libreria/verpublicacion.asp?id\\_publicacion=1377](http://www.corpoica.org.co/Libreria/verpublicacion.asp?id_publicacion=1377). (con acceso 03/08/07).
- COSTA, C.; DWYER, P.; DUTILLEU, D.; STEWART, B.; SMITH, D. 2001. Inter-relationships of applied nitrogen, spad, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *J. Plant Nutr.* 24(8):1173-1194.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P. 1995. Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants. *Plant Phys.* 107: 315-321.
- DENT, D. 1986. Acid Sulfate Soils: a baseline for research and development, ILRI Publ., No. 39, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands. 32p.
- DENT, D.; DAWSON, B. 2000. The acid test. Disponible en: <http://staffi.lboro.ac.uk/~cobrd/>. (con acceso 07/08/05).
- FITZPATRICK, R. 1996. Acid sulfate soil assessment. Disponible desde Internet en: <http://ews.spirit.net>.

- Au:8080/audit/full/30-themes-andproyets/50-coping-proyets/04methods-paper/09-fitzpatrik/acid-sulfateconditions.html. (con acceso 13/04/05).
- FREDEEN, A.; RAO, I.; TERRY, N. 1989. Influence of phosphorus nutrition on ground and carbon partitioning in *Glycine max*. *Plant Physiol.* 89:225-230.
- FUENTES, J.; BEZDICEK, D.; FLURY, M.; ALBRECHT, S. y SMITH J. 2006. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. *Soil & Tillage Research.* 88: 123–131.
- GALLARDO, F.; PINO, M.; ALVEAR, M. y BORIE, F. 2006. Efecto del aluminio en la producción de materia seca y en la actividad nitrato reductasa de dos variedades de trigo, creciendo en soluciones nutritivas. Universidad de La Frontera. Temuco. Chile. Disponible desde Internet en: <http://mingaonline.uach.cl/pdf/rcsuelo/v5n1/art05.pdf>. (con acceso 22/01/0/).
- GRAHAM, T.; LARSEN, R. 2000. Coastal geomorphology: progressing the understanding of acid sulfate soil distribution. In: *Acid sulfate soils: environmental issues, assessment and management*. Technical papers. Ahern CR Hey KM, Wating KM and Eider-shaw VJ (eds), Brisbane, p.20-22.
- GRUPTA, R. y ABROL, I. 1990. Salt affected soils: Their reclamation and management for crop production. *Advances of soil science.* 11:223-228.
- GUIMARAES, E.; SANZ, I.; RAO, I.; AMEZQUITA, M.; AMEZQUITA, E. 2000. Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina. Cali. Publicación CIAT, N° 313, p.16-17.
- HORST, W. 2005. *Agronomía: Ed. Especial Julio 2005*. Disponible desde Internet en: [http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/special\\_inco/05/article\\_2842\\_es.html](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/special_inco/05/article_2842_es.html). (acceso 18/04/06).
- I.G.A.C. 1990. *Manual de métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Subdirección agrológica. V. Edición. Bogotá: IGAC.
- JORGE, R.; ARRUDAT, P. 1997 Aluminium-induced organic acids exudation by roots of an aluminium-tolerant tropical maize. *Phytochem.* 45(4):675-681.
- KOCHIAN, L. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plant. *Ann.. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46:237-260.
- LYNCH, J.; LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. 1991. Vegetative ground of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.* 31: 380-387.
- MARSCHNER, H. 2002. *Mineral nutrition of higher plants*. London, UK. 616p.
- MARTÍNEZ-ESTÉVES, M.; KU-GONZÁLEZ, A. 2003. Changes in some characteristics between the wild and Al-tolerant coffee (*Coffea arabica* L.) cell line. *J. Inorganic Biochem.* 97:69-78.
- MATHEW, E.; PANDA, R.; NAIR, M. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Agr. Water Management* 47:191-209.
- MELÉNDEZ, L.; HERNÁNDEZ, A.; FERNÁNDEZ, S. 2006. Efecto de la fertilización foliar y edáfica sobre el crecimiento de plantas de maíz sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro* 18(2):107-114.
- MOSSOR, T. 2001. Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Bioquímica Polónica.* 48(3) 673-686.
- NOVOA, R.; VILLAGRÁN, N. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agr. Técnica* 62(1):166-171.
- NEALE, S., SHAH, Z. y ADAMS, W. 1997. Changes in microbial biomass and nitrogen turnover in acidic organic soils following liming. *Soil Biol. Biochem.* 29 : 1463–1474.
- OTERO, P.; POLANIA, F. 2002. El cultivo de maíz en Córdoba. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural PROAGRO. Fondo de Fomento Cerealista y Leguminosas de Grano Fenalce, Bogota, p. 14-16.
- PEREIRA, P.; SALES, D. Y CAMBRAIA, J. 2007. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos

- fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. *Bragantia* (Campinas). 66(1):17-25.
- PIÑEROS, M.; SHAFF, J.; MANSLANK, H.; CARVALHO, V.; KOCHIAN, L. 2005. Aluminium resistance in maize cannot be solely explained by root organic acid exudation. A comparative physiological study. *Plant Physiology* 137: 231-241.
- PIRE, R.; DÍEZ, J. 2006. El crecimiento de las raíces de vid en la condición de trópico (10° 01' N) de Tarabana, Estado Lara, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 23:453-463.
- RINCÓN, J.; GALLARDO, Y.; LEAL, M. y ROJAS, Y. 2003. Efecto de la relación calcio:fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de *Acacia mangium* (Willd). *Bioagro* 15(2):97-105.
- SADZAWKA, A.; CAMPILLO, R. 1993. Problemática de la acidez de los suelos de la IX región. Manejo del encalado y sus implicancias. *IPA Carillanca*, 12(3):8-12.
- SAMMUT, J. 2002. An introduction to acid sulfate soils NSW Agriculture. NSW. School of Geography. Disponible desde Internet en: <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/10742>. (con acceso 24/08/04).
- SIERRA, J.; NOEL, C.; DUFOUR, L.; OZIER-LAFONTAINE, H.; WELCKER, C.; DESFONTAINES, L. 2003. Mineral nutrition and growth of tropical maize as affected by soil acidity. *Plant Soil* 252:215-226.
- TATE, R. 2000. *Soil Microbiology*. En: New York. John Wiley, & Sons. 2a ed. 508 p.
- TAYLOR, G.; MCDONALD-STEPHENS, J.; HUNTER, D.; BERTSCH, P.; ELMORE, D.; RENGEL, Z.; REID, R. 2000. Direct measurement of aluminum uptake and distribution in single cells of *Chara corallina*. *Plant Physiol.* 123:987-996.
- VILLAR, D.; ORTEGA, R. 2003. Medidor de clorofila. Bases Teóricas y su aplicación para la fertilización nitrogenada en cultivos. *Rev. Agr. Forest. UC* 18(5):4-8.
- WARD, N.; SULLIVAN, L.; BUSH, R. 2002. Sulfide oxidation and acidification of acid sulfate soil materials treated with CaCO<sub>3</sub> and seawater-neutralized refinery residue. *Aust. J. Soil Res.* 40:1057-67.
- WATANABE, T.; OSAKI, M. 2002. Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review. *Com. Soil Sci. Plant Analysis.* 33:(7 y 8), 1247-1260.
- ZHANG, H.; SCHRODER, J.; KRENZER, E.; KACHURINA, O.; PAYTON, M. 2004. Yield and Quality of Winter Wheat Forage as Affected by Lime. Disponible desde Internet en: <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/fg/research/2004/lime>. (con acceso 12/08/07).

Recibido: Septiembre 26 de 2007

Aceptado: Noviembre 9 de 2007

# ANÁLISIS BROMATOLÓGICO EN FRUTOS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) AFECTADOS POR SALINIDAD POR NaCl

## BROMATOLOGICAL ANALYSIS IN TOMATO FRUITS (*Lycopersicon esculentum* Mill) AFFECTED BY NaCl SALINITY

Fánor Casierra-Posada<sup>1</sup>  
César A. Pachón<sup>2</sup>  
Roger C. Niño-Medina<sup>3</sup>

### RESUMEN

El estrés salino es uno de los problemas ambientales más serios que limita la productividad en plantas cultivadas. En sistemas de producción bajo invernadero causa problemas osmóticos a las raíces, debido al suministro de agua y de fertilizantes a través de la fertirrigación, con su consecuente acumulación de sales entorno a la zona de las raíces. El propósito de esta investigación fue la evaluación de los efectos de la salinidad por cloruro de sodio (NaCl) sobre algunas características cualitativas de los frutos en cuatro híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). El estudio, se realizó bajo invernadero en Tunja/Colombia en plántulas de los híbridos Supermagnate F1, Marimba F1, Gloria F1 y Astona F1 que crecían en materas con suelo, con capacidad para 3,5kg, se expusieron a 40 y 80mM

de NaCl. Las plantas control no fueron tratadas; ésto correspondió a valores de conductividad eléctrica de 5,2 y 8,8dS.m<sup>-1</sup>, respectivamente y 1,8dS.m<sup>-1</sup> para los controles. Las materas, se regaron dos veces por semana y se evitó el exceso de agua. Los resultados mostraron que el porcentaje de proteína, de fibra, de grasas y de carbohidratos fue más elevado en frutos de plantas tratadas con NaCl que en los de las plantas control, mientras que los contenidos de cenizas y de humedad, se redujeron con la salinidad. No se encontraron diferencias estadísticas entre híbridos ni entre la interacción híbridos x salinidad.

Palabras clave: Estrés osmótico, Supermagnate F1, Marimba F1, Gloria F1, Astona F1.

### SUMMARY

Salt stress is one of the most serious environmental problems limiting productivity of crop plants. Cropping system under greenhouse conditions causes osmotic problems to roots due to water and fertilizers supplied through fertirrigation, with a consequent salt accumulation around the root-zone. The aim of the present research was the evaluation of the effects of NaCl-salinity on some fruit quality characteristics of four tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) hybrids. The study was carried out under greenhouse conditions in Tunja/Colombia. Plantlets of hybrids Supermagnate F1, Marimba F1, Gloria F1 and Astona F1 growing on 3.5kg pots filled with soil were exposed to 40 or 8 mM NaCl. Control plants were

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo PhD., profesor asociado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Apartado aéreo 661, Tunja – Boyacá / Colombia. Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal. E-mail: Fanor.Casierra@uptc.edu.co (Autor para correspondencia)

<sup>2</sup> Ingeniero agrónomo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja – Boyacá. E-mail: capaingagro@latinmail.com

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Agronómica en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. E-mail: camilo12355@yahoo.com

untreated. These corresponded to electrical conductivities of 5.2 or 8.8 dS.m<sup>-1</sup> respectively and 1.8dS.m<sup>-1</sup> for controls. Pots were irrigated twice a week and the water excess was avoided. Results showed that percentage of protein, fibre, fat and carbohydrates were higher in fruits of NaCl-treated plants than in those of control plants, while ash and water contents were reduced by salinity. There were not statistical differences between the hybrids nor within the interaction hybrid x salinity.

Key words: Osmotic stress, Supermagnate F1, Marimba F1, Gloria F1, Astona F1.

## INTRODUCCIÓN

Alrededor de 10 millones de hectáreas de terrenos cultivables se pierden cada año en el mundo a causa de la excesiva salinidad. A lo largo del siglo XX, los científicos habían hecho grandes esfuerzos por obtener plantas de cultivo tolerantes a las sales, por los métodos tradicionales de selección, sin ningún éxito (El País, 2001). Sin embargo, en los últimos años, se reportó la obtención exitosa de plantas transgénicas de tomate que toleran la salinidad mediante un mecanismo que les permite acumular los iones tóxicos en las hojas y no en los frutos (Zhang & Blumwald, 2001).

En Colombia, los suelos susceptibles a la salinización cubren una extensión de 86.592km<sup>2</sup>, de los cuales, un área correspondiente a 90,39%, se encuentra ubicada en zonas secas. Las zonas susceptibles a la salinización abarcan gran parte de la región Caribe, de los valles interandinos (ríos Magdalena y Cauca) y de los altiplanos, donde se desarrolla actualmente y se tiene proyectado ampliar la producción agrícola intensiva del país (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2004).

El cultivo de tomate reviste gran importancia en todo el mundo (Rick, 1978) y el hecho de que en Colombia esta hortaliza haya cubierto 15.160ha en 2003, con una producción de 392.213 ton (Asohofrucol, 2003) es un índice de la relevancia del cultivo para los agricultores y consumidores colombianos.

Según el sistema de producción de tomate, el cultivo se puede establecer a campo abierto o bajo invernadero, de los cuales, el cultivo bajo cobertura ha generado problemas de salinidad en el sustrato, dado que el

riego localizado y la implementación de fertirrigación son causales de salinización de los suelos (Assouline *et al.* 2006). Se ha encontrado que el uso de aguas de riego con conductividad eléctrica (CE) de 1,7; 2,3; 3,4 y 5,0 reduce en un 0; 10; 25 y 50%, respectivamente, la producción en plantas de tomate (Ayers, 1997). Con base en la CE, la salinidad máxima tolerada por las plantas de tomate es de 2,5dS.m<sup>-1</sup>, con una reducción del orden de 9,9% por cada unidad en que se incremente la CE, por sobre ese límite (Maas & Hoffman, 1997). Sin embargo, existen reportes que el incremento unitario por sobre 1dS.m<sup>-1</sup> reduce la producción de tomate alrededor de 11% (Campos *et al.* 2006). De esta manera se reporta al tomate como un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad (Mass, 1986).

Bajo condiciones normales de cultivo, los frutos de tomate contienen en promedio 94% de agua, 1% de proteína cruda y 0,6% de minerales, expresados como cenizas (Herrmann, 2001). Sin embargo, estos contenidos se modifican si las plantas se ven expuestas a condiciones de estrés osmótico (Adams, 1991).

Existen algunos reportes en los que se indica que el tomate rojo, al igual que muchos otros cultivos hortícolas, tienen un alto requerimiento de potasio en los frutos, para lograr alta calidad (Adams, 1994; Bugarín-Montoya *et al.* 2002). Sin embargo, el criterio de calidad ha sido motivo de controversia, pues se define con base en características organolépticas determinadas por el genotipo (Poysa, 1992), el manejo del agua (Mitchel & Shennan, 1991), la salinidad (Adams, 1991; Li *et al.* 2001), el estado nutricional de la planta por el entorno en la raíz y en la parte aérea (Ho & Adams, 1995) y por el manejo poscosecha (Kader *et al.* 1978). Incluso, se ha documentado que el rendimiento es independiente de la calidad de los frutos cosechados (Ho, 1996).

El efecto de la salinidad sobre el tomate puede ser negativo, debido a la reducción de la producción o el incremento del secamiento apical del fruto (blossom-end rot), causado por problemas nutricionales relacionados con el calcio, conocido entre los cultivadores locales como "culillo". Puede tener también un efecto positivo por el incremento en el contenido de sólidos solubles totales (SST) (Mizrahi & Pasternak, 1985; Cuartero & Muñoz, 1999; De Pascale *et al.* 2001) y la acidez de los frutos (De Pascale *et al.* 2001), lo que redundaría en un beneficio, cuando los frutos tienen fines industriales.

El objetivo del presente estudio fue la determinación de los cambios inducidos por niveles crecientes de salinidad, sobre las características bromatológicas en frutos de cuatro híbridos de tomate, mantenidos bajo condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó bajo cobertura, en las instalaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en Tunja/Colombia, con temperatura promedio de 15,8°C y humedad relativa promedio de 72%. Para efecto del experimento, se tomaron plántulas de cuatro semanas de edad, que habían germinado en turba. El material vegetal correspondió a plantas de los híbridos Supermagnate F1, Marimba F1, Gloria F1 y Astona F1, proporcionados por Impulsemillas®, las cuales se sembraron en materas con suelo, con capacidad para 3,5kg.

Una vez las plantas reiniciaron el crecimiento y se aplicó al suelo de cada matera una mezcla de fertilizante comercial de alta solubilidad (valores en g.kg<sup>-1</sup>), así: N: 0,4; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0,03; K<sub>2</sub>O: 0,05; CaO: 0,0005; MgO: 0,0013; S: 0,00137; B: 0,0002; Cu: 0,00014; Fe: 0,00012; Mn: 0,0013; Mo: 0,00005 y Zn: 0,0002.

Los tratamientos para inducir la salinidad con NaCl fueron 0, 40 y 80 mM·kg<sup>-1</sup> de suelo seco al aire, los cuales indujeron valores de conductividad eléctrica de 1,8; 5,2; y 8,8dS·m<sup>-1</sup>, respectivamente. Los tratamientos se aplicaron aproximadamente cuatro semanas después del trasplante. La cantidad total de NaCl, se aplicó gradualmente a cada matera a lo largo de un periodo cercano a cuatro semanas. Durante el ensayo, la humedad del suelo de las materas se mantuvo cercana a la capacidad de campo. La cantidad de agua diaria para regar las materas, se calculó con base en el peso de la matera y en la pérdida de agua con respecto al peso de la misma el día anterior, de manera que el suelo en las materas no llegara al punto de marchitez temporal ni sobrepasara la capacidad de campo.

Los frutos se cosecharon ocho semanas después de terminar los tratamientos con la sal, momento en el que se determinaron los contenidos de proteína (Método Kjeldahl), cenizas (Incineración a 600°C durante dos horas), grasas (disolución en éter de petróleo), fibra cruda (secado de muestras a 105°C luego de la adición de KOH 0,556 N y acetona), carbohidratos (por diferencia entre la

sumatoria de las cenizas, grasas, fibra y proteína, con el total de la masa seca) y humedad (secado de muestras a 105°C hasta peso constante) (Ranganna, 1977).

El experimento consistió en un ensayo bifactorial, con tres niveles de salinidad y cuatro híbridos, con diseño completamente al azar y cuatro replicaciones, tomando tres plantas como unidad experimental. La información, se analizó mediante un análisis de variancia y la prueba de separación de promedios de Tukey ( $P < 0,01$ ) con el programa SPSS versión 11.5.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de los análisis estadísticos de la información, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el factor híbrido ni para la interacción híbrido x salinidad, resultados que coinciden con lo encontrado por Mizrahi (1982), quien evaluó la maduración en frutos de tres cultivares de tomate expuestos a salinidad por NaCl. Sólo hubo diferencia estadísticamente significativa para el factor salinidad, por tanto, los resultados reportados corresponden al promedio de los frutos de los cuatro híbridos evaluados.

Se encontró un comportamiento diferencial de los factores estudiados, en cuanto a su concentración, con relación al valor registrado para los frutos de las plantas control, cuando las plantas fueron o no expuestas a la salinidad. Es así, como la concentración de NaCl motivó una reducción en los contenidos de humedad y de cenizas en los frutos, mientras que la cantidad de proteína, de fibra cruda, de grasas y de carbohidratos, se vio incrementada como consecuencia de la exposición a las condiciones salinas (Tabla 1).

La salinidad indujo un incremento en el contenido de proteína de los frutos, variable en la que se encontraron diferencias altamente significativas, según la prueba de separación de promedios de Tukey ( $P < 0,01$ ). El incremento fue proporcional a la concentración de NaCl en el sustrato, el contenido de proteína aumentó alrededor de 34% con cada incremento de 40mM de NaCl en el suelo (Tabla 1, Figura 1).

En lo relacionado con el contenido de cenizas, no se encontró diferencias significativas para ninguno de los factores evaluados (híbrido, salinidad y su interacción),

Tabla 1. Efecto de la salinidad sobre la calidad de frutos de tomate (*L. esculentum* Mill) de los híbridos Supermagnate F1, Marimba F1, Gloria F1 y Astona F1, expuestos a salinidad por NaCl. La información corresponde al promedio registrado en frutos de los cuatro híbridos.

Variable (%)	mM de NaCl	Comportamiento respecto al control	
		Incremento (%)	Reducción (%)
Proteína	40	33,9	
	80	67,7	
Cenizas	40		0,5
	80		33,5
Fibra cruda	40	41,0	
	80	142,8	
Grasas	40	108,3	
	80	183,3	
Humedad	40		3,0
	80		4,2
Carbohidratos	40	41,2	
	80	57,5	

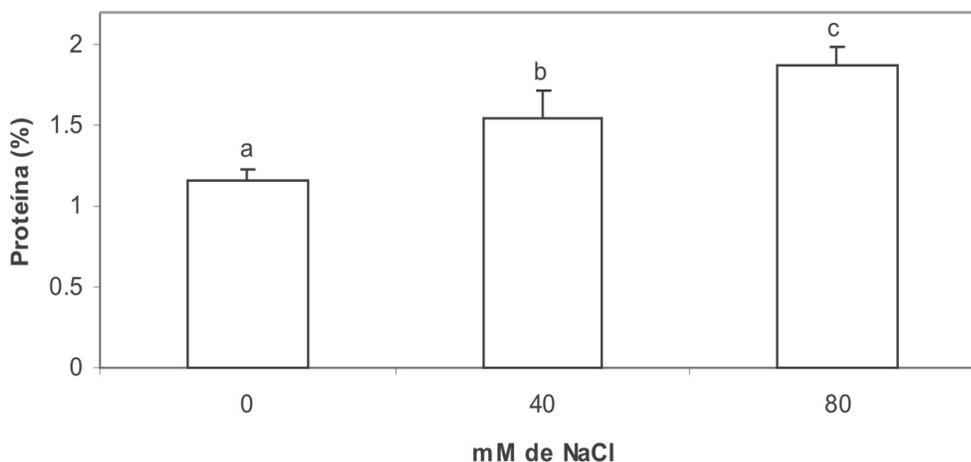


Figura 1. Contenido de proteína en frutos de plantas de tomate expuestas a estrés salino por NaCl. Para letras iguales no hay diferencia significativa, según la prueba de Tukey al nivel 0,05.

a pesar de lo cual, se observó una reducción de 33,5% en frutos de plantas expuestas a 80mM de NaCl, con relación a los frutos de las plantas control, mientras que un contenido de 40mM de NaCl prácticamente no alteró el valor de esta variable, con relación a los controles (Tabla 1).

De manera similar a los resultados encontrados en el presente ensayo, se observó un incremento en el contenido de proteínas en frutos de *Fragaria* sp, como consecuencia de la exposición de las plantas a NaCl en concentraciones de 40 u 80meq.L<sup>-1</sup>. Sin embargo, los dos cultivares de fresa expuestos a la sal mostraron

diferente respuesta en cuanto a la cantidad de proteína registrada en frutos (Keutgen & Keutgen, 2003). Esto puede indicar que el componente genético es determinante en la respuesta de los cultivares, a pesar de que en el presente estudio no se registraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al contenido de proteína, en los híbridos evaluados.

Se ha reportado que bajo condiciones de estrés salino, se acumulan cierto tipo de proteínas llamadas osmotinas, cuya función está aún por definir y que forman cerca de 12% del contenido total de la proteína del tejido. Específicamente, en plantas de tomate, se ha encontrado la osmotina-26, como respuesta al estrés salino por NaCl (Singh *et al.* 1989). Se requieren condiciones salinas y potencial osmótico alto, para la expresión de los genes que inducen la producción y la acumulación de las osmotinas (La Rosa *et al.* 1992). Adicionalmente, se ha documentado suficientemente la producción de prolina, extensinas, glicina, proteínas ricas en arabinogalacturano, las cuales se fijan a las paredes celulares bajo condiciones de estrés salino (Showalter,

1993). El contenido de extensinas y de celulosa, en plantas expuestas a la salinidad es una condición de adaptación y de hecho; se ha encontrado un mayor contenido de extensinas y celulosa en paredes celulares de plantas adaptadas a la salinidad, que en aquellas no adaptadas (Iraki *et al.* 1989), tal como se discutirá con el incremento en el contenido de fibra cruda encontrada en el presente trabajo.

A pesar de esto, la salinidad no siempre representa un factor determinante del incremento en el contenido de proteína en plantas, pues se encontró que en *Brassica* sp., no hubo diferencia significativa en el contenido de proteína en cultivares expuestos a condiciones salinas (Francois, 1994).

La cantidad de fibra cruda encontrada en los frutos, de acuerdo con las características del ensayo, mostró un incremento directamente proporcional al contenido de NaCl en el sustrato. Al respecto, se encontró diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ) (Figura 2).

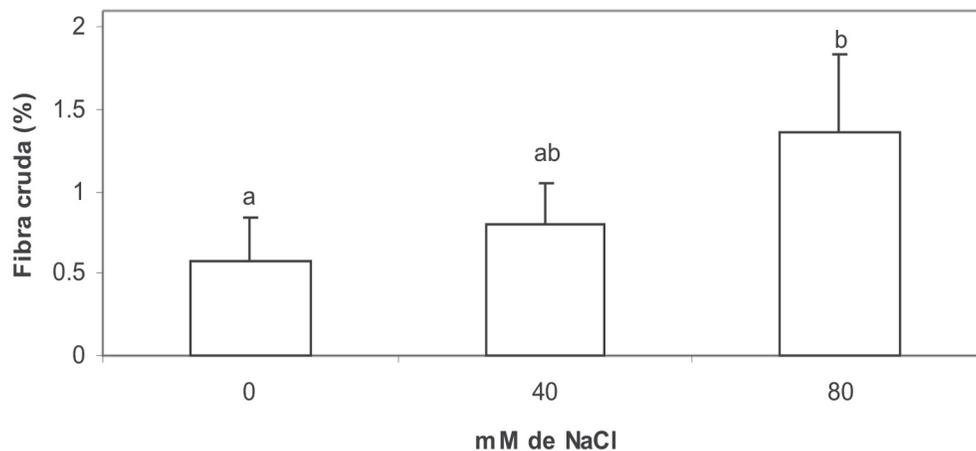


Figura 2. Contenido de fibra en frutos de plantas de tomate expuestas a estrés salino por NaCl. Para letras iguales no hay diferencia significativa, según la prueba de Tukey al nivel 0,05.

Bajo condiciones normales de cultivo, los frutos de tomate pueden contener 0,58g de celulosa, 0,13g de hemicelulosa y 0,26g de lignina, por 100g de materia seca (Herranz *et al.* 1981). Por otro lado, como el contenido total de fibra en estos tomates estaría en el rango de 1,0 a 1,5% de la materia fresca (Herrmann, 2001). Al igual que en el presente ensayo, se han evidenciado cambios

en el contenido de fibra, como consecuencia de la exposición a las sales. Se ha encontrado que la salinidad incrementa la cantidad de fibra y de cristales de oxalato de calcio en la corteza de árboles de castaña (*Aesculus hippocastanum*) (Eckstein *et al.* 1976); además, en plantas de *Salix* sp., se encontró que luego de la exposición a la salinidad, el tejido xilemático contenía

menos vasos y más fibra en individuos tolerantes a las sales, que en aquellos sensibles (Eckstein *et al.* 1978). Además, se ha encontrado que, con frecuencia, la salinidad promueve la suberización de la hipodermis y la endodermis de las raíces con la formación de una banda de Caspari más cerrada en el ápice de la raíz que en raíces no expuestas a la salinidad (Walker *et al.*, 1984). De igual manera, las paredes celulares en plantas expuestas a la salinidad, se vuelven densas y onduladas (Shannon *et al.* 1994).

Los resultados revelaron un incremento en el porcentaje de grasas en los frutos de plantas sometidas a las condiciones salinas. El aumento en esta variable fue

directamente proporcional a la cantidad de NaCl adicionada al suelo en el que crecían las plantas. Al respecto, se encontró diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ) (Figura 3).

Por el contrario, a los resultados encontrados en este trabajo, el estrés osmótico por NaCl y CaCl<sub>2</sub> no incrementó el contenido de aceites en semillas de canola (*Brassica sp.*) (Francois, 1994), ni en *Curthumus tinctorius* (Irving *et al.* 1988). El incremento en el contenido de grasas, como resultado de la salinidad encontrado en los frutos analizados en el presente estudio, puede ser un mecanismo de adaptación que contribuiría a la osmoregulación.

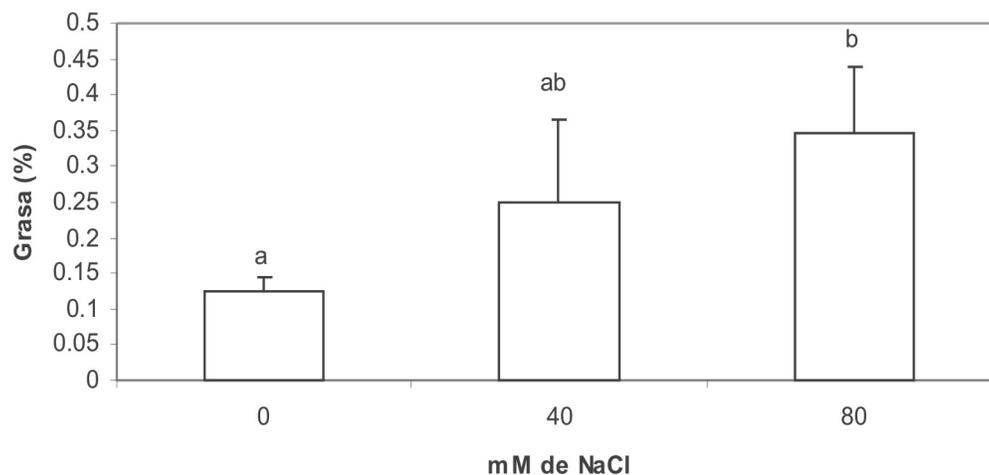


Figura 3. Contenido de grasas en frutos de plantas de tomate expuestas a estrés salino por NaCl. Para letras iguales no hay diferencia significativa, según la prueba de Tukey al nivel 0,05.

Se encontró diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ) en el análisis de la información de la variable contenido de humedad en los frutos, entre el testigo y las plantas tratadas con NaCl (Figura 4), observándose que bastaba una concentración de 40mM para que el contenido de humedad se redujera en términos de 3%; por sobre esa concentración de sal, la reducción, prácticamente permanece invariable, pues no se encontró diferencia significativa entre el contenido de humedad en frutos de plantas que crecían en un sustrato enriquecido con 40 u 80mM de NaCl.

Debido a las propiedades de la membrana y de la pared, la célula puede perder agua con facilidad, pues los cambios en el potencial osmótico de la solución del suelo inducidos

por la salinidad, restringen considerablemente la toma de agua; adicionalmente, los tejidos pierden agua mediante la transpiración; por tanto, una de las primeras respuestas de los tejidos a la salinidad, es la pérdida de la turgencia en los tejidos (Levitt, 1980). La turgencia en la planta, se debe mantener, pero así la planta pierde agua por transpiración, además que la toma de agua por las raíces es limitada. Esto conduce a que la disponibilidad de agua para el crecimiento y de elongación de las células de los frutos se vea bastante comprometida, lo cual se manifiesta con una reducción en el contenido de humedad de los frutos, como se pudo observar en este ensayo.

Como consecuencia de la salinidad en el sustrato, se encontró un incremento en el contenido de carbohidratos

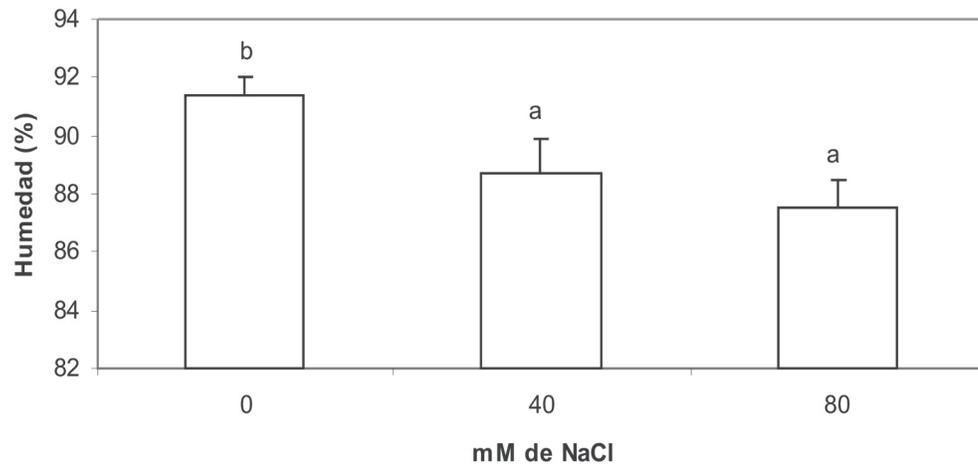


Figura 4. Contenido de humedad en frutos de plantas de tomate expuestas a estrés salino por NaCl. Para letras iguales no hay diferencia significativa, según la prueba de Tukey al nivel 0,05.

en los frutos, con relación a los frutos de plantas no tratadas con NaCl (Figura 5). El análisis estadístico de esta variable reveló diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre los frutos de las plantas control y los de aquellas expuestas a la salinidad, pero no hubo diferencia significativa entre los dos niveles de salinidad evaluados (Figura 5). Bajo las condiciones en que se desarrolló el ensayo, se debería esperar una reducción en el contenido de carbohidratos en frutos en el rango de 41,2 a 57,5% cuando las plantas de tomate confrontan contenidos de 40 a 80mM de NaCl en el sustrato (Tabla 1).

Varios autores coinciden en afirmar que el efecto de la CE del sustrato en el que crecen las plantas de tomate sobre el contenido de materia seca en los frutos es directamente proporcional (Sonneveld & Welles, 1988; D'Amico *et al.* 2003). Se ha encontrado que el aumento en la CE, como consecuencia de la salinidad, induce un incremento en el contenido de materia seca en los diferentes órganos (Casierra-Posada & García, 2005; Casierra-Posada & Hernández, 2006). Este resultado, se puede justificar mediante el hecho de que las plantas acumulan una cantidad de osmolitos en los tejidos con el propósito

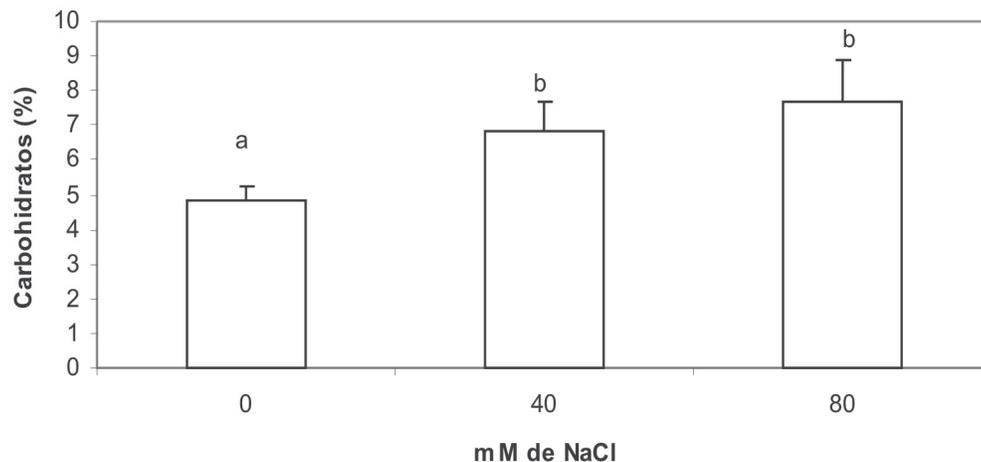


Figura 5. Contenido de carbohidratos en frutos de plantas de tomate expuestas a estrés salino por NaCl. Para letras iguales no hay diferencia significativa, según la prueba de Tukey al nivel 0,05.

de hacer el ajuste osmótico, pero dado el alto poder vertedero de los frutos en desarrollo, éstos productos se acumulan en ellos, produciendo un aumento relativo en el contenido de carbohidratos, dado que se reduce el contenido de humedad en los frutos, lo que también sucede con el contenido de materia seca en los mismos (Casierra-Posada & García, 2006), como se encontró en el presente ensayo y se presenta en las figuras 4 y 5.

Los tejidos de plantas sometidas a estrés salino usualmente manifiestan una reducción en el contenido de almidón, el cual se reemplaza por un incremento en el contenido de azúcares (Mohan & Gupta, 1997, Sen & Mohammed, 1987; Mohammed *et al.* 1998). Ésto se pudo evidenciar en los frutos analizados, en los cuales el contenido de carbohidratos se incrementó proporcionalmente a la concentración de NaCl en el sustrato. Los osmolitos producidos pueden, por un lado, contribuir al incremento del potencial osmótico de los tejidos, facilitando la retención de agua en el citoplasma y, por otro lado, pueden cumplir con funciones de protección (Schulze *et al.* 2005).

Como información adicional vale la pena mencionar que se observó que la salinidad indujo una maduración más rápida de los frutos en comparación con los de las plantas control, aunque no se cuantificó el valor de la reducción en términos de tiempo. Este resultado fue reportado también por Mizrahi (1982), quien encontró una reducción de 4 a 15% en el tiempo de desarrollo de los frutos sometidos a condiciones salinas. Por otro lado, el mismo autor menciona que el sabor de los frutos de plantas sometidas a salinidad era más agradable que el de los de plantas control, lo cual es el resultado de los azúcares acumulados en los frutos, como mecanismo de regulación osmótica. Este aspecto podría ser beneficioso para los consumidores de tomates en fresco, aunque se debe evaluar la relación beneficio costo de la producción de tomates bajo estas condiciones, dado que se observó que la salinidad reduce considerablemente el rendimiento, en términos de cantidad de fruta cosechada y de tamaño de frutos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Impulsemillas® en el suministro del material vegetal; así como el apoyo del personal del Laboratorio de Análisis de Alimentos de

la Escuela de Química de Alimentos de la UPTC, por la realización de los análisis reportados en este texto.

Este estudio, se desarrolló con el apoyo de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el marco del plan de trabajo del grupo de investigación Ecofisiología Vegetal, adscrito al programa de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrient or sodium chloride on yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hortic. Sci.* 66:210-217.
- ADAMS, P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponics system. *Acta Hort.* 361:245-257.
- ASOHOFRUCOL. 2003. Tomate. Disponible desde Internet en: [http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/Business/product\\_view.php](http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/Business/product_view.php). (con acceso 10/08/2007).
- ASSOULINE, S.; MÖLLER, M.; COHEN, S.; BEN-HÜR, M.; GRAVA, A.; NARKIS, K.; SILBER, A. 2006. Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity: Bell pepper case study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1556-1568.
- AYERS, R.S. 1997. Quality of water for irrigation. *J. Irrig. Drain. E.-Asce, Division 103*:135-154.
- BUGARÍN-MONTOYA, R.; GALVIS-SPINOLA, A., SANCHEZ-GARCÍA, P.; GARCÍA-PAREDES, D. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra.* 20(4):391-399.
- CAMPOS, C.A.B.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; BLANCO, F.F.; GONÇALVES, C.B.; CAMPOS, S.A.F. 2006. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. *Sci. Agric. (Piracicaba, Brasil).* 63(2):146-152.
- CASIERRA-POSADA, F.; GARCÍA R., N. 2005. Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares

- de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. Agr. Col. 23(1):83-89
- CASIERRA-POSADA, F.; GARCÍA R., N. 2006. Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) afectados por estrés salino. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 59(2):3527-3542.
- CASIERRA-POSADA, F.; HERNÁNDEZ, H. L. 2006. Evapotranspiración y distribución de materia seca en plantas de mora (*Rubus* sp.) bajo estrés salino. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 9(1):85-95.
- CUARTERO, J.; MUÑOZ, R.F. 1999. Tomato and salinity. Sci. Hortic.-Amsterdam 78:83-125.
- D'AMICO, M.L.; IZZO, R.; TOGNONI, F.; PARDOSSI, A.; NAVARI-IZZO, F. 2003. Application of diluted sea water to soilless culture of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): effects on plant growth, yield, fruit quality and antioxidant capacity. Food, Agr. & Environ. 1(2):112-116.
- DE PASCALE, S.; MAGGIO, A.; FOGLIANO, V.; AMBROSINO, P.; RITIENI, A. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. J. Hortic. Sci. Biotech. 76:447-453.
- ECKSTEIN, D., LIESE, W.; PARAMESWARAN, N.. 1976. On the structural changes in wood and bark of a salt-damaged horse chestnut tree. Holzforschung 30:173-178.
- ECKSTEIN, D., LIESE, W.; PLOSSL, J.. 1978. Histometrische Untersuchungen zur unterschiedlichen Streusalztoleranz von Weiden (*Salix* spp.). Forstwiss. Centralbl. 97:335-341.
- El PAÍS. 2001. Diseñado un tomate transgénico capaz de crecer en suelo salinizado. Disponible desde Internet en: [[http://www.elpais.es/articulo.htm...lpepisoc&type=Tes&d\\_date=20010731](http://www.elpais.es/articulo.htm...lpepisoc&type=Tes&d_date=20010731)]. (con acceso 15/10/2005).
- FRANCOIS, L.E. 1994. Growth, seed yield, and oil content of canola grown under saline conditions. Agron. J. 86:233-237.
- HERRANZ, J.; VIDAL-VALVERDE, C.; ROJAS-HIDALGO, E. 1981. Cellulose, hemicellulose and lignin content of raw and cooked spanish vegetables. J. Food. Sci. 36:1927-1933.
- HERRMANN, K. 2001. Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse. Eugen Ulmer Verlag. Stuttgart. 200p.
- HO, L.C. 1996. Tomato. En: Zamsky, E.; Schaffer, A.A. (eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops. Marcel Dekker, Nueva York. p.709-728.
- HO, L.C.; ADAMS, P. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. Acta Hort. 396:33-44.
- IRAKI, N.N.; BRESSAN, R.A.; CARPITA, N.C. 1989. Extracellular polysaccharides and proteins of tobacco cell cultures and changes in composition associated with growing-limiting adaptation to water and saline stress. Plant Physiol. 91: 54-61.
- IRVING, D.W.; SHANNON, M.C.; BREDI, V.A.; MACKAY, B.E. 1988. Salinity effects on yield and oil quality of high-linoleate and high-oleate cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). J. Agric. Food Chem. 36:37-42.
- KADER, A.A.; MORRIS, L.L.; STEVENS M.A.; ALBRIGHT-HORTON, M. 1978. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest procedures. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103:6-13.
- KEUTGEN, A.J.; KEUTGEN, N. 2003. Influence of NaCl salinity stress on fruit quality in strawberry. Acta Hort. 609:155-157.
- LA ROSA, P.C.; CHEN, Z., NELSON, D.E.; SINGH, N.K.; HAEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A. 1992. Osmotin gene expression is posttranscriptionally regulated. Plant Physiol. 100:409-415.
- LEVITT, J. 1980. Responses of plant to environmental stresses. Vol II: Water, radiation, salt and other stresses. Academic Press. p.365-490.
- LI, L.Y.; STANGHELLINI, C.; CHALLA, H. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato. Sci. Hortic.-Amsterdam 88:11-29.

- MASS, E.V. 1986. Salt tolerance of plants. Appl. Agric. Res. 1(1):12-26.
- MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. 1997. Crop salt tolerance – current assessment. J. Irrig. Drain. E.-Asce, División 103:115-134.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL DE COLOMBIA. 2004. Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia. MAVDT, Dirección de Ecosistemas. 124p.
- MIZRAHI, Y. 1982. Effect of salinity on tomato fruit ripening. Plant Physiol. 69: 966-970
- MIZRAHI, Y.; PASTERNAK, D. 1985. Effect of salinity on quality of various agricultural crops. Plant Soil. 89:301-307.
- MITCHEL, J.R.; SHENNAN, C. 1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. J. Am. Soc. Hort. Sci. 116:215-221.
- MOHAMMED, S.; KASERA, P.K., CHAWAN, D.D.; SEN, D.N. 1998. Eco-physiology of *Cassia italica* (Mill) Lamk. ex Anders in Indian desert. Sci. Cult. 64:233-234
- MOHAN, H.W.; GÚPTA, P. 1997. Plant life under extreme environments. Curr. Sci. 72:306-315.
- POYSA, V. 1992. Use of *Lycopersicon cheesmanii* and *L. chemielewskii* to increase dry matter content of tomato fruit. Can. J. Soil Sci. 73:273-279.
- RANGANNA, S. 1977. Manual of analysis of fruits and vegetable products. McGraw-Hill. 634p.
- RICK, L.M. 1978 The tomato. Sci. Amer. 239:67-76.
- SEN, D.N.; MOHAMMED, S. 1987. Eco-physiological studies of *Fagonia cretica* in Indian desert. En. Agarwal, S.K.; Garg, R.K. (eds). Environmental issues and research in India. Himanmshu Publications. p.61-83.
- SCHÜLZE, E.D.; BECK, E.; MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 2005. Plant ecology. Springer Verlag. Heidelberg. p.145-194.
- SHANNON, M.C.; C.M. GRIEVE; L.E. FRANCOIS. 1994. Whole-plant response to salinity. In Plant--Environment Interactions. Ed. R.E. Wilkinson. Marcel Dekker, New York, pp 199-244.
- SHOWALTER, A.M. 1993. Structure and function of plant cell wall proteins. Plant Cell. 5:9-23.
- SINGH, N.K.; NELSON, D.E.; KUHN, D.; HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A. 1989. Molecular cloning of osmotin and regulation of its expression by ABA and adaptation to low water potential. Plant Physiol. 90:1096-1101.
- SONNEVELD, C; WELLES, G.W.H. 1988. Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in EC-value and climatic conditions. Plant Soil. 111:37-42.
- WALKER, R.R.; M. SEDGLEY; M.A. BLESING; T.J. DOUGLAS. 1984. Anatomy, ultrastructure and assimilate concentrations of roots of citrus genotypes differing in ability for salt exclusion. J. Exp. Bot. 35:1481-1494.
- ZHANG, H.X.; BLUMWALD, E. 2001. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. Nat. Biotechnol. 19:765-768.

Recibido: agosto 17 de 2007

Aceptado: octubre 16 de 2007

# AMPLITUD DE NICHOS Y SELECTIVIDAD ALIMENTARIA DEL BORUGO DE PÁRAMO (*Cuniculus taczanowskii*) (STOLZMANN 1885) EN UN BOSQUE ANDINO NUBLADO (ZIPACÓN – CUNDINAMARCA)

## NICHE BREADTH AND DIETARY SELECTIVITY OF THE MOUNTAIN PACA (*Cuniculus taczanowskii*) (STOLZMANN 1885) IN AN ANDEAN CLOUD FOREST (ZIPACÓN – CUNDINAMARCA)

Karin Osbaahr<sup>1</sup>

Jesús David Ortiz Montero<sup>2</sup>

Jairo Pérez-Torres<sup>3</sup>

### RESUMEN

*Cuniculus taczanowskii* es una especie típica de la región andina amenazada por factores, como la fragmentación del paisaje y la cacería. El presente trabajo, se desarrolló con el objetivo de establecer la amplitud de nicho, la selección alimentaria, la relación entre la frecuencia de ocurrencia de los ítems alimentarios recuperados en materia fecal y la abundancia de las especies vegetales de consumo potencial colectadas en un bosque andino nublado. Se identificaron 16 ítems alimentarios pertenecientes a las plantas recogidas como recurso potencial alimentario. *Asplenium* sp., *Thibaudia*

*floribunda* y *Phytolacca* sp. fueron las especies más consumidas. La amplitud de nicho de la especie animal fue baja y no se encontró una relación significativa entre la abundancia de las especies vegetales colectadas y la frecuencia de los fragmentos epidermales encontrados. La especie discrimina entre los estados fenológicos de los recursos evaluados tendiendo a ser selectiva.

Palabras clave: Análisis microhistológico, amplitud de nicho, bosque altoandino, *C. taczanowskii*, selección alimentaria.

### SUMMARY

*Cuniculus taczanowskii* is a typical species of the Andean region threatened by factors such as landscape fragmentation and hunting. In this work the niche breadth, the dietary preferences, the relationship between the frequency of the dietary items in fresh feces and the abundance of collected plant species at an Andean cloud forest was studied. 16 dietary items were identified as plants used as food source. *Asplenium* sp., *Thibaudia floribunda* and *Phytolacca* sp. where the most consumed plant species. The niche breadth of the species was low and the relationship found between the abundance of the collected plant species and the frequency of the

<sup>1</sup> Líder Grupo de Investigación en Fauna Silvestre. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Dirección para correspondencia: Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C. kosbaahr@udca.edu.co

<sup>2</sup> Estudiante de Biología Pontificia Universidad Javeriana. Dirección para correspondencia jesus.ortiz@javeriana.edu.co

<sup>3</sup> Director Laboratorio de Ecología Funcional. Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Dirección para correspondencia: Cra. 7 No. 43-82 Bogotá, D.C. Colombia.

epidermal fragments was not significant. The species discriminates between the phenological stage of the food resources showing a tendency to be selective.

Key words: Microhistological analysis, niche breath, cloud forest, *C. taczanowskii*, dietary selectivity.

## INTRODUCCIÓN

El “borugo de páramo” (*Cuniculus taczanowskii*) es una especie de roedor herbívoro de la familia Cuniculidae, con una distribución en Colombia, que abarca los bosques altoandinos (Osbahr, 1995) y cuya presencia ha sido documentada para el cerro de Manjuí, Zipacón (Cundinamarca) (CAR, 2005). En la actualidad, la zona mencionada ha venido sufriendo una drástica transformación del paisaje y un cambio considerable en el uso de la tierra, debido a la expansión agrícola y ganadera (Etter & Wyngaarden, 2000; CAR, 2005). La pérdida de hábitat derivada de esta modificación del paisaje, junto con la cacería indiscriminada, han contribuido a la disminución de las poblaciones naturales de la especie (Núñez & Jorgenson, 1996; Osbahr, 1996a; 1996b). Aún cuando la especie se encuentra categorizada como en bajo riesgo de amenaza (LR/nt) (Baillie, 1996), se considera que su status actual debe ser revisado IUCN (2007).

La evaluación de los hábitos alimentarios de las especies herbívoras ha estado basada, principalmente, en los análisis de los contenidos estomacales y de la materia fecal (Storr, 1961; Sparks & Malechek, 1968; Reichman, 1975; Tobin *et al.* 1994; Holechek *et al.* 1982; Cortés *et al.* 2002). La principal desventaja del análisis de los contenidos estomacales es que implica el sacrificio de un gran número de animales (Reichman 1975, Tobin *et al.* 1994). Aún cuando han surgido nuevas técnicas basadas en el análisis fecal, su utilización en campo, junto con las características propias de las especies a evaluar, requiere que sean validadas para cada caso, ya que la digestión y la fragmentación diferencial puede subestimar o sobrestimar los ítems alimentarios identificados en las heces (Batzli & Cole, 1979; Holechek *et al.* 1982; Bartolomé *et al.* 1995; Kronfeld & Dayan, 1998; Lee & MacGregor, 2004).

Considerando que la amplitud de nicho se relaciona con la disponibilidad relativa de determinado recurso

empleado por una especie, su distribución espacial y por ende con el costo en términos de energía y tiempo que debe invertir para su localización (Dajoz, 2002; Guerrero *et al.* 2002; Lou & Yurrita, 2005), el entendimiento de la selección trófica es de utilidad para planear reservas naturales, entender las consecuencias de programas de reintroducción de especies (Hartman, 1994; Cole *et al.* 1995) y para predecir el hábitat potencial en el que se podría desarrollar una especie dada (Drickamer, 1971). Para el caso de *C. taczanowskii*, la información generada al respecto y teniendo en cuenta los factores relacionados como riqueza de la dieta, accesibilidad a las especies vegetales que hacen parte de la dieta, entre otros, son útiles como elementos para la toma de decisiones en cuanto al diseño de áreas de reserva y planes de manejo (Pérez-Torres, 2002).

El conocimiento de la dieta de *C. taczanowskii*, se ha basado en estudios generales para el manejo de la especie en cautiverio (Castro, 1996; Amaya & Rodríguez, 2004) y en reportes de plantas consumidas por la especie en su hábitat natural (Delgado *et al.* 1991; ECOTECNIA, 1997; Núñez & Jorgenson, 1996; Osbahr, 1996a; 1999). Aún cuando se cuenta con adelantos en el conocimiento sobre el uso de hábitat (Núñez & Jorgenson, 1996; Sánchez, *et al.* 1999; Pardo, 2004) y a la distribución del recurso alimenticio en el hábitat boscoso (Osbahr, 2003; 2004), aún no se tiene información acerca de la amplitud de nicho de la especie y a la selección de la dieta con relación al recurso alimenticio disponible. Por esta razón, en el presente estudio se evaluó la dieta del borugo de páramo mediante la técnica microhistológica para determinar la relación entre las preferencias alimentarias encontradas y la abundancia de las plantas disponibles en el hábitat natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el cerro de Manjuí, Zipacón, área que se localiza en jurisdicción del departamento de Cundinamarca, Colombia (04° 48' 20.64" N 74° 23' 26.55" W). El rango altitudinal abarca desde los 2550 m.s.n.m., a los 3200 m.s.n.m. (CAR, 2005), prevaleciendo el clima típico frío con temperaturas inferiores a los 17° C (Parra *et al.* 1970). La distribución de la precipitación es bimodal, adquiriendo sus máximos valores entre los meses de abril y julio; decrece entre agosto y septiembre, con una alta tendencia a ascender en el mes de octubre y noviembre (CAR, 2005).

La vegetación del sitio de estudio ha sido fuertemente transformada por la comunidad adyacente a la zona, generando fragmentos de bosque rodeados de zonas de uso agropecuario. Sin embargo, la vegetación remanente aún conserva elementos propios de la región andina encontrándose, en general, especies como *Alnus acuminata*, *Drymis granatensis*, *Cassia tomentosa*, *Oreopanax* sp., *Clusia multiflora*, *Asplenium praemorsum*, *Blechnum occidentale*, *Pellaea ternifolia*, *Hesperomeles heterophylla*, *Vallea stipularis*, *Juglans* sp., *Ficus* sp., *Weinmania* sp. y *Phyllanthus* sp. entre otros (CAR, 2005; Parra *et al.* 1970). En el área de estudio se muestrearon cuatro fragmentos de bosque, los cuales fueron denominados como bosque 1 (B1), bosque 2 (B2), bosque 3 (B3) y Bosque 4 (B4).

Las especies vegetales evaluadas, como recurso potencial alimentario, fueron colectadas aplicando la técnica de muestreo preferencial teniendo en cuenta la información proporcionada por los trabajos de Osbaahr (1999; 2003). La abundancia de las especies fue determinada mediante el establecimiento de cuatro cuadrantes de 10 x 10 m, en cada uno de los bosques. El material vegetal, se colectó por duplicado conservando las plantas de referencia en la colección biológica de la Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas U.D.C.A, previo secado en un horno, a una temperatura entre 40-45°C (Gaviño *et al.* 1974) y almacenando las muestras para el análisis microhistológico en bolsas Ziploc con el fin de evitar su deshidratación (Storr, 1961; Osbaahr, 1999).

Para cada planta colectada, se obtuvieron micropreparados de referencia de tallos, hojas, frutos y rizomas mediante la técnica microhistológica modificada por Osbaahr (1999). De cada uno de los fragmentos epidérmicos identificados para cada especie, se obtuvieron microfotografías con una cámara Canon y un aumento de 10X.

Las muestras fecales, se colectaron en diferentes letrinas realizando recorridos sistemáticos en los cuatro bosques seleccionados para asegurar una representación total de la población. Las muestras, frescas y escogidas siguiendo los criterios establecidos por Núñez & Jorgenson (1996), se procesaron de acuerdo a lo sugerido por Osbaahr (1999), para obtener cinco micropreparados por muestra. Para cada lámina, se observaron 20 campos microscópicos (aumento 40X) para un total de 100 campos evaluados por muestra (Sparks & Malechek, 1968). Se excluyeron los campos

que contenían menos del 50% del área ocupada por estructuras epidérmicas (Meserve, 1981). Cada ítem identificado por campo microscópico fue registrado, contado y microfotografiado y se calculó el índice de selección estandarizado ( $B_i$ ) (Manly *et al.* 1993), para determinar la proporción de especies en la dieta ( $O_i$ ) del borugo de páramo, con relación a la disponibilidad de los recursos alimentarios evaluados en el hábitat ( $P_i$ ). Dado que el cálculo del índice de selección puede presentar sesgos de acuerdo al tipo de muestreo, se siguió el método sugerido por Johnson (1980) estableciendo la diferencia entre los rangos del recurso determinado en la dieta ( $ri$ ) y la disponibilidad en el hábitat ( $si$ ), para así obtener una medida de preferencia relativa ( $ti$ ).

La amplitud de nicho de la especie, se calculó teniendo en cuenta que la abundancia de los recursos alimentarios disponibles es variable (Krebs, 1999), por lo cual, se utilizó el índice de Hurlbert (1978), el cual se estandarizó a una escala entre 0 – 1. La intensidad de la relación entre la abundancia de las especies vegetales colectadas como recurso alimentario y los ítems alimentarios encontrados en las heces, se llevó a cabo mediante la correlación de Pearson ( $r$ ) (Daniel, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron un total de 16 especies vegetales, las cuales fueron consideradas como recurso potencial alimentario para el borugo de páramo (Tabla 1). Las especies más abundantes en el área de estudio fueron: *Chusquea* sp., *Tillandsia complanata*, *Cavendishia nitida* al igual que *Pecluma* sp y *Thelypteris* sp. (Figura 1).

Aún cuando se colectaron un total de 37 muestras de materia fecal, únicamente se utilizaron para el procedimiento microhistológico 20 muestras frescas al cumplir con los requisitos de color y de textura establecidos por Núñez & Jorgenson (1996). Cabe anotar que en el bosque 3 no se encontraron muestras de materia fecal, lo cual se puede explicar por la falta de cuevas superficiales y/o de madrigueras apropiadas para que la especie estableciera sus letrinas para la defecación (Osbaahr, 1996b). Se identificaron y cuantificaron un total de 2224 fragmentos epidérmicos, de los cuales 1801 (80,98%) equivalen a tallos, hojas, frutos o rizomas de las 16 especies de plantas verificadas de consumo (Tabla 1), mientras que solo 423 fragmentos (19,01%)

Tabla 1. Proporción de disponibilidad en el hábitat (Pi) y en la dieta (Oi) de las especies vegetales colectadas en cuatro bosques en el cerro de Manjuí, Zipacón, como recurso potencial alimentario para *C. taczanowskii*. Se presenta el índice de selectividad de forrajeo estandarizado (Bi). Los valores en negrilla indican la preferencia relativa con respecto a la relación estandarizada ( $1/n = 0.063$ ;  $n = 16$ ).

N° Colección	Familia	Especie	Bosque 1			Bosque 2			Bosque 3			Bosque 4		
			Pi	Oi	Bi	Pi	Oi	Bi	Pi	Oi	Bi	Pi	Oi	Bi
KMJ 01	Poaceae	<i>Chusquea</i> sp	0,085	0,133	0,017	0,109	-----	-----	0,18	0,115	0,101	0,031		
KMJ 02	Blechnaceae	<i>Blechnum</i> sp	0,030	0,065	0,023	0,062	0,040	0,030	0,07	0,029	0,059	<b>0,073</b>		
KMJ 03	Ericaceae	<i>Cavendishia nitida</i>	0,030	0,050	0,018	0,109	0,290	<b>0,126</b>	0,08	0,122	0,064	0,018		
KMJ 04	Ericaceae	<i>Thibaudia floribunda</i>	0,006	0,126	<b>0,222</b>	-----	0,050	-----	0,03	0,043	0,120	<b>0,098</b>		
KMJ 05	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i> sp	0,042	0,058	0,015	-----	0,020	-----	-----	0,007	0,064	<b>0,313</b>		
KMJ 06	Araceae	<i>Anthurium</i> sp	0,000	0,027	0,000	0,023	0,040	<b>0,081</b>	0,02	-----	0,025	-----		
KMJ 07	Aspleniaceae	<i>Asplenium</i> sp	0,006	0,200	<b>0,352</b>	0,016	0,160	<b>0,486</b>	0,04	0,036	0,267	<b>0,262</b>		
KMJ 08	Bromealiaceae	<i>Thillandsia denudata</i>	0,036	0,012	0,004	0,070	0,030	0,020	0,02	0,094	0,015	0,006		
KMJ 09	Ericaceae	<i>Macleania rupestris</i>	0,006	0,087	<b>0,154</b>	0,062	0,040	0,030	0,07	0,072	0,037	0,018		
KMJ 010	Ericaceae	<i>Gaultheria erecta</i>	0,006	0,077	<b>0,137</b>	0,008	-----	-----	0,07	0,065	0,074	0,040		
KMJ 011	Begoniaceae	<i>Begonia ferruginea</i>	0,018	0,005	0,003	0,016	-----	-----	0,03	0,050	0,009	0,006		
KMJ 012	Polypodiaceae	<i>Pecluma</i> sp	0,291	0,045	0,002	0,178	0,050	0,013	0,14	0,094	0,027	0,010		
KMJ 013	Bromeliaceae	<i>Thillandsia complanata</i>	0,073	-----	0,000	0,101	-----	-----	0,04	0,158	0,003	0,001		
KMJ 014	Polypodiaceae	<i>Thelypteris</i> sp	0,309	0,040	0,001	0,140	0,090	0,030	0,11	0,101	0,065	0,023		
KMJ 015	Cyperaceae	<i>Rhynchospora</i> sp	0,012	0,057	0,050	-----	0,100	-----	0,07	0,014	0,041	<b>0,102</b>		
KMJ 016	Cyatheaceae	<i>Cyathea</i> sp	0,048	0,018	0,004	0,023	0,090	<b>0,182</b>	0,02	-----	0,030	-----		

fueron fragmentos epidermales no reconocidos por no encontrarse en la colección de referencia. De los fragmentos no reconocidos, se debe decir que posiblemente pueden corresponder a partes de una misma planta, por lo que no es proporcional a un número determinado de plantas. De los fragmentos epidermales no reconocidos posiblemente muchos de éstos pertenecen a fibras y tejidos conductores (xilema y floema), los cuales son menos digeribles en comparación con las hojas (Randolph *et al.* 1991, Cortés *et al.* 2002). Este hecho puede ser respaldado, ya que los individuos adultos de esta especie consumen grandes

cantidades de fibras (Osbaht, 1996a), lo cual se relaciona con la presencia de un ciego grande en su tracto digestivo que facilita la digestión de este tipo de material fibroso (Parra & Osbaht 2000).

Las especies *Gaultheria erecta*, *Pecluma* sp., *Thelypteris* sp. y *Rhynchospora* sp. identificadas en las heces de *C. taczanowskii* equivalen a plantas que no habían sido reportadas en trabajos previos (Delgado *et al.* 1991; ECOTECNIA, 1997; Núñez & Jorgenson, 1996; Osbaht, 1996a; 1999; 2003).

Las plantas con los mayores porcentajes en la dieta de *C. taczanowskii* en el cerro de Manjuí, Zipacón fueron: *Asplenium* sp., *Chusquea* sp. y *Thibaudia floribunda* (Figura 1). Sin embargo, al calcular globalmente el índice de selección estandarizado, se encontró que *C. taczanowskii* registró preferencias relativas respecto a *Th. floribunda* ( $Bi = 0,188$ ), *Phytolacca* sp. ( $Bi = 0,138$ ), *Asplenium* sp. ( $Bi = 0,306$ ), mientras que las once plantas restantes registraron valores inferiores a la relación estandarizada ( $1/n = 0.063$ ;  $n = 16$ ), por lo cual, se consideran de rechazo relativo (Manly *et al.* 1993). El valor del índice de selección para *Rhynchospora* sp. ( $Bi = 0,063$ ), al ser equivalente a la relación estandarizada, indica que *C. taczanowskii* rechaza su consumo. La eventualidad que la interpretación del análisis del índice de preferencia se puede sesgar de acuerdo al hecho que un recurso consumido rara vez puede ser abundante en el medio o viceversa (Krebs 1999), se evidenció al aplicar el índice de rangos de preferencia sugerido por Johnson (1980) incluyendo a *Chusquea* sp. y *C. nitida*, como especies altamente preferidas por *C. taczanowskii* modificando, a su vez, las preferencias

relativas con respecto a los demás recursos alimentarios evaluados (Figura 2).

La dieta evaluada para *C. taczanowskii* permitió corroborar el consumo tanto de hojas (52,90%), seguido por el rizoma (20,22%), el tallo (14,28%) y los frutos (12,57%). Aún cuando el elevado consumo de hojas se explica por el hecho que se encontraron fragmentos vegetales de las 16 especies de plantas evaluadas, al calcular el índice de selección, se encontró que *C. taczanowskii* es selectivo en su consumo, con preferencias relativas respecto a *Th. floribunda* ( $Bi = 0,317$ ), *Asplenium* sp. ( $Bi = 0,167$ ), *G. erecta* ( $Bi = 0,096$ ) y *Rhynchospora* sp. ( $Bi = 0,069$ ). Respecto a los tallos, se encontraron fragmentos de nueve de las especies vegetales analizadas, donde sin embargo únicamente *Asplenium* sp. ( $Bi = 0,482$ ), *Anthurium* sp. ( $Bi = 0,247$ ) y *Phytolacca* sp. ( $Bi = 0,139$ ) sobresalen por ser preferidos relativamente por éste roedor. Las Ericaceas son la mayor fuente de frutos, aún cuando se encontró una preferencia relativa superior hacia *Macleania rupestris* ( $Bi = 0,181$ ) y *C. nitida* ( $Bi = 0,134$ )

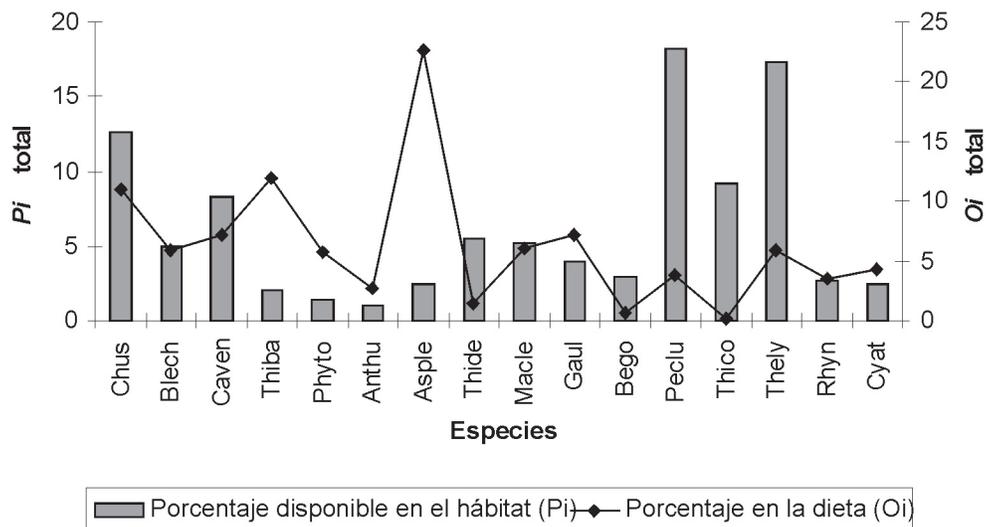


Figura 1. Disponibilidad y porcentaje en la dieta de las especies vegetales colectadas como recurso potencial alimentario de *C. taczanowskii* en los bosques estudiados en el cerro de Manjuí, Zipacón. Nomenclatura de las plantas colectadas: *Chusquea* sp. = Chus, *Blechnum* sp. = Blech, *Cavendishia nitida* = Caven, *Thibaudia floribunda* = Thiba, *Phytolacca* sp. = Phyto, *Anthurium* sp. = Anthu, *Asplenium* sp. = Asple, *Thillandsia denudata* = Thide, *Macleania rupestris* = Macle, *Gaultheria erecta* = Gaul, *Begonia ferruginea* = Bego, *Pecluma* sp. = Peclu, *Thillandsia complanata* = Thico, *Thelypteris* sp. = Thely, *Rhynchospora* sp. = Rhyn, *Cyathea* sp. = Cyat.

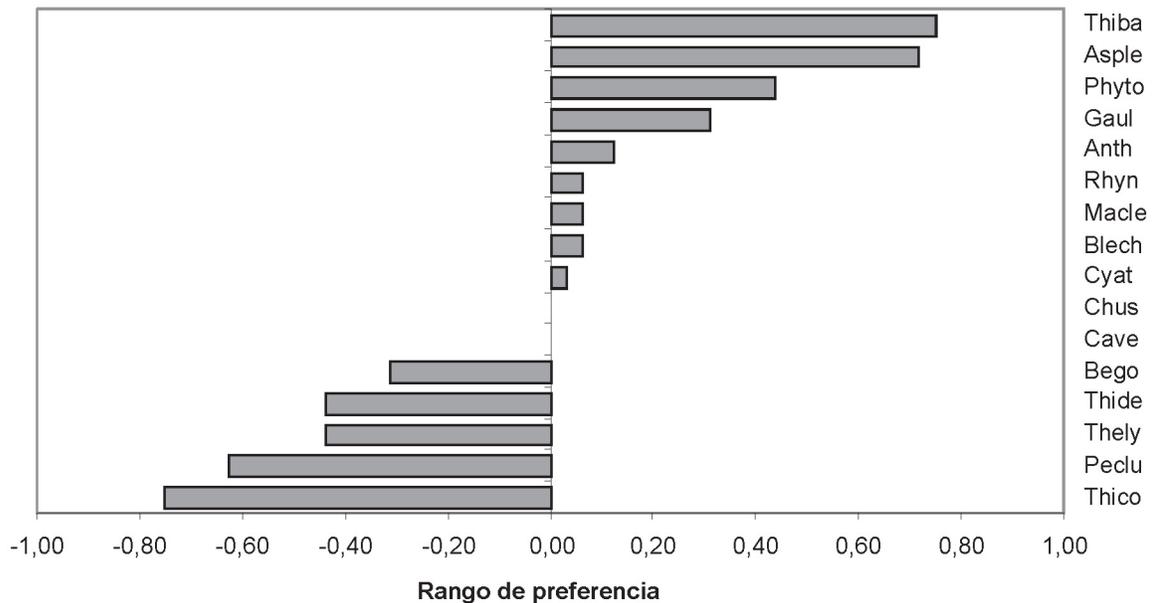


Figura 2. Rangos del índice de preferencia agrupados de acuerdo a la diferencia promedio entre la disponibilidad del recurso y la presencia en la dieta de *C. taczanowski*. Los valores cercanos a cero indican preferencia alta.

y en menor grado hacia *Th. floribunda* ( $Bi = 0,101$ ). Sin embargo, en este caso, las diferencias en el índice de selección se pueden encontrar ligadas a los períodos de fructificación propios de cada especie. Adicionalmente, *C. taczanowski* registró una elevada preferencia hacia los frutos de *Phytolacca* sp. ( $Bi = 0,457$ ). En el caso de los rizomas, indudablemente los helechos son la mayor fuente disponible de este recurso alimentario, aunque *Asplenium* sp. ( $Bi = 0,685$ ), *Blechnum* sp. ( $Bi = 0,159$ ) y *Cyathea* sp. ( $Bi = 0,121$ ) fueron identificados como especies preferidas en la dieta.

Esta selectividad de forrajeo, de acuerdo a la parte de la planta consumida, se observó igualmente al analizar el hecho de que los cuatro fragmentos de bosque presentaron diferencias en la composición florística con relación al recurso alimenticio evaluado. Es así como en los bosques (B1) y (B4) no se encuentra representada *Anthurium* sp., mientras que *Th. floribunda* y *Phytolacca* sp. están ausentes en (B2) y *Cyathea* sp. no se registró para el bosque (B4). Sin embargo, los fragmentos vegetales recuperados de la materia fecal colectada en los cuatro bosques no coinciden en todos los casos con la presencia o ausencia del recurso alimenticio (Tabla 1), siendo extremo el hecho que en el bosque

(B3) aunque está presente el recurso no se encontró materia fecal de la especie, es decir, *C. taczanowski* aunque consume con mayor o menor preferencia las 16 especies de plantas evaluadas, se desplaza a través de los fragmentos de bosque seleccionando los recursos alimenticios disponibles de acuerdo a la presencia de frutos de *Phytolacca* sp. y de hojas, como es el caso de *Th. floribunda*, de *Anthurium* sp. y de *Cyathea* sp.

Esta situación corrobora la hipótesis planteada por Osbahr (2003) en el sentido de que *C. taczanowski* selecciona el recurso alimenticio de acuerdo a las necesidades calóricas y requerimientos nutricionales cuantitativos, lo cual afirma, por una lado, la selectividad de la especie y, por el otro, su baja dependencia sobre las abundancias de los recursos disponibles en el hábitat. Sin embargo, el consumo de hojas, tallos, frutos y rizoma de una misma planta o de varias plantas puede depender del estado fenológico vegetal de las mismas, por lo que se podría estar subestimando o sobrestimando ciertas partes de una misma planta, dependiendo de su ciclo reproductivo (Anthony & Smith 1974). Este hecho se evidencia en el caso del consumo de hojas de *Chusquea* sp. con un porcentaje en la dieta del 10,39%, recurso de mayor preferencia por parte de *C. taczanowski*

(Figura 2), por hallarse esta planta en su fase de floración durante el período de muestreo y, por lo tanto, con mayor número de rebrotes con hojas jóvenes de mejor palatabilidad, con la posibilidad de ser digerido.

Al analizar la posibilidad que la especie seleccione el alimento de acuerdo a la abundancia del mismo en el medio, se observa que los índices de selección no parecen estar ligados a plantas con mayores abundancias totales en el hábitat. Esta afirmación, se confirma al realizar el análisis de correlación de Pearson entre las dos variables, el cual indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre las dos variables ( $r = -0,059$   $F_{(1,17)} = 0,060$   $n = 19$ ), indicando que la selección del recurso alimenticio es explicada únicamente en el 6% de los casos por la abundancia en el hábitat. Aunque la distribución espacial ligada a las condiciones ambientales y al grado de intervención del bosque favorece la formación de parches alimenticios con abundancias elevadas de determinado recurso (Osbahr, 2004), no necesariamente es el factor explícito para que la especie lo seleccione en mayor o menor grado.

Teniendo en cuenta los análisis fecales y las proporciones de los ítems alimentarios identificados mediante la técnica microhistológica, se encontró que, según el índice estandarizado de Hurlbert (1978), *C. taczanowskii* mostró una amplitud de nicho relativamente baja ( $B_A' = 0,247$ ), lo cual indica que la especie discrimina entre los estados de recursos evaluados, tendiendo a ser selectiva (Krebs, 1999). Esta selectividad, se encuentra ligada al consumo diferencial de los diferentes estados fenológicos de las plantas, discriminando en menor grado las hojas ( $B_A' = 0,235$ ) y los frutos ( $B_A' = 0,136$ ), mientras que es más especializado en el consumo de los tallos ( $B_A' = 0,099$ ) y de los rizomas ( $B_A' = 0,064$ ).

## CONCLUSIONES

La relación no significativa entre el índice de selección y el recurso disponible corroboran que la especie no selecciona los recursos alimentarios de acuerdo a su abundancia en el hábitat.

De acuerdo a los índices de selección y de amplitud de nicho *C. taczanowskii* es una especie que utiliza de manera selectiva los estados fenológicos de las

plantas, desplazándose grandes distancias entre los bosques muestreados en el Cerro Manjuí, en búsqueda de alimento.

Plantas como *Th. floribunda*, *Phytolacca* sp. y *Asplenium* sp. constituyen un recurso alimentario importante para la especie, debido a que son consumidas en diferentes estados fenológicos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Guillermo Corredor por brindar la posibilidad de desarrollar la investigación en la Finca El Manjuí y a Mateo Hernández por su colaboración durante la colecta y la determinación del material vegetal.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMAYA, J.A.; RODRÍGUEZ, A. 2004. Aspectos etológicos del tinajo de páramo (*Agouti taczanowskii*) en cautiverio. Trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ciencias de Educación, Bogotá, 100p.
- ANTHONY, R.G.; SMITH, N.S. 1974. Comparison of rumen and fecal analysis to describe deer diets. *J. Wildlife Management*. 38(3):535-540
- BAILLIE, J. 1996. *Agouti taczanowskii*. En: 2006 IUCN Red List of Threatened Species. Disponible desde Internet en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (con acceso 08/0307).
- BARTOLOMÉ, J.; FRANCH, V.; GUTMAN, M.; SELIGMAN, V. 1995. Technical note: Physical factors that influence fecal analysis estimates of herbivore diets. *J. Range Management*. 48(3):267-270.
- BATZLI, G.O.; COLE, F.R. 1979. Nutritional Ecology of Microtine Rodents: Digestibility of forage. *J. Mammalogy*. 60:740-750.
- CASTRO, J.J. 1996. Estudio del Tinajo o Borugo (*Agouti taczanowskii*) (Agoutidae: Rodentia) en cautiverio. En: Seminario Internacional sobre Investigación, conservación y manejo de *Agouti paca* y *Agouti taczanowskii* comúnmente llamados Boruga, Guartinaja o Lapa. Santa Marta. Colombia. 40p.

- COLE, F.R.; LOOPE, L.L.; MEDEIROS, A.C.; RAIKES, J.A.; WOOD, C.S. 1995. Conservation implications of introduced game birds in high-elevation hawaiian shrubland. *Conserv. Biol.* 9:306-313.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR. 2005. Formulación participativa del Plan Integral de Manejo del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables del Sector Salto del Tequendama-Cerro Manjuí. Andean Geological Services LTDA. Bogotá DC. 1266p.
- CORTÉS, A.; RAI, J.R.; MIRANDA, E.; JIMÉNEZ, J.E. 2002. Hábitos alimenticios de *Lagidium viscacia* y *Abrocoma cinerea*: roedores sintópicos en ambientes altoandinos del norte de Chile. *Rev. Chilena de Historia Natural.* 75:583-593.
- DAJOZ, R. 2002. Tratado de Ecología. 2ª edición. Ed. Mundiprensa, 510p.
- DANIEL, W. 2004. Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª Edición. Limusa. México. 755p.
- DELGADO, B.I.; OÑATE, O.L.; NIETO, J.A. 1991. Algunos aspectos bioecológicos de la guagua de páramo (*Agouti taczanowskii*) y perspectivas de su manejo en zoológico. Trabajo de grado. Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias de la Educación, Departamento de Química y Biología, Bogotá, 120p.
- DRICKAMER, L. 1971. Experience and selection behavior in the food habits of *Peromyscus*: use of olfaction. *Behaviour* 61:267-287.
- ECOTECNIA, 1997. Estudio de caracterización de cadenas sucesionales del hábitat para la Guagua (*Agouti taczanowskii*) en la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural los Nevados. Informe técnico Corpocaldas, Manizales. 96p.
- ETTER, A., WYNGAARDEN, V. 2000. Patterns of Landscape Transformation in Colombia, with Emphasis in the Andean Region. *AMBIO: A Journal of the Human Environment.* 29(7):432-444.
- GAVIÑO, G.; JUÁREZ, C.; FIGUEROA, H.H. 1974. Técnicas biológicas selectas de laboratorio y de campo. Ed. Limusa. México. 251p.
- GUERRERO, S.; BADI, M.; ZALAPA, S.; FLORES, A. 2002. Dieta y nicho de alimentación del coyote gris, mapache y jaguarundi en un bosque tropical caducifolio de la costa Sur del estado de Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana.* 86:119-137
- HARTMAN, G. 1994. Long-Term Population Development of a Reintroduced Beaver (*Castor biber*) population in Sweden. *Conserv. Biol.* 8:713-717.
- HOLECHEK, J.L.; VAVRA, M.; PIEPER, R.D. 1982. Botanical Composition Determination of Range Herbivore Diets: A review. *J. Range Management* 35: 309-315.
- HURLBERT, S.H. 1978. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology.* 59:67-77.
- IUCN, 2007. 2007 IUCN Red List of Threatened Species. Disponible desde Internet en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (con acceso el 25/10/07).
- JOHNSON, D.H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61:65-71.
- KRONFELD, N.; DAYAN, T. 1998. A new method of determining diets of rodents. *J. Mammalogy.* 79:1198-1202.
- KREBS, C.H. 1999. *Ecological Methodology.* 2<sup>nd</sup> Ed. Menlo Park. California. 620p.
- LEE, G.J.; MACGREGOR, C.M. 2004. Comparison of a microhistological analysis of faeces and alkane concentrations of faeces to estimate the botanical composition of the diet of grazing sheep. *Animal Production in Australia.* 25:108-111.
- LOU, S.; YURRITA, C. 2005. Análisis del nicho alimentario en la comunidad de murciélagos frugívoros de Yaxhá, Petén, Guatemala. *Acta Zoológica Mexicana* 21(1):83-94.

- MANLY, B.F.J.; McDONALD, L.L.; THOMAS, D.L. 1993. Resource selection by animals: Statistical design and analysis for field studies. Chapman & Hall, London, 595p.
- MESERVE, P.L. 1981. Trophic relationship among small mammals in a Chilean semiarid thorn scrub community. *J. Mammalogy*. 62: 304-314.
- NÚÑEZ, C.; JORGENSON, J. P. 1996. Uso del hábitat natural y distribución de la población de "borugo de páramo" *Agouti taczanowskii*, en relación con la alteración de los ecosistemas de alta montaña, en el Parque Nacional Natural Chingaza. Trabajo de grado. Pontificia U. Javeriana. Fac. de Ciencias. Depto. *Biología*. Bogotá DC. 137p
- OSBAHR, K. 1995. Distribución geográfica de tres especies de roedores histricomorfos en la región andina de Colombia. Informe técnico. Programa de Becas para la conservación. WCI, FES. GEA. 120p.
- OSBAHR, K. 1996a. Disponibilidad de recursos alimenticios para el tinajo de páramo (*Agouti taczanowskii*) en el bosque nublado altoandino relictual en la región del alto del vino (Cundinamarca). Informe final. FONDO FEN. UDCA. Bogotá DC. 111p.
- OSBAHR, K. 1996b. Evaluación preliminar de las causas de presión de origen antrópico sobre las poblaciones naturales de *Agouti taczanowskii*. En: Memorias Seminario Internacional sobre Investigación, Conservación y Manejo de *Agouti paca* y *Agouti taczanowskii*, comúnmente llamados Boruga, Guartinaja o Lapa. Santa Marta, Colombia. 40p.
- OSBAHR, K. 1999. Identificación de plantas consumidas por *Agouti taczanowskii* y *Dinomys branickii* a partir de fragmentos vegetales recuperados en heces. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Científica*. 2:42-49.
- OSBAHR, K. 2003. Patrones de distribución del recurso alimenticio disponible para *Agouti taczanowskii* (Rodentia, Agoutidae) en un fragmento de Bosque Andino Nublado. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Científica*. 6(1):38-48.
- OSBAHR, K. 2004. Caracterización ambiental de un bosque andino nublado relictual y su relación con la densidad del recurso alimenticio disponible para *Agouti taczanowskii*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Científica*. 7(2):73-84.
- PARDO, A. 2004. Caracterización y uso de hábitat de *Agouti taczanowskii* en la Reserva Forestal Protectora Río Blanco (Cundinamarca). Trabajo de grado. Pontificia U. Javeriana, Fac. Ciencias. Depto. *Biología*. Bogotá, 77p.
- PARRA, A.; OSBAHR, K. 2000. Contribución al conocimiento anatómico del aparato digestivo del tinajo de páramo (*Agouti taczanowskii*, Stolzman 1865). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Científica*. 3:21-27.
- PARRA, A.; MARTÍNEZ, A.; JARAMILLO, R. 1970. Estudio general de suelos, municipios para fines agrícolas de las cuencas media y baja del río Bogotá y municipios aledaños (Depto. Cundinamarca). Instituto Geográfico "AGUSTIN CODAZZI". Volumen VI. N°6. Bogotá, 550p.
- PÉREZ-TORRES, J. 2002. Un índice para la evaluación del hábitat de *Agouti taczanowskii* (Rodentia: Agoutidae) en áreas de bosque andino nublado. *Universitas Scientiarum*. 7:51-60.
- RANDOLPH, J.C.; CAMERON, G.N.; WRAZEN, J.A. 1991. Dietary choice of a generalist grassland herbivore, *Sigmodon hispidus*. *J. Mammalogy*. 72(2):300-313.
- REICHMAN, O.J. 1975. Desert rodent diets. *J. Mammalogy* 56: 731-735.
- SÁNCHEZ, F.A.; CADENA, A.; SÁNCHEZ, P. 1999. Abundancia, diversidad y uso de hábitat de grandes mamíferos em bosque andino y reforestado em Manizales (Caldas, Colombia). Trabajo de grado, U. N. Colombia, Fac. Ciencias, Depto. *Biología*, Bogotá. 98p.
- SPARKS, D.R.; MALECHEK, J.C. 1968. Estimating percentage dry weight in diets using a microscopic technique. *J. Range Management*. 21:264-26.
- STORR, G.M. 1961. Microscopic analysis of feces, a technique for ascertaining the diet of herbivorous mammals. *J. Biol. Sci.* 14:157-164.

TOBIN, M.E.; KOEHLER, A.E.; SUGIHARA, R.T. 1994.  
Seasonal patterns of fecundity and diet of roof  
rats in Hawaiian macademia orchards. *Wildlife  
Res.* 21:519-526.

Recibido: agosto 12 de 2007

Aceptado: noviembre 6 de 2007

# CARACTERÍSTICAS DE UN GRUPO DE MUJERES EMBARAZADAS QUE SE SOMETIERON VOLUNTARIAMENTE A LA PRUEBA DE VIH EN EL HOSPITAL SAN RAFAEL DE FACATATIVÁ

## CHARACTERISTICS OF A GROUP OF PREGNANT WOMEN VOLUNTARILY TESTED FOR HIV ANTIBODIES IN THE FACATATIVA'S SAN RAFAEL HOSPITAL

William Onatra H.<sup>1</sup>  
Álvaro Cuervo<sup>2</sup>  
Myriam Castañeda<sup>3</sup>  
Fernando Charry<sup>4</sup>  
Sandra Barreto<sup>5</sup>  
Angélica Moreno<sup>4</sup>  
Edisson Marín<sup>4</sup>

### RESUMEN

A nivel mundial, el principal factor de riesgo de contagio en la mujer en la adquisición del VIH son las relaciones sexuales. Prevenir la transmisión vertical madre-hijo es el objetivo del programa y, con este estudio, se deseaba conocer la prevalencia de VIH en mujeres embarazadas, en el municipio de Facatativá. En la consulta externa de control prenatal, se buscaron las madres con factores de riesgo para VIH y SIDA, quienes recibieron una asesoría y una evaluación pre-test. Se registraron 620 mujeres embarazadas que se sometieron voluntariamente a la prueba de VIH; el 65% eran menores de 24 años. De los

620 casos registrados, el 84,35% tenía seguridad social. Solo dos de ellas salieron positivas, una en la contra muestra negativa. A los casos positivos, se les aplicó la prueba confirmatoria de Western Blot. Se ejecutó el protocolo propuesto de AZT por cuatro semanas antes del parto. Después de éste la madre recibió nueva asesoría, se suprimió la lactancia y se le ofreció lactancia artificial por doce meses. Con una prevalencia del 0,06%, las principales características de la población mostraron: el promedio de la menarquia fue de 12,9 años, el inicio de las relaciones sexuales estaba por debajo de los 16 años (44%), el 50% no tuvo orientación sexual y solo fue obtenida en el colegio (36%). Su primer embarazo ocurrió por debajo de los 22 años. Este programa permite confirmar que la prueba durante control prenatal detecta madres VIH positivas y su manejo adecuado previene la infección vertical madre-feto.

Palabras clave: VIH, SIDA, embarazo, adolescencia.

### SUMMARY

At world-wide level, sexual intercourse is the main risk factor for women to be infected by VIH. Prevention of vertical mother-child transmission is the objective of a

<sup>1</sup> Médico Ginecólogo. Docente de Ginecología y Obstetricia U.D.C.A Carrera 9 No 48-51 Con. 206. Bogota. Colombia. wonatra@gmail.com

<sup>2</sup> Médico Epidemiólogo. Subgerente Hospital San Rafael de Facatativá (HSRF)

<sup>3</sup> Enfermera Jefe de Consulta Externa HSRF

<sup>4</sup> Grupo de Médicos Especialistas. Epidemiólogo. Psicología, Consulta Externa HSRF.

<sup>5</sup> Estadística Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A

program and, with this study, we wanted to determine the prevalence of VIH in pregnant women in the municipality of Facatativá. In the external consultation of prenatal control, we looked for women with risk factors for VIH and AIDS; they received advisory and a pre-test evaluation was performed. 620 voluntary pregnant women were registered and underwent the VIH test; 65% were younger than 24 years. Of the 620 cases 84.35% had social security. Only two were found to be positive, later, one showed to be negative in the contra test. The positive cases were confirmed by the Western Blot test. The protocol proposed by AZT was applied during fore weeks before childbirth. After the childbirth the mother again received advices, the lactation was suppressed and artificial lactation implemented during twelve months. With a prevalence of 0.06%, the main characteristics of the population showed: the average of menarche was of 12.9 years; the initiation of sexual relations was before the age of 16 years (44%); 50% of the women had not received sexual orientation and only 36% had it obtained at school. The first pregnancy happened before the age of 22 years. This program confirms that the prenatal test detects positive VIH mothers and its adequate treatment prevents the vertical infection mother-foetus.

Key words: HIV, AIDS, pregnancy, adolescence

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo al programa de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre el Virus de la Inmunodeficiencia (VIH), ONUSIDA (2004) calculó que para julio del 2004 habían en el mundo 37,8 millones de personas con VIH-Sida, de los cuales 17 millones eran mujeres, 18,7 millones hombres y 2,1 millones menores de 15 años. El 67% viven en el África y el 5,4% en América Latina y el Caribe. Se estima que 630 menores de 15 años son infectados anualmente, mueren 490.000, 90% en el África. En América Latina, se presentan 140.000 nuevos casos por año y 65.000 mueren (ONUSIDA, 2006). La proporción de mujeres infectadas que en 1997 era del 41%, para el 2004 aumentó al 50% (García *et al.* 2005). Los casos colombianos son superados por Brasil y México y su prevalencia se ha calculado en 0,6-0,7% que corresponde a unas 58.000 mujeres en edad fértil. Un estudio de transmisión madre-hijo muestra que de 200.853 pruebas en mujeres embarazadas, 377 con VIH, para una probabilidad de transmisión de 0,19%; 285

tuvieron algún tipo de tratamiento, de quienes nacieron doce niños infectados (García *et al.* 2005). El predominio era mayor en hombres para 1998, proporción de 13:1, al aumentar la relación heterosexual en ambos sexos para el 2004, fue de 3:1 (Prieto, 2005). La prevalencia es baja en Venezuela y Chile, con el 2% y alta en Argentina, Colombia y Brasil con el 6%. La prevalencia en Colombia es del 3,3% en Barranquilla, Santanderes y Quindío y de un 4% en trabajadoras sexuales (ONUSIDA, 2006).

Dado que el diagnóstico y manejo oportuno del VIH durante el embarazo previene la contaminación del recién nacido, se han postulado varios esquemas de diagnóstico y terapéutica. Recientemente, se han introducido algunas modificaciones en el desarrollo de intervenciones eficaces y asequibles que reducen la probabilidad de que una mujer transmita el VIH a su hijo (Fonseca & Prieto, 2005). Las tres intervenciones más importantes para las mujeres VIH positivas son: el suministro de fármacos anti-retrovirales tipo zidovudina (ZDV), adecuada atención del parto (cesárea) y la supresión de la lactancia (Wade *et al.* 2004). Se exige, en estos casos, que la mujer sepa que esta infectada, que necesita un asesoramiento y pruebas que permitan conocer su estado respecto al VIH. Los servicios de asesoría y de pruebas con relación al embarazo en los diferentes servicios de salud pueden constituir una puerta de entrada valiosa para la prestación del servicio a mujeres sanas y asintomáticas, así como a su pareja (Ministerio de la Protección Social, 2000). Las asistencias voluntarias no se limitan a prevenir la transmisión materno infantil del VIH sino que serán una fuente de apoyo e información. Las pruebas de VIH, se han utilizado como diagnóstico para confirmar el SIDA sintomático. Diferentes estudios confirman que la asesoría y las pruebas voluntarias en poblaciones grandes potencian los comportamientos seguros a nivel individual reduciendo la ignorancia, el miedo y el estigma de estar infectado (CDCP, 2001). Se propone en los diferentes centros de salud una oficina de asesoría a la mujer embarazada y que en los casos de VIH positivos, se les brinde un apoyo psicológico, farmacológico y de seguimiento al recién nacido (Shetty & Maldonado, 2001).

A medida que aumenta el contagio, se incrementa la posibilidad de infección durante el embarazo que se realiza por tres mecanismos: a) transmisión in útero, donde a veces se ha identificado VIH en el tejido fetal a la octava semana de que representa el 40%-80% y es causada por el contacto fetal con la sangre y el líquido amniótico. c) transmisión por la leche materna, causa en un 14%-30% (Fowler *et al.* 2000). Tan rápido como mueren las células

infectadas son reemplazadas, hasta que sobreviene una disfunción inmunitaria para hacer ineficaz el control del virus, llegando progresivamente a las condiciones clínicas que definen el SIDA (Kuhn *et al.* 2000).

Desde la publicación del Pediatrics AIDS Clinical Trials Group (PACGT 076) (Camparelli *et al.* 2003), diversos estudios mostraron que la terapia antirretroviral reducía la transmisión vertical de VIH madre-hijo inicialmente con zidovudina (ZDV) como monoterapia, después con dos y posteriormente con tres fármacos. En Colombia, el Sistema de Seguridad Social en Salud (SGSSS) no ha logrado implantar la cobertura total alcanzando solo el 66% debido a las restricciones y las dificultades financieras.

El presente estudio pretendió evaluar la frecuencia de VIH-SIDA en mujeres gestantes que asistieron a control prenatal en el Hospital General de Facatativá, prestar asesoría y manejo a los casos sero-positivos y de esta forma prevenir la transmisión vertical madre feto. Hace parte del proyecto “Reducción de la transmisión Madre-Hijo del VIH en Colombia”, auspiciado por el programa conjunto de la ONU sobre el VIH-SIDA (ONUSIDA), el INS y la Fed. Col. de Coop. de Hospitales (Min. Prot. Soc, 2003; García *et al.* 2005).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de un estudio prospectivo de prevalencia para detectar madres embarazadas VIH (+) y de prevenir la transmisión vertical al feto aplicando el Protocolo propuesto por UNUSIDA. En la consulta externa de control prenatal, se buscaron las madres con factores de riesgo para VIH y SIDA, tales como inicio de relaciones tempranas, diferentes compañeros sexuales, drogadicción, antecedentes de tatuajes, violación. Las pacientes seleccionadas recibieron asesoría y un pre-test por parte del Departamento de Enfermería Sección de Prevención y Promoción del hospital. Previo consentimiento, se tomaron y se remitieron las muestras de sangre diariamente al laboratorio de referencia de la Secretaría de Salud de Bogotá.

Como método de tamizaje, se utilizó, la técnica de inmunoadsorción ligada a enzimas (ELISA) – ultramicroelisa Tecnosuma y para la confirmación de la infección, la técnica de Western blot (Murex HIV de Abbott) aceptando como positivos las recomendaciones

CDC de Atlanta (CDCP, 2001). La prueba de ELISA utiliza antígenos derivados del virus íntegro y los une a recipientes de micro-titulación. Se coloca el suero o plasma de la paciente en los recipientes y si hay anticuerpos contra VIH, se unen al antígeno presente. Se proporciona, además, un sustrato cromógeno para la enzima potencialmente unida y se lee la intensidad del color que se genera en un espectrofotómetro. La lectura del color es proporcional a la cantidad del complejo unión enzima-anticuerpo adherido al antígeno de VIH que se encuentra en el recipiente (Endres, 1996). Las pruebas que se disponen en el comercio tienen tasas de sensibilidad y especificidad entre 98 y 100%. Se aplicó la técnica de Western Blot. Mediante la comparación de la localización de las bandas con las de testigo es posible determinar si el suero de la paciente contiene anticuerpos específicos para VIH (Celum *et al.* 2001).

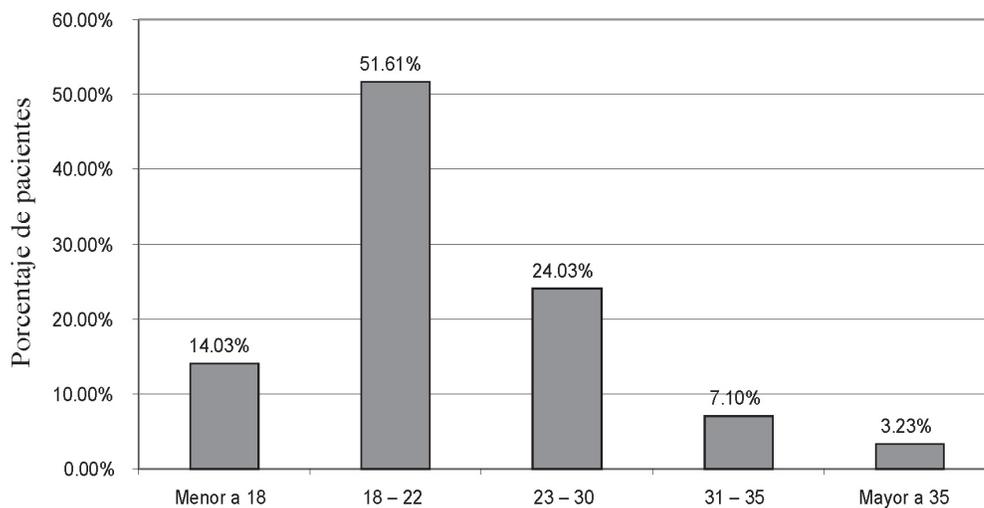
El protocolo propuesto para las madres VIH positivas confirmadas indica la administración de Zidovudina 300mg vía oral cada 12h durante 15 días antes del parto, cesárea, suspensión de la lactancia y suministrar leche complementaria al recién nacido (ONUSIDA 2002). Los casos seropositivos fueron evaluados por el Departamento de Obstetricia y Ginecología del Hospital San Rafael de Facatativá, los cuales recibieron el AZT cuatro semanas antes del parto. El parto, se programó para cesárea electiva. La Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A apoyó el programa con un docente y los estudiantes rotantes por el servicio de Obstetricia y Ginecología encargados de las visitas domiciliarias. Después del parto, la madre recibió nueva asesoría por parte del Departamento de Enfermería, se suprimió la lactancia y se le practicó el seguimiento al recién nacido, de acuerdo al protocolo. El departamento de Pediatría del Hospital evaluó cada tres y seis meses a estos niños con muestras seriadas para VIH, de acuerdo a la resolución 412 del Ministerio de Salud. El departamento de Trabajo Social evaluó el ambiente socio-económico familiar y de su entorno.

Los formularios de recolección incluían: fecha ingreso, dirección, edad, ocupación, seguridad social, estado civil, factores de riesgo (antecedentes de enfermedades sistémicas y de transmisión sexual ETS), menarquia, ciclos, última regla, semanas de embarazo, número de gestaciones, partos o abortos, inicio de relaciones sexuales, resultados de la prueba, registro de la asesoría y consentimiento informado; para los casos positivos, protocolo terapéutico: fecha de la cesárea, fecha

de controles al recién nacido y datos de laboratorio confirmatorio de VIH. Los datos recolectados, se registraron en una base de Epi-info y se utilizaron pruebas paramétricas y no paramétricas. La probabilidad de transmisión madre e hijo, se relacionó con el efecto de la carga viral pre-parto y la obtenida en el recién nacido. Este proyecto piloto fue auspiciado por ONUSIDA Colombia, INS, FEREDSALUD con cobertura nacional, donde participó el Hospital San Rafael de Facatativá con la Coordinación de las Secretarías de Salud de Cundinamarca y de Bogotá,

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Información general:** Del total de 620 mujeres embarazadas que aceptaron la prueba de VIH-SIDA durante la consulta prenatal del Hospital, se obtuvieron los siguientes resultados: un promedio de edad entre 18 y 22 años (Gráfica 1). La mayoría de ellas tienen Servicio de Seguridad en Salud beneficiando 406 casos (65,48%); por parte de la Asegurada de Riesgos (ARS), 117 casos (18,87%); un número alto de 116 desplazados (18,7%). No sabe o no responde 97, casos para un 15,65%. En



Gráfica 1. Porcentaje de promedio de edad de mujeres embarazadas en consulta prenatal.

un estudio con 200.853 pruebas en mujeres embarazadas en Colombia (García *et al.* 2005), se detectaron 337 gestantes positivas, con promedio de edad de 24 años. De las 620 pruebas, 486 recibieron asesoría pre-test y pos-test y 134 se sometieron a la prueba sin evaluación previa. Del total de los exámenes realizados dos fueron positivas con una contra-muestra negativa (Tabla 1). El

caso positivo, se manejó con el protocolo propuesto por el Ministerio de la Protección Social (2003). La prevalencia, de acuerdo al estudio nacional, es de 0,19%, los departamentos con mayor porcentaje son Quindío 0,67%, Guajira 0,63%, Santander 0,48% y Cordoba 0,64% (García *et al.* 2005).

Tabla 1. Selección de pacientes.

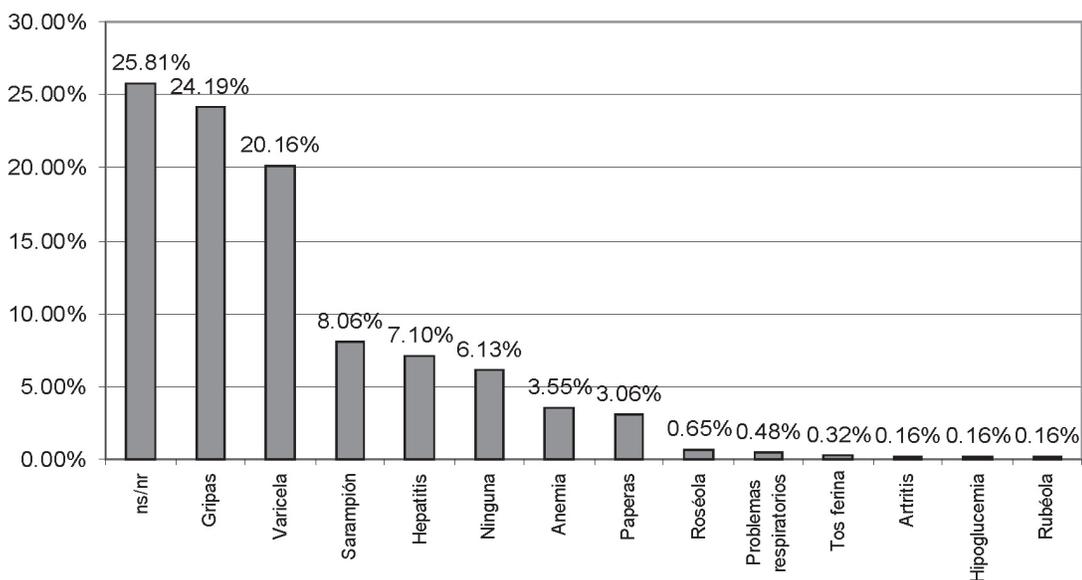
SELECCIÓN	SI	%	NO	%	Ns/NR	%
Información	486	78,39	4	0,65	130	20,97
Asesoría	486	100				
Prueba	486	100				
Prueba positiva	2					
Prueba confirmatoria	1					

Referente al estado civil, se encuentran en unión libre 312 casos (50,3%), no sabe o no responde 119 (19,2%), separadas 106 (17,1%), solteras 46 casos (7,4%) y casadas un 6%. En comparación, a nivel nacional, de 337 embarazadas positivas, el 72% presentaban unión estable y el 27% son solteras. A nivel de ocupación, la mitad de ellas, un 79,2% viven en el hogar, empleada, 81 casos (13,1%); cesante 52, (8,4%); 51 estudiantes (8,2%) y un caso de desempleada (0,16%); mientras que de acuerdo a García *et al.* (2005), el 90% son amas de casa y un 4% trabajadoras sexuales.

En cuanto a los factores de riesgo, se encontraron con antecedentes de tatuaje 102 casos; el resto, infecciones de transmisión sexual, dos casos (0,3%), transfusiones

12 casos (1,94%), accesorios percútanos (pircing), uno, para un 0,2%. Como antecedentes de enfermedades sistémicas llama la atención que todas obedecen a procesos virales (gráfica 2).

**Antecedentes ginecológicos:** El promedio de la menarquia para el grupo fue de 12,9 años, encontrándose menos de los 11 años, un 2,6%; entre los 11 y 13 años, un 49,7%; entre los 14-18 años, un 28,7% y no sabe o no responde, el 19,03%. Con relación a la orientación sexual no existe en un 40,97%, no sabe o no responde el 20,6% y solo hay información en el colegio en 184 casos (30%). Del resto la información obtenida es muy pobre: en un centro de salud (3,71%), la EPS/ARS y en charlas 1,94%, y en el hogar, un 1,13%.



Gráfica 2. Porcentaje de antecedentes de enfermedades sistémicas.

El inicio de las relaciones sexuales estuvo por debajo de los 16 años en el 44%, lo cual explica el promedio de embarazos a esta edad y el desconocimiento de la sexualidad en este grupo. Solamente un 8,87% inicia las relaciones a una edad mayor de 19 años y como dato curioso, se obtuvo que el 20,32% respondió: no sabe, no recuerda. En general es un grupo joven, con un primer embarazo en el 20% de los casos, antes de los 18 años.

A nivel mundial, el principal factor de riesgo de contagio en la mujer en la adquisición del VIH son las relaciones sexuales, ya que más del 90% de las mujeres infectadas por el VIH/SIDA en los países en desarrollo

han contraído la infección por transmisión heterosexual (ONUSIDA, 2004). En la mayoría de los casos, estas mujeres tenían relaciones sólo con su pareja estable lo que avala la vulnerabilidad de ellas al contagio, el cual está en directa relación con el comportamiento de su pareja (bisexualidad, drogadicción, promiscuidad) (Urrea-Giraldo *et al.* 2006). Este resultado contrasta con el estudio de García *et al.* (2005), el cual mostró que de 337 mujeres embarazadas positivas, el 4% eran trabajadoras sexuales.

En América Latina, se estima que 1,4 millones de personas viven con VIH/SIDA y que 150.000 adquirieron la infección

durante el año 2000, siendo la principal modalidad de contagio, al igual que en Chile, la exposición homosexual, observándose un crecimiento sostenido de la transmisión heterosexual, relegando a un tercer lugar la vía sanguínea y la de la transmisión vertical, esta última estimada en un 1,5% del total de los casos, excluyendo a aquellos sin diagnóstico definitivo (pérdida de seguimiento de 27 niños) (Pérez & Dabis, 2003; Mor *et al.* 2006).

Son varias las razones que explican el por qué la mujer es más susceptible de adquirir la infección por VIH que el hombre (Stringer & Vermund, 1999). Dentro de estos, se deben conocer: a) La transmisión sexual del virus es varias veces mayor del hombre a la mujer que viceversa, presentando mayor riesgo aquellas mujeres que presenten una mucosa vaginal adelgazada o desprovista de mecanismos fisiológicos de defensa (púberes, posmenopáusicas). b) Vaginitis asintomática de transmisión sexual, las que frecuentemente no son diagnosticadas, alterando la identidad de la mucosa vaginal. c) Dependencia al hombre económica, social y emocionalmente, lo que le dificulta el rechazo a tipos de relaciones sexuales de alto riesgo. d) Pautas culturales que alientan la promiscuidad en el varón, lo que aumenta el riesgo de contagio en las monógamas y e) Falta de fácil acceso a métodos preventivos controlados por la mujer. Todo lo anterior avala la importancia de la educación de la sexualidad humana a todo nivel poblacional, proporcionando la información necesaria y reconociendo el derecho de la mujer a informarse para así lograr que ella tome las medidas apropiadas para protegerse y prevenir la infección por el VIH (OPS, 1999).

VIH y embarazo: Estudios epidemiológicos sugieren que las tasas de embarazos en mujeres seropositivas que no han presentado SIDA son comparables con aquellas no infectadas, mientras que las que desarrollaron la enfermedad la probabilidad de embarazo es bastante menor. La mayoría descubren su enfermedad durante el embarazo o posterior al parto al detectarse la infección en su descendencia. Con relación a la necesidad de hacer un tamizaje a todas las mujeres en su consulta pre y/o post-concepcional, ACOG (2000) recomienda realizarlo de forma rutinaria, conducta adoptada por el Ministerio de Protección Social. ONUSIDA Colombia (2004), obliga el acto de consejería pre-test, la necesidad de consentimiento informado y la voluntad en la decisión de la realización del examen, por lo que su toma requiere la participación de personal adiestrado en “consejería”, la cual ha reforzado la decisión en la mujer a realizarse

el examen y ha llevado a un significativo aumento en la adhesión a conductas preventivas y al tratamiento. Respecto a la Consejería pre y post-concepcional, es decir un “diálogo confidencial” entre una consultante y un consejero(a) para habilitar a la mujer para el enfrentamiento del estrés, el conocimiento del VIH-Sida sobre el embarazo y la discusión de elementos para la prevención de la transmisión vertical, son útiles (Prieto, 2005).

Afortunadamente, el estado gravídico no parece alterar la evolución o la historia natural de la infección por VIH, ya que si bien es cierto se ha descrito un descenso del recuento de células CD4 durante el embarazo, éstas vuelven a su línea basal después del parto (Burns *et al.* 1999). En ausencia de complicaciones, tales como drogadicción o enfermedad médica crónica, la incidencia de patología obstétrica no aumenta permaneciendo el aborto espontáneo, restricción del crecimiento intrauterino, parto de pretérmino y muerte fetal dentro de prevalencias esperables. Sin embargo, en gestantes con un compromiso significativo del sistema inmunitario (CD4 < 300/dl), el riesgo de las complicaciones infecciosas se incrementa (Minkoff *et al.* 1999).

Según los resultados del DANE, la población menor de 20 años corresponde al 20% del total, es decir, 8.438.847 personas aproximadamente, de las cuales el 50% corresponde a mujeres con un factor de riesgo para embarazo, embarazo no deseado y aborto. La encuesta Nacional de Demografía y Salud mostró que 44,5% de las mujeres entre 20 y 24 años informaron haber tenido relaciones sexuales antes de los 18 años y el 59,5% entre los 20 y 49 años (Profamilia, 2000); en el presente estudio, se confirma una edad más temprana, con un 47,3% con relaciones por debajo de los 16 años y un 4% por debajo de los 11 años. Esos datos explican el grave problema en los hogares, los colegios y el entorno social que vive la sociedad colombiana.

El inicio cada vez más temprano de relaciones íntimas aumenta también el contagio de infecciones de transmisión sexual (ITS) y, el VIH-SIDA y abortos. El 10% de los embarazos a nivel mundial ocurren en adolescentes, es decir, 13 millones de adolescentes dan a luz en los países en desarrollo (The International Perinatal HIV Group (TIP-HIV-G), 1999). ONUSIDA (2002), informa que en el mundo 11,8 millones de jóvenes entre 15 y 25 años (7,3 mujeres y 4,5 hombres) y en América Latina 560.000 (mujeres 31% y hombre 69%) están infectados por el virus. La disminución de

las cifras en Europa muestra el cumplimiento de metas de prevención (Kourtis *et al.* 2006).

En las características generales, se aprecia el 30% de este grupo vive en área rural y, de alguna manera, el 100% posee seguridad social. La mayoría, 66,7%, vive en unión libre y son solteras el 26,4%. En contraste con la encuesta de PROFAMILIA (2000), que reporta unión libre 22% y 70% solteras. Los resultados muestran una frecuencia de VIH y embarazo dentro de su promedio con relación a otros datos para la población de Cundinamarca en menos del 1%, sin olvidar las cifras nacionales y regionales donde la proporción de adultos que tuvieron dos o más parejas son del 33% en hombres y 3,3% en mujeres. Las regiones con más prevalencia masculina son Atlántico y Antioquia y menor, la Oriental. En la mujeres, la mayor prevalencia esta en la zona Pacífica, Central y Antioquia y menor, Atlántica y Oriental (PROFAMILIA, 2000).

Si bien los factores de riesgo están relacionados con las infecciones de transmisión sexual (ITS), relaciones sexuales no vaginales, tabaquismo, alcoholismo, uso de jeringas compartidas, transfusiones y tatuajes, en el presente estudio, el 6% acusa haber tenido una ITS, mientras que en la encuesta de Profamilia hay desconocimiento de lo que son la ITS, en un 28%. No hay antecedentes de transfusiones o relaciones no vaginales. Solo aparece el tatuaje en un 18%, cuando la relación en otros países es del 28%. Los datos de la encuesta muestra que solo el 2% de los hombres y 1% de las mujeres, en el último año han sufrido de una ITS (Landesman *et al.* 1996).

Entre los antecedentes de enfermedades previas existe un desconocimiento en un 25%; las que más recuerdan son la hepatitis, la varicela y la gripe. La edad de la menarquia promedio de 12,8 años está de acuerdo con varias encuestas en nuestro medio. Un 3,1% la tiene por debajo de once años y explica la aparición de embarazos a tan corta edad y que ha movido a las autoridades de salud y rectores de colegios a tomar medidas preventivas en vista del aumento de embarazos durante la adolescencia. El inicio de las relaciones sexuales para este grupo es muy temprano; cerca del 85,3% ya han tenido la primera relación sexual antes de los 16 años, cuando el promedio nacional es de 15,8 años para los hombres y 18,9 para la mujeres. Este promedio ha descendido para la generación de 1992 que era de 16,8 años, para el 1994 ha disminuido a 15,3 años (PROFAMILIA, 2000). De las mujeres que acudieron a la consulta, ya el 41,1% habían tenido un hijo.

Terapia anti-retroviral en el embarazo: La meta de la terapia durante el embarazo es reducir la carga viral materna a niveles indetectables sin provocar efectos deletéreos o teratogénicos en el producto y disminuir el riesgo de la transmisión vertical (Stringer & Vermund, 1999). Para lograr este objetivo, actualmente existen 14 medicamentos antirretrovirales disponibles, las cuales se deben emplear dentro de esquemas que sean individualizados para cada paciente, elección que se debiera basar en el tratamiento previo de la mujer, estado actual de la paciente y su motivación, carga viral y su resistencia a medicamentos, recuento de CD4, recomendándose la utilización de la Zidovudina (ZDV) dentro del esquema, ya que ha sido la única droga protocolizada que ha demostrado su eficacia en proteger al feto de la transmisión vertical (The Petra Study Team, 2002). Sin embargo, en nuevos estudios, otros anti-retrovirales han demostrado también eficacia en reducir esta transmisión (Saba, 1999; Guay *et al.* 1999).

En Chile, utilizando el PACGT 076 protocolo, se puso en marcha formalmente desde 1996, obteniendo su financiamiento estatal con una cobertura del 100% de la demanda tanto del sector público como privado, siendo evaluado por CONASIDA (2005), durante este año 2002, alcanzando una tasa de transmisión global de 5,6%, lo que significa una reducción de la transmisión histórica (30%) de 81,3% (Valdés, 2002).

Según la literatura internacional, la terapia anti-retroviral se debería ofrecera toda gestante seropositiva sintomática y/o aquella asintomática que presente un recuento de CD4 menor a 500cel/mL, una carga viral mayor de 10.000 (bDNA) o mayor de 20.000 (RT-PCR), siendo controversial el manejo para pacientes con un recuento de CD4 mayor de 500cel/mL y cargas virales menores de 10.000 (bDNA) y 20.000 (RT-PCR). Otros esquemas son útiles en disminuir el riesgo de la transmisión, es así que la aleación de ZDV+ Lamivudina (Combivir) indicado durante el parto y en el postparto ha reducido el contagio en un 38% (Saba, 1999), mientras que el Nevirapine, indicado de la misma manera, redujo la transmisión en un 50% (Guay *et al.* 1999).

El meta-análisis realizado por Brocklehurst & Volmink (2002) evidencia que cualquier régimen de ZDV versus placebo reduce considerablemente el riesgo de transmisión, 46%. Se disminuye el riesgo de muerte infantil dentro del primer año de vida en un 57% y riesgo de muerte materna en un 32%. No existen evidencias que

la AZT tenga alguna influencia en el parte pre-término o de bajo peso al nacer. En un estudio hecho en Colombia (García *et al.* 2005) realizando 200.853 pruebas y detectando 377 gestante infectadas (0,19%), se aplica el protocolo de AZT 15 antes de parto y la probabilidad del transmisión vertical madre-hijo fue de 1,78%.

Respecto a la vía del parto existe suficiente evidencia que la operación cesárea electiva disminuye aproximadamente a la mitad la probabilidad de contagio al recién nacido (The European Mode of Delivery Collaboration, 1999). Debe ser indicada, a las 38 semanas, para evitar la ocurrencia de patología perinatal, que aumente el riesgo de transmisión, como lo es el parto de pretérmino y la rotura prematura de membranas y, ante la eventualidad que ésta última ocurriera, la interrupción por vía alta se debería realizar antes de las cuatro horas de ocurrida (ACOG, 2000). Otras de las medidas recomendadas es la suspensión de la lactancia materna, ya que variadas publicaciones demostraron un riesgo global para la transmisión vertical en un 15% en la ausencia de terapia anti-retroviral (Rouet *et al.* 2004; Breastfeeding and HIV International Transmission Study Group, 2004).

## RECOMENDACIONES

Tamizaje precoz de infección por VIH: se debe ofrecer la opción a toda mujer que desee embarazo y/o en su inicio de embarazo, la realización de la serología para VIH, previa consejería y consentimiento informado.

Terapia anti-retroviral: cuyo objetivo es reducir la carga viral y con ello prevenir en la gestante la progresión del VIH y la transmisión vertical, tres semanas antes de terminar el parto (Orío *et al.* 2007).

Drogas antiretrovirales en el embarazo: (Iribarren *et al.* 2001)

- En el esquema, no se deben usar Hidroxiurea ni Efavirenz (teratogénicos). No se debe indicar el Indinavir durante el tercer trimestre por el riesgo de hiperbilirrubinemia y cálculos renales en el recién nacido. Los inhibidores de las proteasas, potencialmente aumentan el riesgo de hiperglicemia. La Zidovudina (ZDV), el Efavir (3TC) y la Nevirapina son las únicas drogas con estudio farmacocinético en mujeres embarazadas (Fonseca & Prieto, 2005; Zamorano & Hirsch, 2004).

Protocolo de Manejo: Aceptar las recomendaciones y el protocolo propuesto por ONUSIDA –Ministerio de la Protección Social (ONUSIDA 2006).

Prevención: Continuar con el apoyo a las instituciones que desarrollan programas de prevención en ITS en adolescentes (OPS 1999).

**Agradecimientos:** A las directivas de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, a la Vicerrectoría de Investigaciones de la U.D.C.A por su asesoría, Directivas del Hospital San Rafael de Facatativá, al equipo humano y técnico del Área de Prevención y Promoción. Secretaría de Salud de Cundinamarca, Secretaría de Salud de Bogotá, D.C. por su dirección y apoyo logístico. Al Ministerio de la Protección Social por su proyecto multicéntrico auspiciado por ONUSIDA, INS, FEREDSALUD y al equipo de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACOG. 2000. American College of Obstetricians and Gynecologist. Committee on Obstetric Practice Scheduled cesarean delivery and prevention of vertical transmission of HIV infection. Committee Opinión. p.234.
- BLOCKLEHURST, P.; VOLMINK, J. 2002. Antiretrovirals for reducing the risk of mother to child transmission of HIV infection. Cochrane Database Syst. Rev.2:CD003510
- BREASTFEEDING AND HIV. INTERNATIONAL TRANSMISSION STUDY GROUP. 2004. Late postnatal transmission of HIV-1 in breast-fed children: and individual patient data meta-analysis. J. Infect. Dis. 189:2154-2166.
- BURNS, D.N.; NOURJAH, P.; WRIGHT, D.J.; MINKOFF, H.; LANDESMAN, S.; RUBINSTEIN, A.; GOEDERT, J.J.; NUGENT. 1999: Changes in immune activation markers during pregnancy and postpartum. J. Reprod. Immunol. 42:147-165 .
- CAMPARELLI, E.V.; MIROCHNICK, M.; WAYNE M, DANKNER WM, BLANCHARD S, MOFENSON L MCSHERRY GD, GAY H, CIUPAK G, SMITH B, CONNOR JD; Pediatric aids clinical trials group 331 investigators. 2003. Pediatrics AIDS clinical trials group. Pharmacokinetics and tolerance of zidovudine in preterm infants. J. Pediatr. 142:47-52.
- CDCP. 2001 Centers for Disease Control and Prevention. Revised guidelines for HIV counseling, testing and referral. MMWR Recom. Rep. 50:1-57.

- CELUM, C.L.; BUCHBINDER, S.P.; DONNELL, D.; DOUGLAS, J.M. Jr.; MAYER, K.; KOBLIN, B.; MARMOR, M.; BOZEMAN, S.; GRANT, R.M.; FLORES, J.; SHEPPARD, H.W. 2001. Early human immunodeficiency virus (HIV) infection in the HIV Network for Prevention Trials Vaccine Preparedness Cohort: risk behaviors, symptoms, and early plasma and genital tract virus load. *J. Infect. Dis.* 183:23-35.
- CONASIDA. Comisión Nacional de SIDA. 2005. Ministerio de salud de Chile. Epidemiology of HIV/AIDS in Chile. *Rev Chilena Infectol.* 22:169-202.
- ENDRES, M.J. 1996. CD4 independent infection by HIV-2 is mediated by fusin CXCR-4. *Cell.* 87:745-756.
- FOWLER, M.G.; SIMOND, R.J.; ROONGPISUTHIPOONG, A. 2000. Update on perinatal HIV transmission. *Pediatr. Clin. North Am.* 47:21-38.
- FONSECA, C.E.; PRIETO, F.E. 2005. Manejo de la infección materna con VIH y del recién nacido expuesto. *Rev. Col. Obstet. Ginecol.* 56:68-91.
- GARCÍA, R.; PRIETO, F.; ARENAS, C.; RINCÓN, J.; CAICEDO, S.; REY, G. 2005. Reducción de la transmisión madre-hijo del VIH en Colombia: dos años de experiencia nacional 2003-2005. *Biomedica* 25:547-564.
- GUAY, L.A.; MUSOKE, P.; HOM, D.L.; NAKABIITO, C.; BAGENDA, D.; FLETCHER, C.V.; MARUM, L.H.; FOWLER, M.G.; FALKSVEDEN, L.G.; WAHREN, B.; KATAAHA, P.; WIGZELL, H.; MMIRO, F.A.; JACKSON, J.B. 1999. Intrapartum and neonatal single dose nevirapine compared with AZT for prevention of mother to child transmission of HIV-1 in Kampala Uganda: HIVET 012 randomized trial. *Lancet* 354:795-802.
- IRIBARREN, J.A.; RAMOS, J.T.; GUERRA, L.; COLL, O.; DE JOSE, M.I.; DOMINGO, P.; FORTUNY, C.; MIRALLES, P.; PARRAS, F.; PENA, J.M.; RODRIGO, C.; VIDAL, R. 2001. Prevención de la transmisión vertical y tratamiento de la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana en la mujer embarazada. *Enfer. Infecc. Microbiol. Clin.* 19:314-335.
- KOVRTIS, A.P.; LEEF, K.; ABRAMS, E.J. 2006. Mother to child transmission of HIV-1: timing and implications for prevention. *Lancet Infect Dis.* 6:726-732.
- KUHN, L.; COUTSOUKIS, A.; TRABATTONI, D.; ARCHARY, D.; ROSSI, T.; SEGAT, L.; CLERICI, M.; CROVELLA, S. 2000. HIV-1 specific T-helper cell responses detect at birth. In: Program and abstracts of the seventh conference on retroviruses and opportunistic infections. San Francisco CA 2000. Foundation for retrovirology and human health. Alexandria VA. Abstract 702:206.
- LANDESMAN, S.H.; KALISH, L.A.; BURNS, D.N.; MINKOFF, H.; FOX, H.E.; ZORRILLA, C.; GARCÍA, P.; FOWLER, M.G.; MOFFENSON, L.; TUOMALA, R. 1996. Obstetrical factors and the transmission of human immunodeficiency virus type 1 from mother to child. The Women and Infants Transmission Study. *New Engl. J. Med.* 334:1617-1623.
- MIN. PROT. SOCIAL (COLOMBIA). 2000. Resolución 00412. Por la cual se establecen las actividades, procedimientos e intervenciones de demanda inducida y obligatorio cumplimiento y se adoptan las normas técnicas y guías de atención para el desarrollo de las acciones de protección específica y detección temprana y la atención de enfermedades de interés en salud pública. Guías de atención No 11: VIH-Sida.
- MIN. PROT. SOCIAL. 2003. Dirección General de Salud Pública. Política Nacional de Salud Sexual y Reproductiva. Bogotá 2003.
- MINKOFF, H.L.; EISENBERGER-MATITYAHU, D.; FELDMAN, J.; BURK, R.; CLARKE, L. 1999. Prevalence and incidence of gynecologic disorders among women infected with human immunodeficiency virus. *Am. J. Obstet Gynecol.* 180:824-836j.
- MOR, Z.; CHENTOB, D.; PESSACH, N. 2006. Human immunodeficiency virus in newborn of infected mothers: pregnancy, breast feeding and prevention. *Harefuah.* 145:682-686.
- ONUSIDA. 2002. Programa conjunto de Naciones Unidas sobre VIH/SIDA. Los jóvenes y el VIH/SIDA una

- oportunidad en un momento crucial. ONUSIDA reporte 2002. p.1-9.
- ONUSIDA. 2004. Informe sobre la epidemia mundial de Sida 2004. Cuarto informe Mundial. Ginebra. Onusida 2004. p.1-188.
- ONUSIDA. 2006. Joint United Nations Programme on HIV/AIDS (UNAIDS) and World Health Organization (WHO). Epidemic update 2003
- OPS – ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD 1999: La mujer y la infección por el VIH/SIDA: Estrategia de prevención y atención. p.1-44.
- ORIO, M.; PENA, J.M.; RIVES, M.T.; SANZ, M.; BATES, I., DE MADERO, R.; JOSE, M.I. 2007. Changes in vertical HIV transmission comparison between 1994 and 2004. *Med. Clin.* 128:321-324.
- PÉREZ, F.; DABIS, F. 2003. HIV prevention in Latin America: reaching youth in Colombia. *AIDS Care* 15:77-87.
- PRIETO, F. 2005. Veinte años del VIH en Colombia, 1983-2003. Datos de la vigilancia epidemiológica. *Inf. Quinc. Epidem. Nac.* 8:355-364.
- PROFAMILIA. 2000. Salud Sexual y reproductiva. Resultados de la encuesta Nacional de Demografía y salud 2000. p.73-76
- ROUJET, F.; EKOUEVI, D.K.; INWOLEY, A.; CHAIX, M.L.; BURGARD, M.; BEQUET, L.; VIHO, I.; LEROY, V.; SIMON, F.; DABIS, F.; ROUZIOUX, C. 2004. Field evaluation of a rapid human immunodeficiency virus (HIV) serial serologic testing algorithm for diagnosis and differentiation of HIV type 1 (HIV-1), HIV-2, and dual HIV-1-HIV-2 infections in West African pregnant women. *J. Clin. Microbiol.* 42:4147-4153.
- SABA, J. 1999. PETRA TRIAL STUDY TEAM: Interim analysis of early efficacy of three short AZT/ 3TC combination regimens to prevent mother to child transmission of HIV-1. The PETRA trial, sixth conference on retroviruses and opportunistic infections. Chicago. USA. p.2-6.
- SHETTY, A.K.; MALDONADO, Y. 2001. HIV transmission of perinatal HIV-1 transmission in the United States. *Neo Reviews.* 2:e83-93.
- STRINGER, J.S.; VERMUND, S.H. 1999. Prevention of mother to child transmission of HIV-1. *Current Opinion Obst. Gyn.* 11:427-434.
- THE EUROPEAN MODE OF DELIVERY COLLABORATION. 1999. Elective caesarean section versus vaginal delivery in prevention of vertical HIV-1 transmission a randomized clinical trial. *Lancet.* 353:1035-1039.
- THE INTERNATIONAL PERINATAL HIV GROUP. 1999. The mode of delivery and the risk of vertical transmission of HIV-1: a meta-analysis of 15 prospective cohort studies. *New Engl. J. Med.* 340: 977-987.
- THE PETRA STUDY TEAM. 2002. Efficacy of three short course regimens of zidovudine and lamivudine in preventing early and late transmission of HIV-1 from mother to child in Tanzania South Africa and Uganda: a randomized double-blind placebo controlled trial. *Lancet.* 359:1178-1186.
- URREA-GIRALDO, F.; CONGOLINO, M.I.; HERRERA, H.D. 2006. Sexual behaviours and incidence of sexual and reproductive health programs among poor secondary students and public university students in Cali. *Cad. Saude Publica.* 22:9-15:
- VALDÉS, E.R. 2002. VIH-SIDA y embarazo: Actualización y realidad en Chile. *Rev. Chil. Obstet. Ginecol.* 67:160-166.
- WADE, N.A.; UNADKAT, J.D.; HUANG, S.; SHAPIRO, D.E.; MATHIAS, A.; YASIN, S.; CIUPAK, G.; WATTS, D.H.; DELKE, I.; RATHORE, M.; HITTI, J.; FRENKEL, L.; AMELSON, R.; MITH, M.E.; MOFENSON, L.; BURCHETT, S.K. 2004. Pharmacokinetics and safety of stavudine in HIV-infected pregnant women and their infants: Pediatric AIDS Clinical Trials Group Protocol 332. *J. Infect. Dis.* 190:2167-2174.
- ZAMORANO, J.R.; HIRSCH, T.B. 2004. Infección por virus de inmunodeficiencia humana, embarazo y deseo de reproducción. Comité SIDA Pediátrico. Soc. Chilena Pediatría. *Rev. Chil. Infectol.* 21:208-212.

Recibido: enero 19 de 2007

Aceptado: septiembre 11 de 2007

# EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD CRIOPROTECTORA DE DOS ALMIDONES DE YUCA SOBRE CÉLULAS MONONUCLEADAS DE SANGRE DE CORDÓN UMBILICAL

## EVALUATION OF TWO MANDIOCA STARCHES AS CRIOPROTECTORS OF MONUCLEUS UMBILICAL BLOOD CORD CELLS

Bibiana Ortiz Trujillo<sup>1</sup>

Benjamín Ospino<sup>2</sup>

Miosotis Trujillo<sup>3</sup>

### RESUMEN

La presente investigación tuvo con fin evaluar la posibilidad de cambiar el hidroxietil almidón HES, crioprotector convencional, por dos clases de almidones de yuca producidos por una industria nacional. El estudio verificó la influencia de los almidones en la concentración de hidrogeniones del medio sanguíneo y su estabilidad en un ámbito que contiene enzimas amilasas y un alto contenido de células mononucleadas, como lo es la sangre de cordón umbilical. Por último, evaluó la viabilidad de las células mononucleadas seis meses después de una criopreservación con cada almidón a  $-80^{\circ}\text{C}$ , teniendo como patrón de comparación el HES. En los resultados, se observó que la sangre de cordón umbilical, fuera del organismo por 30 minutos, puede mantener el pH, aunque el valor se afecta más con los almidones de yuca que con el HES. A pesar de que el almidón es muy similar al HES, en cuanto a estructura molecular, éste es más resistente al ataque enzimático de las amilasas. En la última etapa, se corroboró que el HES mantiene una viabilidad celular del 70%,

pero los almidones de yuca, por la influencia sobre la concentración de hidrogeniones, causan muerte celular y evitan la formación de cristales que lisan las células, pero disminuyen al pH a un valor letal para las células. Se concluyó que la amilopectina de los almidones de yuca, con algunas modificaciones en su estructura, como las del tipo hidroxietilación, puede llegar a funcionar como crioprotector para las células mononucleadas en medio sanguíneo, siempre y cuando se controle su baja modificación del pH.

Palabras clave: Crioprotección, hidroxietil almidón, almidón de yuca, reológicas.

### SUMMARY

This research determined the possibility to change the hydroxyethyl starch (HES), conventional crioprotector, for two sorts of mandioca starches made by national industry. The study verified the influence of the mandioca starches on the hydrogenions amount in blood and confirmed the stability of starches in umbilical cord blood envelop and established its molecular stability inside a medium with amylases enzymes and mononuclear cells such as the umbilical cordon blood. The mononuclear cells viability six months after being criopreservated with each starch at  $-80^{\circ}\text{C}$ , using HES as a reference or standard, was also assessed. Results showed that the umbilical cord blood, outside the organism for 30 minutes is more affected by the mandioca starches than by HES. In spite of the

<sup>1</sup> Profesional en Química Industrial, U.D.C.A, Carrera 55 No152-40 torre 4 apto 104 baibis2004@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> Médico, Hospital Militar Central, Servicio Hematología especial, bospinoc@hotmail.com

<sup>3</sup> Bacterióloga y Profesora de Microbiología, Hospital Militar Central, laboratorio de Química Médica, mihos@colomsat.net.co.

similar structure of the mandioca starch and HES, the latter one is more resistant in the blood environment to the enzymatic attack of amylases because of its modified structure, therefore it is more resistance to withstand the blood conditions. It was corroborated that HES was able to keep the mononuclear cell viability over 70%, but mandioca starches did not, because of their influence on the pH which became lethal to cells. It was concluded, that the amilopeptine of mandioca starches with some modifications in its molecular structure such as hydroxyethylation could work as a crioprotector for mononuclear blood cells, provided that the pH is controlled.

Key words: Crioprotection, hydroxyethyl starch, mandioca starch, reologies.

## INTRODUCCIÓN

Conforme a lo encontrado por Cuéllar & Falabella (2004), la sangre del cordón umbilical contiene células mononucleadas, entre las que se encuentran las células madre que se criopreservan, se cultivan y, finalmente, se utilizan en trasplantes de médula ósea para pacientes con leucemia.

En el tema de criopreservación, los hallazgos de Ramman & Mohanty (2003) definen dos clases de procedimientos: uno, cuando la temperatura de criopreservación es de  $-80^{\circ}\text{C}$ , donde se reduce la actividad metabólica y se pueden almacenar los tejidos por un año y, el segundo, si la temperatura de criopreservación es de  $-140^{\circ}\text{C}$ , cuando se detiene toda actividad catalítica y se habla de preservación efectiva por varios años. En ambos procedimientos, la principal barrera que debe superar el proceso es la causada por el agua, por presentar una propiedad fisicoquímica especial, existente tanto en el plasma sanguíneo como en el interior celular. Su densidad en estado líquido es mayor que la densidad del sólido, de tal modo que la masa de agua sólida o congelada ocupa mayor volumen que en estado líquido. Murray & González (2004) ratifican que cuando el agua del plasma y del interior celular se congela, se forman cristales de gran tamaño capaces de romper y de lisa la célula, es decir, causar la muerte celular; sin embargo, cuando se disuelven solutos en el agua, el punto crioscópico disminuye, proporcionalmente, al número de moles de soluto agregado, sin formar estos

cristales. De acuerdo con Thomas & Frances (2004) es importante escoger el soluto adecuado para disminuir el punto crioscópico sin alterar el equilibrio osmótico. Para evitar la formación de hielo sin alterar el equilibrio osmótico, se han usado anticongelantes, más conocidos como crioprotectores.

El crioprotector más utilizado es el dimetil sulfóxido (DMSO), un solvente con alto poder de penetración. Según los hallazgos de Galmes & Besalduch (2003) y más adelante el estudio de Shuyang & Woods (2004), se comprueba que el DMSO actúa entrando en la célula, aumentando la concentración de solutos intracelularmente y, de esta manera, descendiendo el punto crioscópico. Sin embargo, a nivel extracelular, no resultó tan efectivo, ya que al adicionar más dimetil sulfóxido para que funcione intra y extracelularmente, se aumenta la concentración de éste en el medio sanguíneo, lo cual conlleva a un efecto tóxico que hace que no todas las células sobrevivan a la criopreservación. Para solucionar este problema, como crioprotector extracelular, se ha venido utilizando el hidroxietil almidón (HES siglas en inglés hydroxyethyl starch). El HES es un almidón modificado de alto peso molecular, el cual se prepara a partir de un almidón ceroso (95% amilopeptina), con grupos eterhidroxietil que incrementan la solubilidad en el agua, por la facilidad de la formación de puentes de hidrógeno; además, estos sustituyentes, evitan una hidrólisis enzimática rápida. Para Gallandat & Siemons (2000), el HES resulta ser un coloide sintético, que a diferencia de las soluciones de almidón naturales, las cuales son muy inestables en el plasma al ser rápidamente metabolizadas por las amilasas, permite retardar esta hidrólisis, confiriéndole una gran estabilidad a la solución en el tejido sanguíneo. Además, acorde con el análisis de Boldt & Haisch (2002), por su similitud molecular con el glucógeno, el HES no es tóxico.

Muchos investigadores han realizado diferentes estudios, con el objeto de aumentar la viabilidad durante la criopreservación. Una investigación realizada por Kehuan *et al.* (1994), en la cual las células de la médula ósea fueron criopreservadas en dos medios, uno con DMSO, HES y albúmina y el otro usando solo el DMSO y serina a  $-196^{\circ}\text{C}$ , por el término de un mes, reveló que la recuperación celular y la viabilidad es más alta en las células congeladas con HES, DMSO y albúmina,

que utilizando solo el DMSO con serina. Después de ser criopreservadas, las células se cultivaron y las que más proliferaron fueron las criopreservadas en el primer medio. Los análisis de este estudio demuestran que el uso del HES reduce la aglutinación celular que se presenta solo con el DMSO y que la albúmina proporciona una gran estabilidad celular. Con el HES, albúmina y DMSO la viabilidad fue del 70%. También se concluyó que el papel de los crioprotectores no es solo prevenir el daño durante el congelamiento sino también en los procesos de descongelamiento. El inconveniente del HES es que se trata de un producto costoso, no elaborado en Colombia y al ser importado, se eleva más su precio. Hasta el año 2006, no se han realizado otros estudios en los que se pretenda utilizar diferentes tipos de almidones como crioprotectores.

Dentro de los avances en la criopreservación, se destaca la investigación de criopreservación y de descongelación programada versus no programada. En este punto, sobresale el estudio de Solves & Larrea (2000), quienes realizaron una investigación, en la cual, muestras de sangre de cordón, divididas en dos grupos, se criopreservaron con protocolos distintos. El primer conjunto, se congeló a  $-80^{\circ}\text{C}$  disminuyendo la temperatura a una velocidad controlada de  $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$  y, el otro conjunto, se congeló sin programación a  $-80^{\circ}\text{C}$  directamente en un congelador Koxka. Después de 24h, se pasaron ambas muestras a un tanque de nitrógeno líquido a  $-180^{\circ}\text{C}$  y a los siete días las muestras se descongelaron en baño de agua caliente a  $37^{\circ}\text{C}$ . Para las células congeladas con un proceso programado de congelación, la viabilidad fue del 71% y para las que

siguieron una congelación no programada, la viabilidad fue del 69,5%. Los resultados difieren en 1,5%, por lo que no se justifica la criopreservación programada.

De las muchas clases de almidones existentes, el almidón de yuca manifiesta algunas características similares al HES en los comportamientos reológicos, es decir, por las características que presentan sus soluciones, posterior a la exposición a las altas presiones y temperaturas. Esto resulta relevante, ya que todos los crioprotectores, en el paso previo a la criopreservación, la esterilización, se someten a estas altas presiones y temperaturas. Un trabajo muy extenso sobre la reología de todas las clases de almidones, incluso almidones con modificaciones moleculares y donde se encuentra extensa información con énfasis en la retrogradación, fue el realizado por Whistler & Paschall (2003), hallando valores que prueban la similitud existente entre las características fisicoquímicas del almidón de yuca y el HES; éstos parámetros se incluyen en la tabla 1.

Dentro de los beneficios que traería utilizar el almidón de yuca como crioprotector esta el de costos. Mientras que 6g de HES en solución coloidal de 500ml cuestan alrededor de US\$92, sin tener en cuenta los aranceles por la importación, 100g de almidón de yuca, sin preparación en su forma de solución coloidal, solo cuestan US\$2. Otro beneficio es el fomento a las industrias almidoneras abundantes en Colombia, con un producto tradicional para una nueva finalidad, la de criopreservar, por lo que se tendría que producir bajo un mayor control de calidad. Además, no se han realizado estudios en lo que se pretenda utilizar otros almidones

Tabla 1. Comparación de características fisicoquímicas del HES con el almidón de yuca.

	HES	ALMIDÓN DE YUCA
<b>Concentración de amilosa</b>	95%	Mayor que en otros almidones, como el de papa, arroz.
<b>Porcentaje de retrogradación</b>	5%	18%. Es la menor si se tiene en cuenta que otros almidones, como el de papa, está en 40%
<b>Poder de hinchamiento</b>	60%- 65%	70%
<b>Temperatura de gelatinización</b>	$67,5^{\circ}\text{C}$ a $74^{\circ}\text{C}$	$58,5^{\circ}\text{C}$ a $70^{\circ}\text{C}$
<b>Porcentaje de solubilidad</b>	60%	40%

Adaptado de Whistler & Paschall (2003).

diferentes al HES como crioprotectores, por lo que esta investigación servirá de soporte para futuros trabajos en este tema (Van der Linden *et al.* 2005).

El objetivo del presente estudio fue determinar si el HES puede ser reemplazado por el almidón de yuca en su función como crioprotector, para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis: la primera es que la sangre de cordón umbilical, aún fuera del organismo, debe poder amortiguar el pH al adicionarle los almidones de yuca, así como lo hace con el HES, en las concentraciones de 3% y 6%, porque sus estructuras moleculares son similares y la liberación de hidrogeniones no sería distinta; en segunda instancia, la degradación por el ataque de las alfa-amilasas de la sangre sobre los almidones de yuca, expuestos en los medios sanguíneos pasados 30 minutos a 14°C, no debería ser significativamente mayor a la degradación enzimática que sufre el HES. Y, finalmente, si los almidones de yuca al adicionarse a las muestras de sangre de cordón umbilical por un periodo de seis meses de criopreservación presentarían una viabilidad de las células mononucleadas superior o igual a la del HES; es posible que dichos almidones podrían actuar como crioprotectores extracelulares y la modificación molecular a través de la hidroxietilación no sería necesaria.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación, los almidones de yuca utilizados fueron preparados de manera exclusiva por Industrias del Maíz S.A., con dos referencias: la primera, 4704, la cual excluye de su proceso el paso de sulfitación que confiere conservación al almidón y protección contra bacterias, pero a su vez aumenta su toxicidad y el segundo, 160901, con un proceso de producción completo. Ambos almidones conservan las características fisicoquímicas de la variante de yuca expuesta anteriormente. El primer procedimiento de la investigación, se basó en el método potenciométrico descrito en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; (American Public Health Association, 2003), para determinar el efecto de la adición de los almidones sobre el pH sanguíneo. Se utilizó un potenciómetro, previamente calibrado, marca E 516 Titriskop Metrohm Herisau, realizando las lecturas de pH para cada muestra. El procedimiento, se llevó a cabo por triplicado y los datos se sometieron al análisis estadístico, para determinar si las variables

independientes, los tres diferentes almidones y las dos concentraciones, tienen efecto sobre la variable dependiente, el pH del medio sanguíneo. Se empleó el análisis de varianza, que requiere el estadígrafo F para determinar estadísticamente el efecto, puesto que la variación existente se presenta ya sea por el efecto de los tratamientos o por el efecto de los errores. Siguiendo este método estadístico, se halló por fórmula el F calculado, el cual se relacionó con el F tabulado, para conocer si hubo o no efecto (Castillo, 1998).

Las alfa-amilasas de la sangre humana hidrolizan el almidón, razón por la cual, en el segundo procedimiento de esta investigación, se buscó el almidón más resistente a la degradación enzimática en la sangre a temperatura ambiente (ya que las amilasas se inactivan durante la congelación). Para esta etapa, se fija como temperatura ambiente 14°C, que corresponde a la temperatura promedio de Bogotá, D.C, la cual se mantiene constante durante el año. Sin embargo, para evitar punto de variación, se utilizó la incubadora ajustada a esa temperatura. El procedimiento que se siguió fue el método de Somogy y para el manejo del espectrofotómetro, la técnica espectrofotométrica de Caraway (Faulkner & Meites, 1982). A los datos corregidos por mínimos cuadrados, se les aplicó el mismo modelo estadístico de la primera etapa, teniendo en cuenta que es una variable dependiente.

En la determinación, la viabilidad celular se aplicó la técnica de conteo de células en suspensión, publicada en el Manual de Laboratorio de Microbiología Básica de Bayona (1999). La técnica de criopreservación, se basó en la citada en el trabajo de Day & McLellan (2000). Para la comprobación de la viabilidad celular, se prepararon tres muestras de sangre de cordón umbilical con DMSO al 10%, con las tres diferentes soluciones de almidones, previamente esterilizadas, para una concentración final de 3% y dextrosa al 5%. Sin dejar las soluciones a temperatura ambiente, se llevaron al congelador a -80°C durante seis meses. Pasado este periodo, las muestras se descongelan por baño a 37°C y se realizó conteo en la cámara de Neubauer. Se aplicó el mismo diseño estadístico descrito anteriormente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La modificación de pH en el medio sanguíneo por adición de almidones es un resultado del cual no se

tenía información previa, por lo tanto, no se puede comparar con investigaciones anteriores pero sí en relación al patrón HES, crioprotector por excelencia. La modificación del pH por adición de los dos almidones de yuca y la correspondiente variación por adición del HES, se muestran en la tabla 2. Por los valores obtenidos, se pudo apreciar que la sangre de cordón umbilical fuera del organismo ejerció un efecto buffer y controló la concentración de hidrogeniones que aportaron los almidones, debido a que contiene sales que contribuyen a regular el pH (Campbell & Farrel (2006). Sin embargo, se observó que con la adición de las soluciones de almidón al 6%, la lectura del pH marcó un valor que, bioquímicamente, está muy lejos del valor normal de pH en la sangre (Bishop & Fody, 2004); la concentración de 6% resultó ser nociva para las células sanguíneas, ya que generó problemas de acidosis. No sucedió esto con la concentración de 3% del almidón 4704 y del HES; la modificación del pH se dio pero en menores proporciones. En esta primera etapa de la experimentación, se tuvo especial cuidado con el control del tiempo y la toma de lecturas, porque la sangre a mayor tiempo fuera del organismo y con la

adición de sustancias se hemoliza, como lo mencionan Aulesa *et al.* (2002). Esto significa que los eritrocitos se rompen, se libera hemoglobina al plasma y así se pierde el equilibrio de hidrogeniones, afectando los valores de pH que varían drásticamente, luego de que ha ocurrido este fenómeno. Se controló el tiempo entre la adición de los almidones y la toma de las lecturas para evitar la hemólisis y asegurar que el efecto de la variación de pH se debiera únicamente al aporte de hidrogeniones de los almidones. Se comprobó que de los tres almidones, el HES es el que menos altera el pH por su estructura molecular, pues es un almidón modificado que se prepara a partir de la amilopectina de otros almidones, mediante la introducción de grupos hidroxietil éter a las unidades de glucosa. Específicamente, el HES presenta sustituyentes hidroxietilados (-O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-OH) en los carbonos dos, tres y seis, a manera de ésteres. De esta manera, el efecto inductivo es menor en comparación con el del almidón natural y así al HES le es menos fácil ceder hidrogeniones al medio, con relación a los almidones de yuca y, por lo tanto, no acidifica el medio sanguíneo, como lo hacen los otros almidones.

Tabla 2. pH de la sangre luego de adicionar los almidones.

Concentración	ALMIDONES		
	4704	160901	HES
3%	7,3	7,22	7,35
6%	6,94	7,06	7,12

El almidón 4704, en la concentración de 3%, disminuyó en muy baja proporción el pH, debido, probablemente, a que contiene más amilopectina que amilosa, es decir, tiene una estructura más acorde con la del HES, a pesar de no tener sustituyentes en las unidades de glucosa. Se concluyó, que la estructura de amilopectina afecta menos el pH del medio al que se le adiciona y, por ende, es más conveniente que la estructura de amilosa. Este factor podría ser clave para próximos estudios de criopreservación que se requieran hacer con otros polímeros, ya que las estructuras ramificadas, como la amilopectina, pudieran ser de alguna manera más inertes respecto al medio, que las estructuras lineales, como lo es la amilosa.

En la etapa final del estudio, se tuvieron muy en cuenta los cambios del pH, porque corresponden a un factor importante que influye sobre la viabilidad celular. Si se tiene un medio muy ácido o muy básico, las células que se encuentren en él mueren. Estadísticamente, se corroboró que la influencia en el pH fue dada por la concentración de almidón adicionado mas no por el tipo de almidón; lo anterior se pudo comprobar, al analizar únicamente la variación del pH respecto de la concentración de almidón adicionado. Para este caso, sí hubo diferencia estadísticamente significativa, ya que el F calculado correspondió a 12,7, mientras que el tabulado fue de 4,66. Los análisis de la variación del pH respecto de los tipos de almidón adicionados, sin tener

en cuenta las concentraciones, no mostraron un efecto estadístico; el F calculado fue de 1,15 mientras que el tabulado fue de 4,1.

En la segunda etapa, la concentración inicial de los almidones en cada muestra de sangre, se calculó en 30000ppm. Ulterior a una exposición de 30 minutos a 14°C, se obtuvo una concentración final por encima de las 23000ppm para el HES y para los almidones de yuca, concentraciones por debajo de 20000ppm; esto se debió a que la sangre contiene enzimas del tipo alfa amilasas que degradan almidones (Higgins, 2007). Por lo tanto, el almidón más resistente a la degradación fue el HES, mientras que los almidones de yuca presentaron susceptibilidad a la degradación por las alfa amilasas en proporción mayor a la del HES.

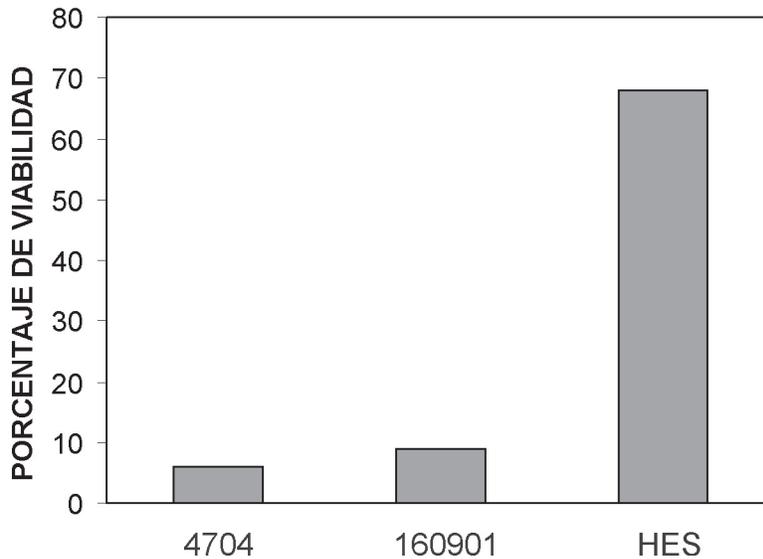
Con el apoyo de los conocimientos consignados en la bioquímica de Stryer *et al.* (2003), se analizó el fenómeno llamado impedimento estérico que, para este caso, debido a los sustituyentes hidroxietilados en los carbonos dos, tres y seis que presentan las unidades de glucosa en el HES, hubo impedimento de acceso por parte del HES hacia la enzima alfa amilasa. Por esta razón, no se hidrolizó el HES con la misma velocidad con se hidrolizaron los otros almidones, ya que le fue difícil ingresar al enlace glucosídico entre los carbonos uno y cuatro de las unidades de glucosa del HES. En el caso de los almidones de yuca no hubo obstáculo a la alfa amilasa y se pudo realizar la hidrólisis sin impedimento estérico, puesto que no había sustituyentes. No se determinó la influencia de la resistencia a la degradación respecto de la efectividad en la criopreservación; esta etapa fue diseñada para dar una orientación a los médicos del tiempo máximo, en el cual las muestras podrían estar a temperatura ambiente antes de ser llevadas al congelador. La idea principal es que no se formen grandes cristales de hielo, lo cual se puede conseguir mientras se tengan moléculas en el plasma que impidan este tipo de cristalización. A mayor volumen o tamaño de la molécula mayor distorsión en las condiciones para la formación de estos grandes cristales. Gracias a los trabajos sobre expansor de volemia de Entholzner *et al.* (2000), se sabe que las partes pequeñas del HES son eliminadas por vía renal en 72 horas. Las moléculas más grandes son hidrolizadas por  $\alpha$ -amilasa sérica en moléculas más pequeñas y después son eliminadas en orina, pero tiene una persistencia vascular de 12 horas con una disminución progresiva del efecto de volumen

hasta las 24h. De acuerdo a lo anterior, se comprendió el por qué el HES tuvo una buena duración en el medio sanguíneo, lo que no sucedió con los almidones de yuca. En esta segunda etapa, se tomó la decisión de no exponer las muestras de sangre con los almidones a temperatura ambiente por más de 30 minutos, si no que se llevaron directamente al congelador. De nuevo, en el correspondiente soporte estadístico, se obtuvo como resultado que el F calculado es de 8,63 y el F tabulado fue de 3,27, indicando un efecto de esta variable, tipos de almidón, sobre la concentración de almidón remanente en el plasma; esto significa que el HES puede permanecer a temperatura ambiente dentro de la muestra de sangre sin que una inmediata congelación sea imperativa para evitar su degradación, mientras que para los almidones de yuca es indispensable la congelación inmediata si no la molécula se degrada y pierde su función. Esta prueba y análisis, no diseñado para determinar la viabilidad celular, fue aplicado desde el punto de vista de utilidad del almidón como polímero que evitaría la formación de cristales de hielo. De hecho, no es recomendable dejar las muestras de sangre a temperatura ambiente por varios minutos antes de la congelación sin crioprotección, ya que hay diversos factores, como la precipitación celular, las secreciones celulares y los procesos de coagulación, que empiezan a influir en dicha viabilidad.

En la última etapa, la viabilidad de las células mononucleadas posterior a los seis meses de criopreservación a -80° C, reveló resultados que se ilustran en el gráfico 1. Para los almidones de yuca referencias 160901 y 4704, la viabilidad fue muy baja, menor al 10%, en comparación con la viabilidad obtenida con el HES. Kehuan *et al.* (1994) comprobaron que una criopreservación con HES, albúmina y DMSO a -140° C por seis meses arroja como resultado una viabilidad celular del 70%. En este estudio, a -80°C utilizando HES, DMSO y dextrosa, se obtuvo un resultado muy cercano, 68%, lo que no sucedió con los almidones de yuca. La interpretación de este resultado ligó la primera etapa de la experimentación con la última, es decir, la relación que tuvo la estabilidad del pH respecto de la viabilidad celular. Se observó cómo el HES presentó ventaja con relación a los otros almidones por su baja influencia en el pH del medio sanguíneo, indicando que los almidones de yuca crearon un medio ácido, lo cual generó mortandad celular y aunque pudieran impedir la formación de grandes cristales de hielo durante la criopreservación,

no protegieron las células por la acidosis del medio. Sin embargo, en la primera etapa, el almidón de yuca 4704 al 3%, aciduló el medio solo 0,05 puntos más que el HES,

lo cual hizo pensar que los resultados de porcentaje de células vivas criopreservadas, con este almidón, debieron ser similares a los del HES, pero no fue así.



Gráfica 1. Viabilidad celular sometida a criopreservación durante seis meses.

Como el almidón de yuca 4704 comparte factores estructurales con el HES, por poseer estructuras de amilopectinas en la concentración de 3% acidularon muy poco el medio sanguíneo, lo que condujo a plantear dos conclusiones: la primera, que el margen de diferencia en la modificación del pH del medio fue crítica, tan solo 0,05 puntos después de un valor de 7,35, ocasionó una mortandad celular, por la concentración de hidrogeniones. En segundo lugar, se corroboró la importancia de la hidroxietilación para que el almidón cumpliera con las condiciones de crioprotector. Los resultados obtenidos en la segunda etapa representaron una orientación para completar el procedimiento experimental de la tercera, sin afectarla. Las muestras no se dejaron a temperatura ambiente sino que se ingresaron rápidamente al congelador, antes que los almidones de yuca pudieran ser hidrolizados, de esta manera, el efecto sobre la viabilidad no estaría interferido por este factor.

Como el HES fue el único polímero que criopreservó un alto porcentaje de células vivas hasta el final del ensayo, se determinó que la influencia de la amilopectina de la yuca sobre el pH incidió directamente sobre la viabilidad

de las células de manera crítica y directa. Del valor del pH sanguíneo normal, (7,4) solo se puede acidular 0,05, es decir, hasta 7,35 por ser éste el valor máximo de concentración de hidrogeniones tolerado por las células mononucleadas (Springhouse Publishing Company Staff, 2006). El análisis estadístico sirvió de base para esta conclusión: el F calculado fue de 30,77 mientras que el F tabulado fue de 4,1, lo cual que indicó que existió un efecto estadísticamente significativo de los tipos de almidón utilizados sobre la viabilidad celular.

## CONCLUSIONES

Los almidones de yuca afectaron el pH de la sangre de cordón umbilical y no resistieron el ataque enzimático, por lo cual, no se consideran adecuados para criopreservar células mononucleadas de sangre de cordón umbilical.

Para estudios posteriores relacionados con el uso del efecto de polímeros sobre células en medio sanguíneo, se deben tener en cuenta varios elementos. El primero es que polímeros con estructuras ramificadas que puedan ceder hidrogeniones tienen menos interacción

con el medio externo, lo cual es benéfico para las células, porque hay menos modificaciones de las condiciones y se afectaría en menor medida a las células. Una segunda conclusión es que el pH del medio sanguíneo es un parámetro crítico que afecta directamente la viabilidad de las células mononucleadas en la sangre de cordón umbilical. Una sugerencia es el empleo de otras soluciones, como buffers, que pueden ayudar al mantenimiento del pH en el medio sanguíneo para evitar la consecuente mortandad celular. Se evidenció también la importancia que el polímero tenga una estructura molecular con una configuración apropiada que genere impedimento estérico y así evitar su hidrólisis por parte de enzimas que se encuentren en el medio.

Se sugiere continuar con el estudio, buscando diseños de procesos industriales para hidroxietilar los almidones de yuca, en las industrias de almidón. En las formas de producción que se excluyan pasos como del de la sulfitación y se corrijan factores para hacer del almidón de yuca un polímero que cumpla con las características de bajo nivel de toxicidad hacia las células y conserve la versatilidad para su uso, es decir, facilidad de esterilización y fluidez y, todo esto, sin perder la principal funcionalidad de un crioprotector, la de evitar la formación de grandes cristales de hielo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Hospital Militar Central de Bogotá y al doctor Orlando Chaparro, Ph.D.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 2003. Standard methods for the examination of water, sewage, and industrial wastes. Ed. Am. Public Health Assoc., Am. Water Works Assoc., Fed. of Sewage and Industrial Wastes Assoc. (EEUU). 27p.
- AULESA, C.; RUIZ, G.; DURÁN, J. 2002. Estudio de la influencia de la hemólisis en un perfil básico de coagulación. Diagnóstico Biológico. (EEUU). 51(2).54-59.
- BAYONA, M. 1999. Manual de Laboratorio de Microbiología Básica. Ed. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Departamento de Microbiología, Colombia. p.67-70.
- BISHOP, M.; FODY, E. 2004. Clinical Chemistry. Ed. Lippincott Williams & Wilkins. EEUU. 344p.
- BOLDT, J.; HAISCH, G. 2002. Effects of a new modified, balanced hydroxyethyl starch preparation (Hextend®) on measures of coagulation. British J. Anaesthesia. 89(5):722-728.
- CAMPBELL, M.; FARREL, S. 2006. Biochemistry. Ed. Thomson Brook/Cole. EEUU. 53p.
- CASTILLO, J. 1998. Estadística Inferencial Básica. Ed Iberoamericana. México. p.340-345.
- CUÉLLAR, F.; FALABELLA, F. 2004. Hematología. Corp. para Investig. Biológicas. Colombia. 29p.
- DAY, J.; MCLELLAN, M. 2000. Cryopreservation and freeze-drying protocols. Ed. Humana Press. EEUU. p.235-250.
- ENTHOLZNER, E.; MIELKE, L.; CALATZIS, A.; FEYTH, J.; HIPPEL, R.; HARGASSER, S. 2000. Coagulation effects of a recently developed hydroxyethyl starch (HES 130/0,4) compared to hydroxyethyl starches with higher molecular weight. Acta Anesthesiol. Scand. 44(11):16-21.
- FALKNER, W.R.; MEITES, S. 1982. Selected Methods for the Small Clinical Chemistry Laboratory. Edit. AACC. EEUU. p.165-174.
- GALLANDAT, R.; SIEMONS, A. 2000. A novel hydroxyethyl starch (Voluven) for effective perioperative plasma volume substitution in cardiac surgery. J. Can. Anesthesia. 47(1):1207-1215.
- GALMES, A.; BESALDUCH, J. 2003. Criopreservación of hemaropoietic progenitor cells with 5% dimethyl sulfoxide at -80°C without rate-controlled freezing. J. Transfusion (EEUU). 36(9):794-797.
- HIGGINS, C. 2007. Understanding laboratory investigations. Ed. Blackwell Publ. (EEUU). 172p.

- KEHUAN, L.; GUANQING, W.; QILU, W.; YAN, S.; HUAIBIN, L. 1994. Effect of dimethylsulfoxide and hydroxyethyl starch in the preservation of fractionated human marrow cells. *Cryobiology*. (EEUU). 31(1):349-354.
- MURRAY, R.; GONZÁLEZ P. 2004. *Bioquímica El Manual Moderno*. Ed. Iberoamericana. México. 125p.
- RAMMAN, B.; MOHANTY, J. 2003. Enzymatic digestion a safe and rapid technique for individual separation of *Macrobrachium rosenbergii* embryos for cryopreservation studies. *Cryobiology*. 47(3):242-246.
- SHUYANG, H.; WOODS, C. 2004. Effects of dimethylsulfoxide and glycine on cryopreservation induced damage of plasma membranes and mitochondria to striped bass sperm. *Cryobiology*. 48(3):254-262.
- SOLVES, L.; LARREA, S. 2000. Processing and cryopreservation of placental/umbilical cord blood for unrelated bone marrow reconstitution. *Nat. Acad. Sci.* 92(2):10119-10122.
- SPRINGHOUSE PUBLISHING COMPANY STAFF. 2006. *Straigh as in Fluids and Electrolytes*. Ed. Wlippincott Williams & Wilkins. EEUU. 61p.
- STRYER, L.; BERG, J.; TYMOCZKO, J. 2003. *Bioquímica*. 5<sup>ed</sup>. Edit.. Reverté. España. 687p.
- THOMAS, M.; FRANCES, C. 2004. *Bioquímica*. Edit. Reverte. España. 205p.
- VAN DER LINDEN, P.; DE HERT, G.S.; DERAEDT, D.; CROMHEECKE, S.; DE DECKE, K.; DE PAEP, R.; RODRIGUS, I.; DAPER, A.; TRENCHANT, A. 2005. Hydroxyethyl starch 130/0.4 versus modified fluid gelatin for volume expansion in cardiac surgery patients: The effects on perioperative bleeding and transfusion needs. *Internal. Anesthesia Res. Soc.* EEUU. 2005(101):629-634.
- WHISTLER, R.; PASCHALL, E. 2003. *Starch chemistry and technology fundamental aspect*. Edit. Academic Press. p.70-105.

Recibido: agosto 29 de 2006

Aceptado: octubre 31 de 2007

# VALORACIÓN NUTRICIONAL DEL MENOR DE CINCO AÑOS Y COMPRENSIÓN DE INDICACIONES DEL CUIDADOR QUE ASISTE A CONSULTA CON PROFESIONAL ENTRENADO EN AIEPI

## NUTRITIONAL VALUATION OF THE MINOR OF FIVE YEARS AND UNDERSTANDING OF INDICATIONS BY CARETAKER WHO ATTENDS CONSULTATION WITH PROFESSIONALS TRAINED IN IMCI

Luz Dalila Vargas Cruz <sup>1</sup>

Dora Stella Melo <sup>2</sup>

### RESUMEN

En los países en desarrollo, la desnutrición es un problema de salud importante en la niñez. Aunque, no es registrada como causa básica de mortalidad, una proporción de las muertes menores de cinco años tienen desnutrición, como origen asociado. La valoración de los parámetros antropométricos y la responsabilidad del personal de salud frente a la ejecución y la gestión de los programas de promoción y de prevención son factores importantes para analizar. Esta investigación, se realizó para conocer la influencia de la estrategia de la Atención Integrada a las Enfermedades Prevalentes de la Infancia (AIEPI) en el registro y clasificación del estado nutricional y en la comprensión de los cuidadores sobre los tratamientos e indicaciones alimentarios, de consulta de control de crecimiento y desarrollo, de signos de peligro y de consulta de seguimiento. Se utilizaron los instrumentos propuestos por la estrategia y se realizó observación a la consulta y verificación al

cuidador de la información suministrada por profesional capacitado en estrategia y no capacitado. Los resultados indican que en la consulta con profesional capacitado en la estrategia AIEPI al 31,8% se le realizó clasificación nutricional y en la consulta sin capacitación al 13,8%. El 63% de los cuidadores que asistieron a la consulta AIEPI y el 58,6% sin AIEPI mencionaron correctamente las indicaciones sobre cuándo venir en busca de ayuda. Se concluye que existen dificultades para la comprensión de las indicaciones dadas, relacionado posiblemente con el momento de la aplicación del estudio cuando la estrategia se estaba consolidando.

Palabras clave: AIEPI, nutrición, cuidadores, comprensión.

### SUMMARY

In the developing countries, undernourishment is an important childhood health problem. Although, it is not registered as a basic cause of mortality, a death quota of children, younger than five years has undernourishment as an associate cause. The indices of malnutrition, the valuation of the anthropometric parameters and the responsibility of the health personnel regarding execution and management of promotion and prevention programs are important factors to analyze. This research was realized to know the effect of the Integrated Attention the Prevalent Illness of Children (IMCI) strategy in the

<sup>1</sup> Enfermera M.Sc. Docente Facultad Enfermería, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A) Dirección para Correspondencia: Calle 222 No.55-37, Bogotá, D.C. [lvargas@udca.edu.co](mailto:lvargas@udca.edu.co)

<sup>2</sup> Enfermera M.Sc. Docente Facultad Enfermería, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A) Dirección para Correspondencia: Calle 222 No.55-37.

registration and classification of the nutritional state and the understanding of caretakers of the treatment and the nourishing indications given, during consultation of Control of Growth and Development, signs of danger and consultation of pursuit. The instruments proposed by the strategy were used and observations of the consultation and a verification of the execution by the caretaker of the information given by trained and not trained professionals were made. The results indicate that in consultation with a trained professional for a 31,8%, a nutritional classification was executed and in the consultation with not qualified personnel it corresponded to 13,8%. 63% of the caretakers who attended the IMCI consultation and 58.6% without, mentioned correctly the indications when to come in search of help. The existence of difficulties in the comprehension of instructions was concluded, being related to the moment of the application of the strategy, since at the time of the research very few professionals had been trained.

Key words: IMCI, nutrition, caretakers, understanding

## INTRODUCCIÓN

La Organización Panamericana de la Salud, la Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia presentaron en 1996 la estrategia Atención Integrada a las Enfermedades Prevalentes de la Infancia, AIEPI. Desde entonces fue adoptada por la mayoría de los países en desarrollo, desencadenándose un rápido proceso de aplicación e incorporación de la misma como política (OPS, 1998). En Colombia, la estrategia fue adoptada de manera oficial por el Ministerio de Salud en 1998, iniciando los procesos de capacitación, con los ajustes acordes al perfil epidemiológico y a las necesidades en salud infantil de la población.

Si bien la desnutrición no es registrada como causa básica de mortalidad, la OPS (2001) afirma que una proporción variable de las muertes de niños menores de cinco años presentan desnutrición, como causa asociada.

La situación de desnutrición muestra una pequeña disminución, según la Encuesta Nacional de Demografía (Profamilia *et al.* 2000). Para el año 2000, el 14% de los menores de cinco años sufrían de desnutrición

crónica o retardo en el crecimiento; el 3% de ellos alcanzaron grados de desnutrición severa, el 1% alcanzó grados de desnutrición aguda, convirtiéndose en la de menor prevalencia para el país. Profamilia *et al.* (2005) muestran que los índices de malnutrición en el país disminuyeron a 12% de desnutrición crónica: 10% con un grado de moderada y 2% de severa; este porcentaje es preocupante para los habitantes del Distrito Capital y para la zona del Atlántico que corresponden a las regiones de Colombia con mayor prevalencia de desnutrición crónica (Profamilia *et al.* 2005).

La situación actual de la desnutrición en Bogotá D.C., según la Alcaldía Mayor, Sistema de Vigilancia Alimentario y Nutricional – SISVAN (2005) es del 13,4% para desnutrición crónica y de 5,3% para desnutrición aguda, datos por encima de los registros nacionales. Esto, frente a la problemática de sobre peso y obesidad para la población infantil de 2,7% y 1%, respectivamente. Lo anterior nos lleva a inferir que los índices de malnutrición crónica en Colombia, especialmente en el Distrito Capital, la valoración inadecuada de los parámetros antropométricos y la responsabilidad del personal de salud frente a la ejecución y gestión de los programas de promoción y de prevención son factores importantes para analizar. Los resultados de la presente investigación responden a esta inquietud: ¿cuál es el efecto de la aplicación de la estrategia AIEPI en la valoración del estado nutricional y la comprensión de los tratamientos indicados a la madre o cuidador en la consulta al niño y niña de dos meses a cuatro años, atendidos en dos centros de salud del Hospital de Usaquén adscrito a la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá?

La aplicación de la estrategia AIEPI en un servicio de salud significa que los niños y niñas que concurren a ese servicio de salud son sistemáticamente pesados y medidos, datos que son utilizados para clasificar el estado nutricional con base en la ubicación del peso y talla del niño en la curva de peso para la edad, la talla para la edad y peso para la talla. Durante la consulta, el profesional de salud debe explicar al cuidador las recomendaciones con relación al estado de salud, tratamiento, signos generales de peligro y consulta de seguimiento. El presente estudio tuvo como objetivo identificar la influencia de la estrategia AIEPI en la clasificación y valoración nutricional del menor de cinco años y en la comprensión de las indicaciones dadas al cuidador que asisten a consulta con profesional entrenado en la estrategia.

Frente a la comprensión de los cuidadores que asisten a la consulta de profesional entrenado en la estrategia, un estudio de Zamora *et al.* (2002) en Bolivia reportó que el 49% de las cuidadoras, cuyos hijos tenían prescripción de medicamentos orales, recordaba cómo dar el tratamiento correctamente (nombre del medicamento, dosis por vez, número de veces por día y duración del tratamiento). En lo que se refiere a los indicadores suplementarios de comunicación interpersonal, la proporción de madres o cuidadoras de niño o niñas que recibieron consejería sobre tratamiento en general no supera la mitad. Igualmente, las cuidadoras que conocían tres aspectos de manejo de casos en el hogar fueron 32%, en cambio sus respuestas sobre si pueden describir al menos dos signos para búsqueda de ayuda inmediata alcanzan el 65%, valor probablemente influenciado por su experiencia previa y no precisamente por la consulta recién pasada.

Estos resultados son similares a los obtenidos por López *et al.* (2004) en México, quienes encontraron un contraste de 25% de madres capacitadas, con una evaluación previa del impacto de AIEPI determinando que 58% de las madres tenía una adecuada capacitación en atención del niño o niña enfermo en el hogar. Sugieren, los mismos autores, la necesidad de crear procesos educativos que promuevan la comprensión de su situación de salud, así como el desarrollo de actitudes, habilidades y destrezas y que además sean culturalmente aceptados por la comunidad, de probada efectividad, económicamente viables y enfocados a los comportamientos necesarios de ser cambiados en la población blanco.

Una encuesta realizada por Dorado (2000) para conocer la atención médica brindada a los niños menores de cinco años en instituciones de salud de primer nivel, encontró frente a la valoración nutricional que el 76% de los médicos pesaron a los niños y niñas; de éstos, el 19% presentó problemas de peso, pero solo al 43% le proporcionaron recomendaciones alimenticias. El estudio reporta que al 58% de los niños de 13 a 24 meses y al 40% de otras edades con problemas de peso no se dieron recomendaciones a los padres o acudientes sobre la adecuada alimentación. Alves Da Cunha *et al.* (2005) encontraron que la adherencia a la carta recordativa (la tarjeta, herramienta que se entrega a la madre o cuidador para recordarle cuándo volver de inmediato, cómo dar líquidos y recomendaciones para el niño sano y enfermo)

fue solo del 50%. Concluyen que el entrenamiento en los signos generales de peligro y cuándo volver debe ser reforzado.

López *et al.* (2004) indican que frente a la valoración nutricional al 66,9%, se le ordenó o suplementó con vitamina A; al 50%, se le realizó vigilancia nutricional y 25,5%, se le capacitó a la madre y al cuidador. Concluyeron que los componentes de la AIEPI de la Infancia muestran coberturas acordes con su factibilidad y tiempo de implantación. Los hallazgos de la asociación de la atención integrada de la salud infantil destacan la importancia de reunir mayor evidencia sobre su efecto en el estado nutricional, con el fin de contribuir en el mejoramiento y de prevención de la desnutrición infantil.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue de tipo descriptivo longitudinal, debido a que se tomaron los datos obtenidos de la observación de la consulta y de preguntas de verificación de comprensión al cuidador al salir de la consulta en dos centros de salud del Hospital de Usaquén, adscrito a la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, en el CAMI de Verbenal (profesionales entrenados en la estrategia AIEPI), con una muestra de 44 cuidadores y la UPA de San Cristóbal (profesionales no entrenados en la estrategia AIEPI), con una muestra de 29 cuidadores. Para determinar la muestra, se realizó una revisión de los niños atendidos durante los últimos seis meses en cada sitio y, se sometió los datos al método estadístico; sin embargo, cuando se estaba en la recolección en San Cristóbal se requería profesionales no capacitados y para diciembre de 2004 todos los profesionales entraron a capacitación, por lo cual, no se pudo llegar a 44 niños. Los criterios para la inclusión de la muestra fueron niños y niñas entre los dos meses y cinco años y sus cuidadores que asistieron a consulta con médico o enfermera.

Las Unidades Primarias Zonales (UPZ) utilizadas fueron Verbenal y San Cristóbal. La UPZ Verbenal, se localiza en el norte de la localidad de Usaquén y la de San Cristóbal Norte, en el área central. La población de menores de cinco años corresponde a 2,04% niños menores de un año y el 7,85% a niños entre uno y cuatro años (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004).

Los instrumentos utilizados para la recolección de la información fueron los proporcionados por la estrategia para la observación de la consulta y para la medición de comprensión de indicaciones. Las consultas tomadas en cuenta dentro del estudio fueron las de crecimiento y desarrollo realizadas por médico y enfermera y la consulta al médico por algún evento de enfermedad.

Se plantearon las hipótesis de acuerdo a la variable de valoración del estado nutricional y comprensión de los tratamientos de Hipótesis Alterna: la aplicación de la estrategia AIEPI contribuye a mejorar los registros de peso, talla y clasificación del estado nutricional, así como la comprensión de los tratamientos indicados por el personal de salud en la madre o cuidador de los niños y niñas de dos meses a cuatro años, atendidos en dos centros de salud del Hospital de Úsaquén. Hipótesis Nula: la aplicación de la estrategia AIEPI no contribuye a mejorar los registros de peso, talla y clasificación del estado nutricional y a mejorar la comprensión de los tratamientos indicados por el personal de salud en la madre o cuidador de niños y niñas de la misma edad atendidos en los centros de salud referenciados.

El estadístico apropiado para dichas hipótesis fue:

$$Z = \frac{P1 - P2}{\sqrt{\frac{P1(1-P1)}{n1} + \frac{P2(1-P2)}{n2}}}$$

Si  $Z \geq Z_{1-\alpha}$  se rechaza la hipótesis nula, es decir,  $H_0$ .

El procedimiento realizado para la recolección de la información incluyó observar y registrar si el profesional pesó, talló y clasificó el estado nutricional, si preguntó el motivo de consulta, si educó sobre la enfermedad del niño, si instruyó sobre los tratamientos, para qué y cómo dar el medicamento, si enseñó sobre signos generales de peligro, consulta de crecimiento y desarrollo y consulta de control. Posterior a la consulta, se interrogó al cuidador sobre lo ocurrido en la consulta para determinar su comprensión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 44 consultas que aplicaron estrategia AIEPI, 28 fueron realizadas por una enfermera y 16 por un médico. De 29 consultas que no aplicaban la estrategia AIEPI, 18 fueron realizadas por enfermera y 11 por médico.

De los niños y niñas atendidos en consulta AIEPI, el porcentaje observado por enfermera es más alto por corresponder a los niños que asisten a consulta de crecimiento y desarrollo (70,45%); comportamiento similar a las consultas realizadas por profesional sin capacitación en la estrategia. Un menor porcentaje (30%) es la consulta que realiza el médico frente a sintomatologías comunes en la infancia, no muestra diferencias en este aspecto entre los grupos de capacitados y no capacitados.

Se encontró que el mayor porcentaje de los niños atendidos en los dos grupos asistían a la consulta de crecimiento y desarrollo. Ésta se constituye en una herramienta clave en el sector salud, ya que abarca mayor población que la consulta de urgencias y/o de evento de enfermedad; corresponde a uno de los primeros momentos de intervención donde la importancia de detectar alteraciones tempranas en el niño repercute en la intervención oportuna y la prevención de posteriores secuelas. Es entonces allí donde, a través de una valoración adecuada, se pueden detectar tempranamente las alteraciones nutricionales, del desarrollo y otros que pueda presentar el niño, incluidas las del contexto social y psicológico. Se destaca también el valor de la consulta de crecimiento y desarrollo, como fuente primaria de información para los cuidadores de los niños. Aquí se inicia el entrenamiento para la prevención de enfermedades y para la práctica de actividades que permiten el adecuado crecimiento y desarrollo.

Cáceres *et al.* (2005), al describir la relación entre la infección del rotavirus, la deshidratación por diarrea en niños colombianos menores de cinco años y los factores de riesgo de la diarrea con deshidratación, encontraron dentro de las variables analizadas que la falta de conocimientos previos acerca de la diarrea y la deshidratación y el no asistir a la consulta de crecimiento y desarrollo mostraron una fuerte asociación con la deshidratación por diarrea. “El efecto protector que desempeña la asistencia de los niños a las consultas de control de crecimiento y desarrollo en los últimos meses ( $P=0,606$ ) indicaron que esta variable estaba asociada con una mejor evolución”.

**Valoración y clasificación nutricional:** Al 100% de los niños se les realizó medición de peso y talla, por lo tanto, todos los niños fueron valorados nutricionalmente

en cuanto a medidas antropométricas y registrados debidamente en la Historia Clínica.

De los niños y niñas pesados y tallados en la consulta con estrategia AIEPI, al 31,8% (14), se le realizó clasificación nutricional y, en la consulta sin estrategia AIEPI, al 13,8% (4), utilizando los términos contemplados en la estrategia, como son: no tiene desnutrición, desnutrición o riesgo y desnutrición grave. Se observa una pequeña diferencia: los capacitados en la estrategia realizan en menor proporción mayor valoración y clasificación nutricional que los no entrenados, sin embargo, estadísticamente, en cuanto a la realización de clasificación nutricional, no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) entre las consultas de los niños con estrategia AIEPI y sin estrategia AIEPI, al igual que en el registro de clasificación nutricional. Ésta es importante en la consulta al menor, independiente del motivo de asistencia, por que establece su estado nutricional e identifica tempranamente factores de riesgo nutricionales que puedan exponer a otras patologías o afectar su crecimiento y desarrollo normal.

Es muy significativo valorar los cambios a lo largo del tiempo, ya que una medida aislada tiene poco valor. Las mediciones seriadas nos van a permitir: a) construir un perfil de desarrollo del niño y b) calcular su velocidad de crecimiento. Registrar los datos en las curvas de crecimiento y hacer el seguimiento longitudinal de cada niño permitirá mostrar cuál es su canal de crecimiento y detectar cuándo desvía su percentil habitual. Esto aporta una información valiosa para interpretar el crecimiento y el estado nutricional del niño (Martínez & Pedrón, 2002).

Además, es importante anotar que en las consultas, tanto con el médico como con la enfermera, el registro de medidas antropométricas se convierte en un elemento más de la valoración nutricional, el cual se debe complementar con el análisis de la situación particular del niño o niña, en aspectos como: estado socioeconómico y cultural, que determina el acceso y la disponibilidad hacia los tipos de nutrientes; el aspecto emocional y las relaciones familiares, que permiten la aceptación, la asimilación y la tolerancia a cierto tipo de alimentos; el nivel educativo y cognitivo del cuidador o del individuo, que estipula el grado de conocimiento sobre la importancia de la nutrición en el desarrollo del niño, así como la comprensión que da a las recomendaciones dadas en una determinada intervención.

**Comprensión de las indicaciones dadas:** La comprensión de los tratamientos fue evaluada con la aplicación de la encuesta, donde, el término correcto, se asigna cuando el cuidador mencionó completamente las indicaciones dadas por el personal de salud y el término incorrecto, se asigna cuando el cuidador no mencionó, mencionó errada o parcialmente las indicaciones dadas por el profesional de salud.

Al total de los cuidadores que asistieron a consulta, se les informó sobre la situación o diagnóstico del niño y se les dieron indicaciones pertinentes, pero un poco más de la mitad logró comprender el cien por ciento de la información suministrada, en los dos grupos, demostrando que por múltiples factores la comprensión de los usuarios, se ve comprometida.

En cuanto a comprensión de las indicaciones dadas sobre “le dijeron qué tenía el niño”, no existió una diferencia estadísticamente significativa entre los dos grupos; sin embargo, se evidencia que un 8% más de los cuidadores que asistieron a consulta con estrategia AIEPI mencionaron correctamente lo que afecta al niño, frente al grupo de no AIEPI; se destaca, entonces, cómo el porcentaje para los dos grupos fue de apenas el 50%, lo que manifiesta que faltó una mayor claridad para expresar y hacerse comprender frente a los cuidadores, como se observa en el gráfico 1.

Es importante recalcar que las respuestas dadas frente a lo que padecía el niño, se pueden ver influenciadas por las expectativas previas del cuidador a la consulta, de tal manera que éste no menciona la totalidad de las indicaciones dadas sobre el cuidado del menor, sino lo más significativo, según su percepción y sus expectativas. El 95,5% de los padres con niños atendidos con estrategia AIEPI y el 100% de los atendidos sin estrategia AIEPI mencionan que se encuentran conformes con las indicaciones brindadas, por tanto, no existen diferencias entre una consulta y otra.

Influye también en la comprensión del cuidador la forma en que el profesional de salud aborda al paciente y la forma en que se hace entender; en esto influyen aspectos, como el número de pacientes asignados para consulta, el tiempo asignado para las consultas y la disponibilidad del profesional.

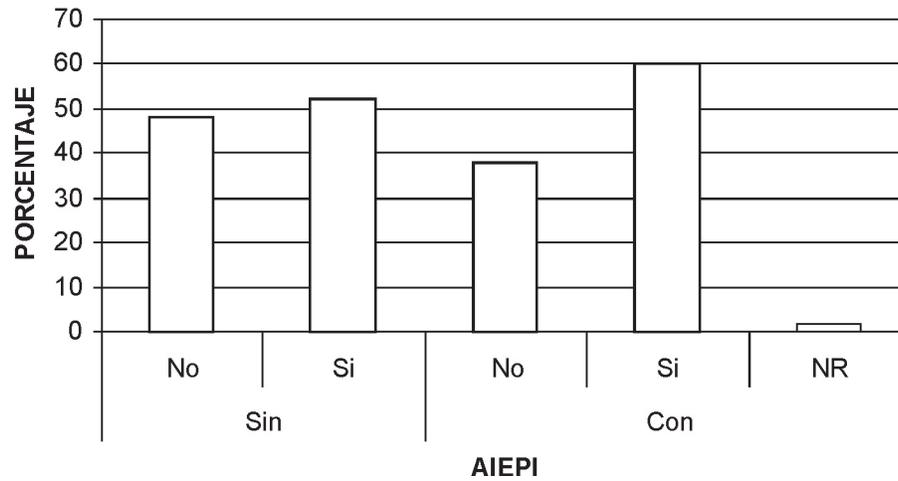


Gráfico 1. Comprensión de las indicaciones dadas en la consulta al menor de cinco años.

**Ordenaron medicamentos:** Al 45,5% (20) de los niños atendidos por AIEPI y al 75,9% (22) de los niños atendidos sin estrategia AIEPI, se les formuló medicamentos, por tanto, sí existen diferencias al formular medicamentos entre una consulta y otra. Lo anterior permite observar que la estrategia AIEPI aún sigue siendo la estrategia ideal para el uso racional de los medicamentos (gráfico 2). El 50% de los medicamentos 1 y 2 formulados en la consulta atendida por AIEPI y el 9% de los medicamentos 1 y 2 formulados en la consulta atendida sin AIEPI fueron entregados al salir el paciente de la consulta, por tanto, sí existen diferencias en la entrega del medicamento al paciente.

En cuanto al suministro de la primera dosis de los medicamentos, no existieron diferencias entre los dos

grupos. Aunque en la estrategia AIEPI se entregan los medicamentos, pero no se suministran, debido a la situación del menor y a los mecanismos de repartición de los mismos, ya que no eran suministrados por el profesional de la consulta sino por el farmacéuta, por lo tanto, la estrategia se había implementado parcialmente. Actualmente, en algunos Centros de Atención, hay una auxiliar de enfermería quien asume esta labor.

En cuanto al medicamento formulado en la consulta con estrategia AIEPI, el 57% fue entregado y en uno de los casos fue suministrado inmediatamente al menor, por las características de salud del menor (fiebre). En el 100% de los formulados en la consulta sin AIEPI, no se registró si fueron entregados y suministrados, debido a los

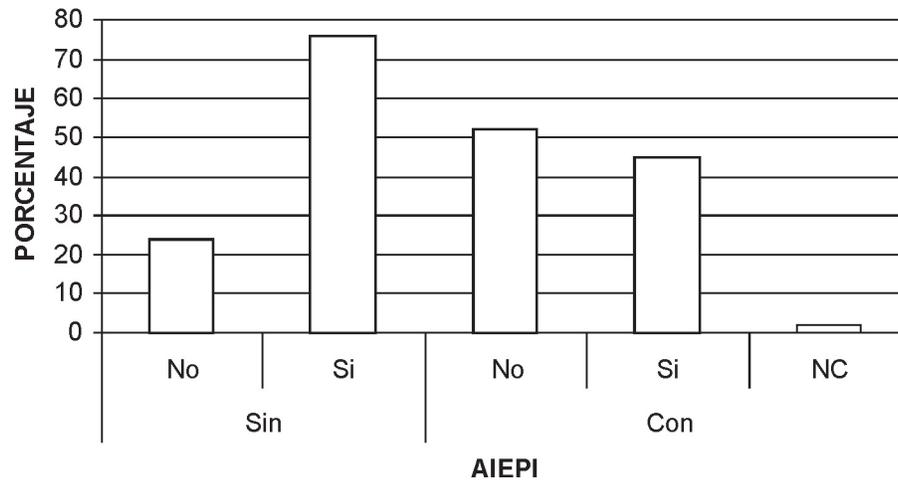


Gráfico 2. Formulación de medicamentos en la consulta al menor de cinco años.

mecanismos de entrega que dificultaron el seguimiento. El 100% (42) de las madres o cuidadores de los niños a quienes se les formuló algún fármaco mencionaron correctamente que medicamento tenía que darle al niño tanto en los que aplicaron AIEPI como los que no, por tanto, no existen diferencias entre los grupos.

**Para qué sirve cada medicamento:** De los cuidadores de los niños atendidos por profesional capacitado en AIEPI y que les formularon medicamentos (20), el 20% (4) de los cuidadores manifestaron que les indicaron para qué servía; y de los 22 niños sin estrategia AIEPI, también formulados, el 72,7% (16) de los cuidadores declararon que les dijeron para qué servía cada medicamento. En este caso existen diferencias al mencionar que sí les dijeron para qué era útil. Es importante señalar que en algunos pacientes de la estrategia AIEPI ya conocían el medicamento ordenado. El 20% de las madres de los niños con estrategia AIEPI a quienes formularon medicamentos indicaron correctamente para qué sirven y el 41% de las madres de los niños sin estrategia AIEPI mencionaron acertadamente para qué se utilizan los medicamentos. Aunque se observa divergencias en los grupos, estadísticamente, el valor  $p < 0,05$  muestra que no existen diferencias significativas.

Como se observa en los resultados, los porcentajes de comprensión de para qué servían los medicamentos para los dos grupos fueron menores del 60%, lo que

indica que existió dificultad en la percepción total de las indicaciones dadas en cuanto a entendimiento sobre para qué se ordena el medicamento a los niños.

**Cómo dar cada medicamento (cantidad, cuántas veces, cómo, cuántos días):** De los cuidadores de los niños que les formularon medicamentos, el 90% de los atendidos por AIEPI y el 95,5% de los atendidos sin AIEPI, les informaron cómo dar cada medicamento y 95% de los atendidos por AIEPI y sin AIEPI manifestaron correctamente que les dijeron cómo suministrarlos, por tanto, no existen diferencias. El 35% de las madres de los niños con estrategia AIEPI y el 32% de las madres de los niños sin estrategia AIEPI mencionan acertadamente cómo tienen que darle el medicamento al niño. Aunque se observan diferencias menores entre los grupos, estadísticamente el valor  $p < 0,05$  muestra que no existen diferencias en los grupos.

El 70% de las madres de los niños con estrategia AIEPI y el 59% de las sin estrategia AIEPI explican correctamente por cuántos días tiene que darle el medicamento. Estadísticamente, el valor  $p < 0,05$ , muestra la ausencia de diferencias. A pesar de esto, se observan (gráfico 3) diferencias entre los dos grupos: la comprensión de cómo administrar los medicamentos y durante cuántos días es mayor en la consulta de los capacitados en AIEPI, y la comprensión de para qué sirve, cuánto y cuántas veces es mayor para los no capacitados en la

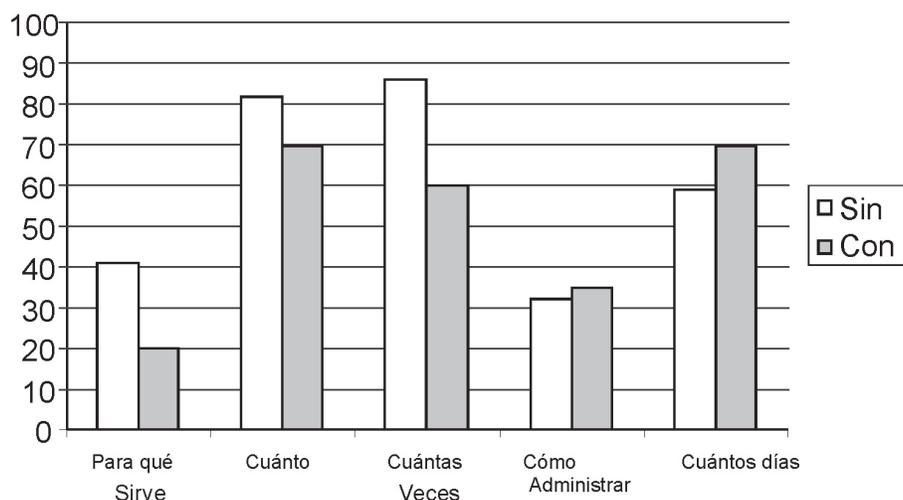


Gráfico 3. Comprensión de la administración de medicamentos en la consulta del menor de cinco años.

estrategia. Una de las razones que pudo originar estos resultados puede ser que en los no capacitados la consulta la dirigen hacia las necesidades del niño y su cuidador; mientras en los capacitados pueden dirigir la consulta a involucrar todos los aspectos relacionados a la situación integral del menor, lo que puede producir que, al final de la consulta, la madre o cuidador no recuerde completamente las indicaciones sobre la administración de los medicamentos.

**Signos generales de peligro:** No se encontraron diferencias en los dos grupos, pero se observa un porcentaje alrededor del 40% para los que mencionan correctamente las indicaciones dadas, lo que muestra, como se mencionó anteriormente, que existen dificultades para la comprensión total de los medicamentos y de las indicaciones dadas. Es importante, en este sentido, realizar mayor capacitación a los profesionales de salud para realizar mejor la educación sobre los tratamientos, así como el seguimiento al cumplimiento de dichas recomendaciones.

**Control de crecimiento y desarrollo y sobre la consulta en general:** Los resultados indican que los dos grupos mencionan a la madre cuándo volver a control de la situación que motivó la asistencia médica. En la consulta de crecimiento y desarrollo denota diferencias, encontrando que se explica más sobre la consulta de crecimiento y desarrollo en los profesionales que no han sido capacitados. Como en los anteriores aspectos, en la información que se suministra sobre la consulta de control y la consulta de crecimiento y desarrollo, denota una baja comprensión de la información suministrada. Sumado a las inferencias realizadas anteriormente, se considera que no se hace valoración de la comprensión suministrada, es decir, el profesional no verifica que la información haya sido comprendida en su totalidad.

**Sobre la Consulta en General:** Para los dos grupos, los cuidadores no refieren inconvenientes importantes que no permitan la asistencia a las citas de control o de crecimiento y desarrollo.

## CONCLUSIONES

La estrategia AIEPI no tuvo un efecto significativo en los profesionales capacitados en el centro de salud en el registro de la valoración del estado nutricional de los niños, sin embargo, se mejoró el registro de la

clasificación nutricional cuantitativamente, es decir se pesa y se talla al niño, se registran estos datos pero no se da una valoración cualitativa de estos valores dejando, de esta manera, inconcluso el proceso. Esto se relaciona también con el momento en que se realizó el estudio, ya que estaba iniciado el proceso de capacitación pero no estaban bien consolidados los procesos de evaluación y de seguimiento a los capacitados.

Es significativo priorizar la información que se brinda al cuidador, de acuerdo a la situación que presenta el niño, a los riesgos que incurre para su grupo de edad y a las expectativas del cuidador, involucrando los elementos de la comunicación, que la estrategia propone, para que la relación terapéutica que se cree con el usuario y el respeto por su cosmovisión y creencias de la salud sea un elemento importante para lograr la construcción de actitudes que generen comprensión y, por supuesto, cambio.

## RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones después de consolidados los procesos de capacitación y de evaluación que permitan determinar la comprensión de las indicaciones y los tratamientos de los cuidadores de niños y niñas y su adherencia y seguimiento en el hogar, así como los factores culturales, sociales, económicos y otros que intervienen, para que ocurra o no el cumplimiento a las recomendaciones.

## AGRADECIMIENTOS

A Esperanza Avellaneda por la asesoría constante y su apoyo para realizar la investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ, SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL SISVAN. 2005. Comportamiento del estado nutricional por grupo etareo según el indicador talla para la edad en menores de 7 años notificados en el SISVAN, enero a Junio del 2005. Disponible desde Internet en: [http://www.saludcapital.gov.co/seccsalud/boletines\\_epidemiologicos/Boletin0605\\_archivos/Page1038.htm](http://www.saludcapital.gov.co/seccsalud/boletines_epidemiologicos/Boletin0605_archivos/Page1038.htm) (con acceso en 03/08/07.)

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. 2004. Secretaría de Hacienda, Departamento de Planeación, Recorriendo a Usaqué, Diagnóstico Físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, 2004. Disponible desde Internet en: [http://www.dapd.gov.co/www/resources/tqv\\_recorriendo\\_usaquen.pdf](http://www.dapd.gov.co/www/resources/tqv_recorriendo_usaquen.pdf) (con acceso 03/06/07).
- ALVES DA CUNHA, A.J.L., DOS SANTOS, S.R., MARTINES, J. 2005. Integrated care of childhood disease in Brazil: Mothers' response to the recommendations of health workers. *Acta Paediatrica Promoting Child Health*, 94(8):1116–1121.
- ASOC. PROBIENESTAR DE LA FAMILIA COLOMBIANA (PROFAMILIA), INST. COL. BIENESTAR FAMILIAR (ICBF); MIN. SALUD; FUNDACION CORONA; CONSEJERIA PRESIDENCIAL PARA LA EQUIDAD DE LA MUJER; USAID; UNICEF; MEASURE/DHS, MACRO INTERNACIONAL Inc.; FED. INTERNAL PLANIFICACION FAMILIAR (IPPF-RHO). *Salud Sexual y Reproductiva, Resultados Encuesta Nacional de Demografía y Salud 2000, Capitulo X: Lactancia y Nutrición de Niños y Madres, 2000*, p. 146. Disponible desde Internet en: [http://www.profamilia.org.co/encuestas/01encuestas/pdf\\_2005/capitulo\\_XI.pdf](http://www.profamilia.org.co/encuestas/01encuestas/pdf_2005/capitulo_XI.pdf) (con acceso 03/08/07).
- ASOC. PROBIENESTAR DE LA FAMILIA COLOMBIANA (PROFAMILIA), INST. COL. DE BIENESTAR FAMILIAR (ICBF); MIN. PROTECCIÓN SOCIAL; USAID; UNFPA. *Salud Sexual y Reproductiva, Resultados Encuesta Nacional de Demografía y Salud 2005, Capitulo XI: Lactancia y Estado Nutricional, 2005*, p.267. Disponible desde Internet en: [http://www.profamilia.org.co/encuestas/01encuestas/pdf\\_2005/capitulo\\_XI.pdf](http://www.profamilia.org.co/encuestas/01encuestas/pdf_2005/capitulo_XI.pdf) (con acceso 03/08/07).
- DORADO P., E.A. 2000 Análisis de los resultados de la encuesta realizada en Medellín Bolívar, Turbo, Barranquilla, Sabana Larga, Santa Fe de Bogotá, Bogotá. Documento de la Organización Panamericana de la Salud. 55p.
- LÓPEZ F., F.; BARQUERA C., S.; KAGEYAMA E., M. 2004. Evaluación de una atención integrada contra la desnutrición infantil en áreas urbanas de Nayarit, México. *Salud pública Méx.* 46(2):158-163.
- MARTÍNEZ, C.C.; PEDRON, G.C. 2002. Valoración del estado nutricional, en *Protocolos diagnósticos y terapéuticos en pediatría*, p. 375, 377. Editorial AEP, España. Disponible desde Internet en: <http://www.aeped.es/protocolos/nutricion/9.pdf> (con acceso 03/08/07).
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS. 1998. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. AIEPI en países de América Latina. Reunión de Evaluación y Planificación. Documento. Quito-Ecuador. p.3.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS. 1999. Ministerio de Salud Boletín Noticias sobre AIEPI. Número 2. Diciembre 1999. p.1.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS. 2001. Investigaciones operativas sobre AIEPI. Abril de 2001. p.48.
- ZAMORA, A.D.G.; CORDERO, D.V.; MEJIA S., M.2002. Evaluación de la estrategia "Atención integrada a las enfermedades Prevalentes de la infancia" (AIEPI) en Servicios de Salud, Bolivia. *Rev. Chilena de Pediatría.* 73(2):184-191.

Recibido: junio 6 de 2007

Aceptado: noviembre 9 de 2007

# DETECCIÓN POR PCR DE STAPHYLOCOCCI ENTEROTOXIGÉNICO DE ALIMENTOS Y MANIPULADORES DE ALIMENTOS

## PCR FOR THE IDENTIFICATION OF ENTEROTOXIGENIC STAPHYLOCOCCI FROM FOOD AND FOOD HANDLERS

María Consuelo Vanegas López<sup>1</sup>  
Aida Juliana Martínez León<sup>2</sup>  
Mayra Viviana Medrano Medina<sup>3</sup>

### RESUMEN

La intoxicación por toxinas estafilococcicas es una de las principales enfermedades transmitidas por alimentos, causada por *Staphylococcus* enterotoxigénicos, debido al manejo inapropiado de los alimentos. El objetivo de este estudio fue el de determinar la frecuencia de cepas enterotoxigénicas de Staphylococci productoras de toxina A, B, C y D aisladas de manipuladores de alimentos y de alimentos utilizando la técnica de PCR. 150 cepas de Staphylococci fueron aisladas de 40 manipuladores y 75 muestras de alimentos. Se identificaron las cepas por microbiología tradicional y se realizó PCR para la detección de los genes *sea*, *seb*, *sec* y *sed*. El 63,33% (95) de los aislamientos correspondían a *S. aureus* y el 22% (33) a *S. intermedius*; el resto de aislamientos (22; 14,67%) no se lograron identificar hasta especie debido a reacciones bioquímicas atípicas. El 22,66% de las 34 cepas (19 alimenticias y 15 humanas) fueron

enterotoxigénicas con una mayor frecuencia de cepas productoras de toxina A (10,66%, 13 humanas y tres alimentos), seguido por cepas productoras de toxina C (9,33% tres humanas y once alimenticias) y de toxina B (2,67%, tres humanas y una alimenticia). Un 0,66% de las cepas fueron productoras de toxina A y C (una alimenticia) y no se detectaron cepas productoras de toxina D. Se demostró la presencia de cepas enterotoxigénicas de Staphylococci en manipuladores de alimentos y alimentos con una frecuencia general de 22,66%. Debido a la rapidez de resultados, el PCR se puede utilizar en la caracterización toxigénica de Staphylococci para proteger la salud pública.

Palabras clave: Salud humana, intoxicación alimentaria, *Staphylococcus* spp., reacción en cadena de la polimerasa, manejo de alimentos.

### SUMMARY

Staphylococcal food poisoning is caused by enterotoxigenic Staphylococci due to inappropriate food handling. The objective of this study was to determine the frequency of enterotoxigenic A, B, C and D Staphylococci strains isolated from food handlers and food by Polymerase Chain Reaction (PCR). 150 Staphylococci strains were isolated from 40 food handlers and 75 food products. These strains were identified by traditional microbiology and submitted to PCR analysis for the detection of *sea*, *seb*, *sec* and *sed* genes. 63.33% (95) of the isolates were identified as *S. aureus* and 22% (33) were identified as

<sup>1</sup> Microbióloga M.Sc. Laboratorio de Ecología Microbiana de Alimentos, Dpto. Ciencias Biológicas, U. de Los Andes. Cra. 1 No 18 a 10 Edificio J209. mvanegas@uniandes.edu.co

<sup>2</sup> Microbióloga. Laboratorio de Ecología Microbiana de Alimentos, Dpto. Ciencias Biológicas, U. de Los Andes. ai-marti@uniandes.edu.co.

<sup>3</sup> Microbióloga M.Sc. Laboratorio de Ecología Microbiana de Alimentos, Dpto. de Ciencias Biológicas, U. de Los Andes. m.medrano435@egresados.uniandes.edu.co

*S. intermedius*; the rest of the isolates (22, 14.67%) were not identified to species due to atypical biochemical reactions. 22.66% of the 34 isolates (19 food and 15 humans) were found to be enterotoxigenic with a greater incidence of toxin A producer strains (10.66%, 13 humans and 3 food), followed by toxin C (9.33%, 3 food, 11 food) and of toxin B (2.67%, 3 humans, 1 food); 0,66% of the strains were A and C producers (1 food); toxin D producer strains were not detected in the 150 strains. The presence of Staphylococci enterotoxigenic strains in food handlers and food was demonstrated with an overall frequency of 22.66%. Due to the quick results PCR can be used in the toxigenic characterization of Staphylococci to protect public health.

Key words: Human health, food poisoning, *Staphylococcus* spp., Polymerase Chain Reaction, food handling.

## INTRODUCCIÓN

*Staphylococcus aureus* es un patógeno oportunista que causa una gran variedad de infecciones incluyendo abscesos y septicemia (Kúzma *et al.* 2003a; Normanno *et al.* 2007). El hábitat principal de *S. aureus* en humanos es la membrana mucosa de la nasofaringe, donde permanece como miembro de la flora normal sin causar enfermedad (Fueyo *et al.* 2005; Choudhury *et al.* 2006). Diferentes especies de *Staphylococcus* pueden producir enterotoxinas, tales como *S. aureus*, *S. intermedius*, *S. epidermidis*, *S. hyicus* y *S. warneri* (Escartin, 2000; Aragon-Alegro *et al.* 2007). Algunas de estas especies están involucradas en Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETAs), donde uno de los principales agentes causales es *S. aureus* (Aragon-Alegro *et al.* 2007; Simon & Sanjeev, 2007). Intoxicaciones causadas por *S. aureus* han sido registradas en diferentes países. En Latino América ha sido reportado como el segundo patógeno más importante causante de ETAs, con una frecuencia del 34,5% durante el periodo de 1993-2001 (Perdomo, 2004). La intoxicación estafilocócica es una de las enfermedades más importantes económicamente en los Estados Unidos. Las pérdidas económicas en gastos médicos y productividad debido a *S. aureus* alcanzan US\$1,500,000,000 por año (Cenci-Goga *et al.* 2003; Normanno *et al.* 2007). Generalmente, la enfermedad se caracteriza por la aparición repentina de síntomas, incluyendo náuseas, vómito, dolores abdominales y diarrea dentro de las dos a seis horas siguientes, debido

a la ingestión de toxinas termoestables producidas en el alimento (Fueyo *et al.* 2005; Holečková *et al.* 2002).

*S. intermedius* está cercanamente relacionado a *S. aureus*: ambas especies producen coagulasa, termonucleasa y algunas cepas son capaces de producir enterotoxinas. *S. intermedius* es reconocido como parte de la flora microbiana de la piel, cavidad oral y nasal de perros sanos y otros animales (Hauschild & Wo'Jcik, 2007). Raramente ha sido encontrado en humanos, incluso entre individuos con exposición frecuente a los animales. Sin embargo, *S. intermedius* es responsable de infecciones asociadas a mordeduras caninas y ha sido implicado en intoxicación alimentaria (Kúzma *et al.* 2003b; Sandel & McKillip, 2004). Las toxinas estafilocócicas (SEs, por sus siglas en inglés staphylococcal enterotoxins) son miembros de un subgrupo de proteínas relacionadas con la familia de las toxinas pirogénicas mostrando un número diverso y único de actividades biológicas (Lawrynowicz-Paciorek *et al.* 2007). SEs son distinguibles de otros miembros de esta familia por sus habilidades eméticas y diarreas una vez ingeridas (Escartin, 2000) y siendo los responsables de la intoxicación alimentaria por *Staphylococcus* (SFP, por sus siglas en Inglés staphylococcal food poisoning), con un gran impacto público y sanitario. Hasta el momento, 20 diferentes SEs han sido identificadas: las clásicas SEA, SEB, SEC, SED y SEE y las recientemente descritas SEG, SEH, SEI y SEJ. No todos los Staphylococci son productores de enterotoxinas y la producción de la enfermedad depende de la cantidad de toxina producida (Becker *et al.* 2001; Loncarevic *et al.* 2005).

Se han desarrollado pruebas inmunológicas y biológicas para la detección de SEs (Fueyo *et al.* 2005; Lawrynowicz-Paciorek *et al.* 2007; Normanno *et al.* 2007). Para determinar la presencia de SE en un cultivo bacteriano, la aglutinación pasiva inversa por látex (SET-RPLA) ha sido el método de elección; tiene un bajo límite de detección y sólo es posible diferenciar entre cuatro tipos de enterotoxinas clásicas (SEA, SEB, SEC y SED) a partir de un aislamiento bacteriano (Becker *et al.* 2001; Morandi *et al.* 2007). Actualmente, se están empleando ensayos de inmunoabsorción enzimática (ELISA) para la detección directa de SE en alimentos. Se han venido desarrollando investigaciones utilizando la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para la detección de cepas enterotoxigénicas, una técnica rápida, específica y sensible (Boerema *et al.* 2007; Morandi *et al.* 2007;

Tkáciková *et al.* 2003). El objetivo de este estudio fue determinar la frecuencia de cepas de *Staphylococci* enterotoxigénicas (*SEA*, *SEB*, *SEC* y *SED*) aisladas de manipuladores de alimentos y alimentos mediante PCR, utilizando los iniciadores específicos. En Colombia existe poca información acerca de la caracterización enterotoxigénica de cepas de Staphylococci circulantes en los alimentos y en manipuladores de alimentos, debido a que no hay métodos disponibles que permitan determinar específicamente el tipo de cepas toxigénicas circulantes. Por lo anteriormente expuesto y debido a la necesidad de determinar la frecuencia real de estas toxinas en nuestro medio, se utilizó la técnica de PCR (Fueyo *et al.* 2005).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como controles, se emplearon las siguientes cepas de referencia: *S. aureus* no enterotoxigénico cepa ATCC 27692; *S. aureus* productor de SEC y *S. aureus* productor de SED (donadas por el doctor Cenci Goga, Università Degli Studi Di Perugia, Facoltà di Medicina Veterinaria); *S. aureus* productor de SEA, productor de SEB y *S. epidermidis* ATCC 122228 utilizada como control negativo (donadas por la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, Colombia). Las cepas fueron conservadas a -20°C y se recuperaron en Infusión Cerebro Corazón (BHI, Oxoid Ltd., Basingstoke, Hampshire, England), 24 horas antes del análisis.

Se realizó un muestreo piloto, en el cual, se aislaron 150 cepas de *Staphylococcus spp.* a partir de 75 muestras de alimentos y 40 manipuladores de alimentos pertenecientes a siete plantas procesadoras en Bogotá. Las muestras de alimentos, incluyendo queso, leche, jamón y crema de leche, tomadas en un periodo de un año (mayo 2004-mayo 2005), se adquirieron en plazas de mercado de Bogotá y se transportaron al laboratorio bajo refrigeración, para ser procesadas en un periodo no mayor a tres horas, de acuerdo al método de la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos (US FDA, 1998).

Los frotis de los manipuladores fueron realizados con hisopos estériles de algodón en manos, en garganta y en nariz y fueron transportados al laboratorio en 10ml de solución salina estéril al 0,85%, bajo refrigeración. Las muestras, se procesaron dentro de las dos horas

siguientes a la toma de muestra; se sembró por aislamiento en cajas de Agar Salado Manita, Agar Sangre, y Agar Vogel Jhonson y se incubaron durante 24-48h a 37°C (todos los medios fueron adquiridos de Oxoid Ltd., Basingstoke, Hampshire, England).

Las cepas de *S. aureus* y *S. intermedius* fueron identificadas por microbiología tradicional, de acuerdo a los métodos descritos por la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos (US FDA, 1998). Las cepas debían ser cocos Gram positivos, telurito positivo, beta hemolíticas, productoras de ADNasa y termonucleasa, colonias blancas ó con pigmento amarillo, de acuerdo al protocolo reportado previamente. Las cepas se confirmaron, adicionalmente, con el kit Crystal BBL kit (Becton Dickinson Microbiology Systems, Cockeysville, USA) y el software para Gram positivas versión 4.0 se utilizó para interpretar los resultados.

Para la obtención de ADN, se concentraron las células a partir de 1 ml de un cultivo overnight en Infusión Cerebro Corazón (BHI, Oxoid Ltd., Basingstoke, Hampshire, England) y el ADN fue extraído utilizando el estuche comercial de Aislamiento de DNA Procariótico proDNA 2003 (Corporación Corpogen), según las indicaciones del fabricante. Las muestras de ácido nucleico fueron resuspendidas en 50µl de la solución de reconstitución del kit, cuantificadas con el espectrofotómetro Biomate3 (Thermo Spectronic, Rochester, N.Y.), con lecturas a  $A_{260/280}$  nm y ajustadas a una concentración final de 60ng/µl. La pureza del ADN fue determinada con la relación de los valores  $A_{260/280}$  (datos no mostrados). El ADN purificado fue conservado a -20°C.

Para la detección de genes enterotoxigénicos por PCR, se utilizaron primers específicos para detectar los genes *sea*, *seb*, *sec* y *sed*, previamente reportados (McLauchlin *et al.* 2000) y sintetizados por Promega (Promega Corporation). Las amplificaciones fueron llevadas a cabo en un volumen final de 25µl conteniendo: 12,5µl de 2X PCR Master Mix (Promega Corporation); 1µM de cada primer; 240ng de ADN templado (3µl); 4,2µl de MgCl<sub>2</sub> 25mM (Corporación Corpogen) y 0,3µl de Taq polimerasa 5U/µl (TucanTaq, Corporación Corpogen).

Las reacciones, se realizaron en un termociclador Gene-Cycler (Bio-Rad Laboratories, Hércules, CA, USA, con el siguiente perfil de amplificación: denaturación inicial a

94°C por 4 min, seguido por 30 ciclos de denaturación a 94°C por 2 min, anillaje a 55°C por 2 min y extensión a 72°C por 1 min, con un ciclo final de extensión a 72°C por 7 min (Wang *et al.* 1997). Se realizaron dos repeticiones para cada cepa y cada gen con el respectivo control positivo y el control negativo (*S. epidermidis*), para cada amplificación toxigénica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La intoxicación por toxinas estafilocócicas es una de las causas más comunes de ETAs, debido a la habilidad de las cepas de sintetizar una o más enterotoxinas (Normanno *et al.* 2007). El uso de técnicas moleculares, como PCR, ha sido reportado en varios estudios como una técnica sensible, rápida y específica para la detección de genes enterotoxigénicos producidos por *Staphylococci* y como una medida de control importante en las industrias procesadoras de alimentos (Tkáčiková *et al.* 2003; McLauchlin *et al.* 2000; Morandi *et al.* 2007; Boerema *et al.* 2007).

Diferentes aislamientos de *Staphylococci* de alimentos y de manipuladores de alimentos fueron obtenidos en este estudio. Un total de 150 cepas fueron analizadas, de las cuales 95 (63,33%) fueron identificadas como *S. aureus*, correspondientes a 21 cepas obtenidas de frotis de nariz, siete fueron de garganta, una de manos y 66 cepas de alimentos; 33 cepas (22%) se identificaron como *S. intermedius*, correspondientes

a 14 cepas de nariz, dos de garganta, 15 de manos y dos de alimentos y, adicionalmente 22 cepas (14,67%) no pudieron ser identificadas hasta especie, debido a pruebas bioquímicas atípicas por el método tradicional y el estuche Crystal de BBL. Estos resultados muestran una gran diversidad de *Staphylococci* circulantes en alimentos y en manipuladores. Se encontró un número considerable de *S. intermedius* circulante en humanos (31 cepas) correspondiente al 44,28% del total de los aislamientos humanos (Figura 1).

Los resultados de este estudio muestran que la nariz es uno de los hábitat más comunes de *S. aureus* coincidiendo, de esta forma, con otros autores, quienes reportan que la contaminación de los alimentos en las plantas procesadoras se debe a los manipuladores de alimentos y a portadores asintomáticos con lesiones en la piel (Choudhury *et al.* 2006; Morandi *et al.* 2007; Uemura *et al.* 2004). Así mismo, se reporta que *S. intermedius* fue aislado en un número mayor al esperado de seres humanos; hallazgo importante, ya que este microorganismo ha sido raramente aislado de humanos, puede ser confundido con *S. aureus* y ha estado implicado en brotes por infección en Estados Unidos (Kúzma *et al.* 2003a).

En este estudio, se detectaron genes para cuatro tipos de enterotoxinas (*SEA, SEB, SEC, SED*), con una especificidad y discriminación de 100% entre los mismos. Los productos de PCR obtenidos, se muestran

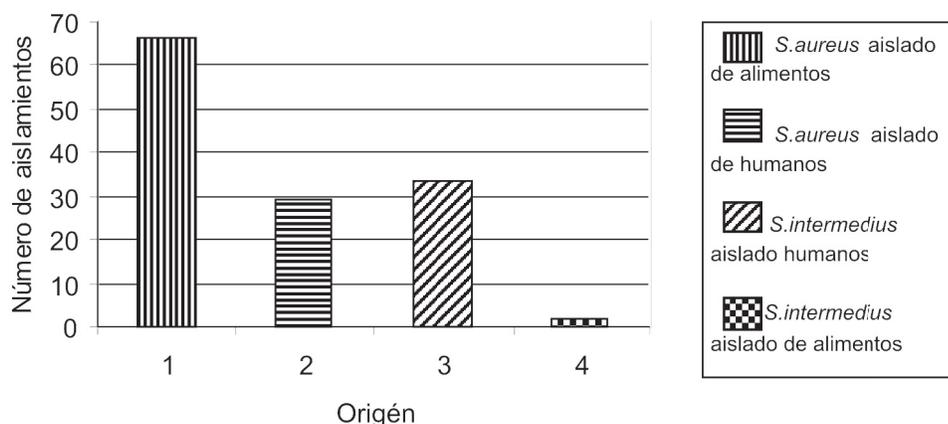


Figura 1. Distribución de aislamientos de *S. aureus* y *S. intermedius* de origen humano y alimentario. Los datos representan el número de aislamientos de cada fuente.

como una banda única de 120 pb para *sea*, 478 pb para *seb*, 257 pb para *sec* y 317 pb para *sed* sin ningún tipo de amplificación adicional (Figura 2). Los resultados muestran que el 22,66% (34 de las 150 cepas analizadas) fueron positivas para una o más de las SE evaluadas de los aislamientos fueron enterotoxigénicos (19 cepas humanas y 15 de alimentos), presentando una mayor frecuencia de cepas productoras de toxina A (10,66%), correspondientes a 13 cepas de manipuladores y tres de alimentos, seguido por cepas productoras de toxina C (9,33%), correspondientes a once cepas de alimentos y once humanas. Se encontró una menor frecuencia de cepas productoras de toxina B (2,67%; tres cepas humanas y una de alimentos) y no se encontró ninguna cepa productora de toxina D. Se detectó una sola cepa productora de toxina A y C (0,66%) aislada de alimentos (Tabla 1, Tabla 2). Un número significativo de cepas productoras de toxina A fue encontrado en humanos (13 cepas), de las cuales dos pertenecían al género *S. intermedius*, seguido de toxina C (once cepas). Un

menor número de cepas productoras de toxina B fue encontrado en humanos (tres cepas). Estos resultados son importantes, ya que éste es el primer estudio en el cual se reportan cepas productoras de toxinas de *S. intermedius* y en Colombia sólo se busca *S. aureus* coagulasa positivo, descartando otro tipo de cepas que pueden ser productoras de toxinas. Según otros autores, la producción de enterotoxinas se ha visto asociada a otras especies, como *S. intermedius* (Kúzma *et al.* 2003b; Sandel & McKillip. 2004). Los resultados obtenidos en estudios previos referentes a la expresión toxigénica no llegan a un consenso; McLauchin *et al.* (2000), indican a SEA como la toxina más común, mientras que Holecková *et al.* (2002), registran a SEB como la más frecuente en alimentos y Udo *et al.* (1999), reportaron esta toxina como la más común en hisopados de manos y nariz. En varios estudios SEA y SEB han sido reportadas como las enterotoxinas más comunes causantes de ETAs (Holečkova *et al.* 2004).

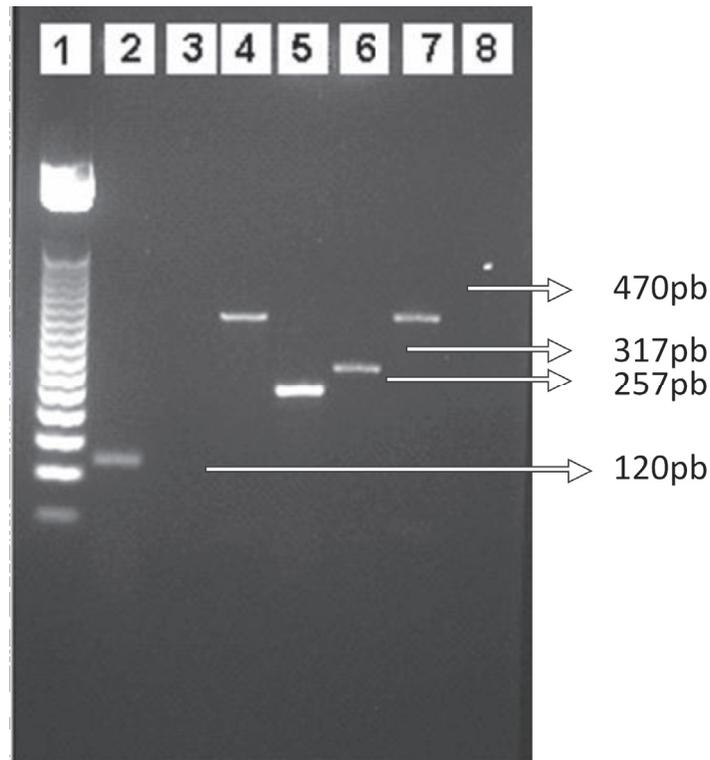


Figura 2. Carril 1, marcador de peso molecular (50-bp ladder; Promega Corporation, 2800 Woods Hollow Road-Madison, United States of America). Cepas Enterotoxigénicas: Carril 2. *sea* (120bp.), *seb* (478pb, carriles 4, 7), *sec* (257pb carril 5) y *sed* (317pb, carril 6) aisladas de manipuladores de alimentos y alimentos.

Tabla 1. Detección de *sea*, *seb*, *sec* y *sed* por PCR de cepas aisladas de alimentos y manipuladores de alimentos de acuerdo al origen de la cepa.

FUENTE	No. muestras	No. cepas	<i>sea</i>	<i>sec</i>	<i>sed</i>	<i>seb</i>	<i>sea+sec</i>	TOTAL*
Manipuladores alimentos Planta I cárnicos	12	23	7	1	0	3	0	11
Manipuladores de alimentos Planta II delikatessen	8	5	0	1	0	0	0	1
Manipuladores de alimentos planta III vegetales	2	0	0	0	0	0	0	0
Manipuladores cafetería I	16	40	6	1	0	0	0	7
Manipuladores cafetería II	2	0	0	0	0	0	0	0
Manipuladores restaurante II	2	2	0	0	0	0	0	0
Jamón	9	9	0	2	0	0	0	2
Leche	6	6	0	0	0	1	0	1
Crema de Leche	45	60	3	8	0	0	1	11
Queso	5	5	0	1	0	0	0	1
<b>Total</b>	107	150	16	14	0	4	1	34
<b>% Cepas Enterotoxigénicas</b>			<b>10,66</b>	<b>9,33</b>	<b>0</b>	<b>2,67</b>	<b>0,66</b>	<b>22,66</b>

\*El total corresponde al número de cepas productoras de una o más toxinas.

En Colombia, la expresión enterotoxigénica de las cepas circulantes no ha sido estudiada y, en algunas ocasiones, el número de casos de intoxicación ha sido subestimado. Estos resultados contribuirán para determinar la severidad de este problema y el tipo de enterotoxinas estafilococcicas que se encuentran en nuestro medio.

La técnica de PCR descrita anteriormente es una herramienta rápida y sensible para la detección de genes enterotoxigénicos de aislamientos humanos y alimenticios. Este protocolo puede ser empleado

en los laboratorios de microbiología de alimentos como un método de rutina, ya que la caracterización enterotoxigénica de las cepas aisladas de este patógeno es importante para la industria de alimentos.

Respecto a la frecuencia de *S. aureus* es importante mencionar que un alto número de cepas corresponden a muestras de nariz, lo cual se relaciona con la literatura, puesto que se ha reportado que los manipuladores de alimentos portadores de *S. aureus* en sus fosas nasales son una fuente importante de contaminación de alimentos (Acco *et al.* 2003).

Tabla 2. Identificación de cepas productoras de toxinas.

<b>Código</b>	<b>Origen</b>	<b>Género</b>	<b>especie</b>	<b>Tipo de se</b>
STA095	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
STA108	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
STA054	Jamón cordero	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA029	Jamón corriente	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA078	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA097	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA099	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA100	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA103	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA105	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA127	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA031	Queso campesino	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
STA096	Crema de leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea y sec
STA072	Leche	Staphylococcus	<i>aureus</i>	seb
06M-2	Manos manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
11N-1	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
11N-2	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
11N-3	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
11N-4	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
11N-5	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
25G-1	Garganta manipulador	Staphylococcus	<i>intermedius</i>	sea
25G-2	Garganta manipulador	Staphylococcus	<i>intermedius</i>	sea
25G-3	Garganta manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
25G-4	Garganta manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
35N-3	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
39N-1	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
39N-3	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sea
36N-5	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	seb
07N-2	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	seb
08N-2	Nariz manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	seb
41M-2	Manos manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
10M-4	Manos manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec
28M-3	Manos manipulador	Staphylococcus	<i>aureus</i>	sec

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio es un acercamiento al problema de Staphylococci enterotoxigénicos en Colombia, así como a la implementación de PCR, como una herramienta de identificación rápida, sensible y específica de genes involucrados en la intoxicación por enterotoxinas, debido a que los kits serológicos no están disponibles en nuestro país y otros métodos disponibles no determinan el tipo específico de SE. Los resultados obtenidos indican que existen cepas enterotoxigénicas de *S. aureus* y de *S. intermedius* circulando en los alimentos y manipuladores de alimentos de nuestro medio. Teniendo en cuenta que *S. aureus* es un microorganismo indicado de las condiciones higiénicas y que su presencia determina que existen deficiencias durante el procesamiento, almacenamiento y manipulación de los alimentos. Se recomienda la técnica de PCR como una herramienta para ser empleada en los laboratorios de microbiología de alimentos, como un método de rutina. Así mismo, se sugiere el reforzamiento de las Buenas Prácticas de Manufactura a través del control de la flora normal de los manipuladores, previniendo por ende la transmisión de *Staphylococcus* productores de SEs a los alimentos por la manipulación inapropiada de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACCO, M.; FERREIRA, F.S.; HENRIQUES, J.A.P.; TONDO, E.C. 2003 Identification of multiple strains of *Staphylococcus aureus* colonizing nasal mucosa of food handlers. *Food Microbiol.* 20:489-493.
- ARAGON-ALEGRO, L.C.; MIEKO, K.E.; SUZUKI, K.; GUIMARÃES, S.M.; FERNANDES, J.A.; RALL, R.; MORES, R.V.L. 2007. Occurrence of coagulase-positive *Staphylococcus* in various food products commercialized in Botucatu, SP, Brazil and detection of toxins from food and isolated strains. *Food Control.* 18:630-634.
- BECKER, K.; KELLER, B.; EIFF VON, C.; BRÜCK, M.; LUBRITZ, G.; ETIENNE, J.; PETERS, G. 2001. Enterotoxigenic potential of *Staphylococcus intermedius*. *Appl. Environ.* 67(12):5551-5557.
- BOEREMA, J.A.; CLEMENS, R.; BRIGHTWELL, G. 2007. Evaluation of molecular methods to determine enterotoxigenic status and molecular genotype of bovine, ovine, human and food isolates of *Staphylococcus aureus*. *Internal J. Food Microbiol.* 107:192-201.
- CENCI-GOGA, B.T.; KARAMA, M.; ROSSITO, P.V.; MORGANTE, R.A.; CULLOR, J.S. 2003. Enterotoxin Production by *Staphylococcus aureus* isolated from mastitic cows. *J. Food Prot.* 66(9):1693-1696.
- CHOUDHURRY, R.S.R.; MELLES, D.; EADIE, K.; VOS, M.; WERTHEIM, H.F.L.; VERBRUGH, H.A.; VAN BELKUM, A.; VAN LEEUWEN, W.B. 2006. Direct detection of human *Staphylococcus aureus* carriage in the nose using the Lightcycler *Staphylococcus* kit. *J. Microbiol. Meth.* 65:354-356.
- ESCARTIN, F.E. 2000. Microbiología e inocuidad de los alimentos. Universidad Autónoma de Querétano. Méjico. 322p.
- FUEYO, J.; FUEYO, M.; MENDOZA, C.; ALVAREZ, M.A.; MARTÍN, M.C. 2005. Relationships between toxin gene content and genetic background in nasal carried isolates of *Staphylococcus aureus* from Asturias, Spain. *FEMS Microbiol. Lett.* 243(2):447-454.
- HAUSCHILD, T.; WOJCIEK, A. 2007. Species distribution and properties of staphylococci from canine dermatitis. *Res. Vet. Sci.* 82:1-6.
- HOLEČKOVÁ, B.; HOLODA, E.; FOTTA, M.; KALINÁČOVÁ, V.; GONDOL, J.; GROLMUS, J. 2002. Occurrence of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in food. *Ann. Agric. Environ. Med.* 9(2):179-182.
- HOLEČKOVÁ, B.; KALINÁČOVÁ, V.; GONDOL, J.; FOTTA, M.; HOLODA, E.; BELIČKOVÁ, E. 2004. Production of enterotoxins by *Staphylococcus aureus* isolated from sheep milk. *Bull. Vet. Inst. Pulawy.* 48:41-45.
- KÚZMA, K.; MALINOWSKI, E.; LASSA, H.; KLOSSOWSKA, A. 2003a. Specific detection of *Staphylococcus aureus* by PCR in intramammary infection. *Bull. Vet. Inst. Pulawy.* 47:183-190.

- KÚZMA, K.; MALINOWSKI, E.; LASSA, H.; KLOSSOWSKA, A. 2003b. Detection of genes for enterotoxins and Toxic Shock Syndrome Toxin-1 in *Staphylococcus aureus* isolated from bovine mastitis. Bull. Vet. Inst. Pulawy. 47:419-426.
- LAWRYNOWICZ-PACIOREK, M.; KOCHMAN, M.; PIEKARSKA, K.; GROCHOWSKA, A.; WINDYGA, B. 2007. The distribution of enterotoxin and enterotoxin-like genes in *Staphylococcus aureus* strains isolated from nasal carriers and food samples. Internal. J. Food Microbiol. 117: 319-323.
- LONCAREVIC, S.; JORGENSEN, H.J.; LOVSETH, A.; MATHISEN, T.; RØRVIK, L.M. 2005. Diversity of *Staphylococcus aureus* enterotoxin types within single samples of raw milk and raw milk products. J. Appl Microbiol. 98 (2):344-350.
- MCLAUCHLIN, J.; NARAYANAN, G.L.; MITHANI, V.; O'NEILL, G. 2000. The detection of enterotoxins and Toxic Shock Syndrome Toxin genes in *Staphylococcus aureus* by Polymerase Chain Reaction. J. Food Prot. 63(4):479-488.
- MORANDI, S.; BRASCA, M.; LODI, R.; CREMONESI, P.; CASTIGLIONI, B. 2007. Detection of classical enterotoxins and identification of enterotoxin genes in *Staphylococcus aureus* from milk and dairy products. Vet. Microbiol. (Article in press).
- NORMANNO, G.; LA SALANDRA, G.; DAMBROSIO, A.; QUAGLIA, N.C.; CORRENTE, M.; PARISI, A.; SANTAGADA, G.; FIRINU, A.; CRISSETTI, E.; CELANO, G.V. 2007. Occurrence, characterization and antimicrobial resistance of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* isolated from meat and dairy products. Internal. J. Food Microbiol. 115:290-296.
- PERDOMO, A.M. 2004. Estimación de la incidencia de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) en el periodo 1992-2003. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. 34p.
- SANDEL, M.K.; MCKILLIP, J.L. 2004. Virulence and recovery of *Staphylococcus aureus* relevant to the food industry using improvements on traditional approaches. Food Control. 15:5-10.
- SIMON, S.S.; SANJEEV, S. 2007. Prevalence of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in fishery products and fish processing factory workers. Food Control. 18:1565-1568.
- TKÁCIKOVÁ, L.; TESFAYE, A.; MIKULA, I. 2003. Detection of the genes for *Staphylococcus aureus* enterotoxin by PCR. Acta Vet. Brno. 72(4):627-630.
- UEMUERA, E.; KAKINOHANA S.; TOMA, C.; NAKASONE, N. 2004. Comparative characterization of *Staphylococcus aureus* isolates from throats and noses of healthy volunteers. Japan. J. Infec. Dis. 57(1):21-24
- UIDO, M.E.; AL-BUSTAN, M.A.; JACOB, L.E.; CHUGH, T.D. 1999. Enterotoxin production by coagulase – negative Staphylococci in restaurant workers from Kuwait city maybe a potential cause of food poisoning. J. Med. Microbiol. 8:819-823
- US Food and Drug Administration. Bacteriological analytical manual online. 8<sup>th</sup> Edition, 1998. Disponible desde internet en: <http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-12.html> (con acceso 30/10/06).
- WANG, R.F.; CAO, W.W.; CERNIGLIA, C.E. 1997. A universal protocol for PCR detection of 13 species of food born pathogens in foods. Appl. Microbiol. 83(6):727-736.

Recibido: julio 11 de 2007

Aceptado: octubre 22 de 2007

# USO DEL MODELO DE BIGELOW PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR D DE *Listeria monocytogenes*

## USE OF BIGELOW MODEL FOR THE DETERMINATION OF THE D VALUE OF *Listeria monocytogenes*

Blanca Lucía Botina<sup>1</sup>  
María Consuelo Vanegas<sup>2</sup>  
Adriana Coral<sup>3</sup>

### RESUMEN

La estimación de los parámetros de inactivación térmica de los microorganismos permite designar un tratamiento de control adecuado dentro de los procesos de transformación en la producción de alimentos. Es por esto que en el presente estudio, se determinaron estos parámetros, a partir de la constante de velocidad de destrucción térmica (k), utilizando el modelo de inactivación de Bigelow en diferentes cepas de *Listeria monocytogenes*. Este microorganismo ha sido aislado de alimentos y es el causante de enfermedades, como listeriosis, de la cual se han reportado altas tasas de mortalidad. Seis cepas de *L. monocytogenes* sembradas individualmente fueron expuestas a temperaturas de 55°, 60°, 65°, 70° y 72°C durante tiempos definidos para cada una de ellas, de igual forma, se sometió a reto térmico la mezcla de las seis cepas utilizadas. El recuento de las células viables, se realizó por medio de la técnica de recuento en placa. Los valores D obtenidos a 55°, 60°, 65°, 70° y 72°C oscilaron entre 5–12,79; 2,64–3,86;

1,51–2,39; 0,91–1,75 y 0,66–1,03min. respectivamente. Se observó que los valores D más altos en todas las temperaturas fueron los presentados por las cepas de alimentos y de ambientes de plantas procesadoras, en comparación con aquellos pertenecientes a la cepa referencia. Debido a que no se ha determinado la razón por la cual estas cepas presentaron alta resistencia térmica, se recomienda seguir investigando este microorganismo en matrices similares o en alimentos y de esta manera obtener datos que puedan ser utilizados en modelos matemáticos de inactivación.

Palabras clave: *Listeria monocytogenes*, modelo de Bigelow, valor D.

### SUMMARY

The estimate of thermal inactivation parameters of microorganisms allows to design a pathogen control treatment, suitable for the transformation processes in food production. For this reason, in this study these parameters were determined, using the speed constant of thermal destruction (k) and the Bigelow inactivation model in different *Listeria monocytogenes* strains; this microorganism has been isolated from foods and is the cause of diseases like listeriosis of which high rates of mortality have been reported. Six *L. monocytogenes* strains were spread individually in brain heart infusion broth, exposed at 55°, 60°, 65°, 70° and 72°C for different times for each temperature, at the same time a mixture of the six strains, were exposed to thermal exposure. The count of viable cells was done using the standard plate

<sup>1</sup> Microbióloga. Laboratorio de Ecología Microbiana y de Alimentos (LEMA). Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Cr 1 N° 18 A – 10. Edificio J, Laboratorio 209. b-botina@uniandes.edu.co

<sup>2</sup> Microbióloga. M.Sc. en Microbiología. Directora LEMA. mvanegas@uniandes.edu.co

<sup>3</sup> Microbióloga. Directora Gestión de Calidad Carulla Vivero S.A. Cr 68D N°21-35. acoral@carullavivero.com

count technique. The D values obtained at 55°, 60°, 65°, 70° and 72°C fluctuated between 5-12,79; 2,64-3,86; 1,51-2,39; 0,91-1,75 and 0,66-1,03 min, respectively. The highest D values at all temperatures were obtained from food strains and environment food processing industries strains, in comparison with the reference strain values. Since the reason why these stocks presented thermal resistance has not been determined, it is recommended to continue investigating this microorganism in similar matrices or foods and to collect data that can be used in mathematical models of inactivation.

Key words: *Listeria monocytogenes*, Bigelow model, D value.

## INTRODUCCIÓN

*Listeria monocytogenes* es una bacteria emergente, transmitida por alimentos que causa listeriosis, abortos, mortinatos y otras enfermedades en humanos y animales (Swaminathan & Gerner, 2007). Este patógeno tiene la capacidad de sobrevivir en condiciones ambientales adversas, como temperaturas de refrigeración y es una de las bacterias más resistentes al calor en comparación con otros patógenos no esporulados (Novak *et al.* 2003); además es un problema importante para la industria, debido a que tiene la habilidad de generar biopelículas sobre superficies (ICMSF, 2002).

Durante los últimos años, se ha considerado a *L. monocytogenes* como uno de los microorganismos patógenos de mayor importancia en salud pública a nivel mundial, debido a los numerosos brotes reportados. Informes epidemiológicos han indicado, desde 1981 hasta el 2003, una incidencia de listeriosis entre el 0,1 y 11,3 por cada 1,000,000 de habitantes en diferentes países y una alta tasa de mortalidad, la cual ha oscilado entre el 15 y el 40% debido al consumo de alimentos contaminados como ensaladas de col, leche pasteurizada, queso, paté, lengua de cerdo, perros calientes, carnes listas para el consumo y mantequilla reportados en países, como Canada, Estados Unidos, Dinamarca, Francia e Inglaterra (Swaminathan & Gerner, 2007). En Colombia existen pocos reportes de esta enfermedad, ya que la mayoría de los casos clínicos no se diagnostican; sin embargo, en un estudio retrospectivo de casos de listeriosis desde 1994 hasta 1998 realizado en Cali, Colombia, se encontró un total

de 19 casos y una tasa de mortalidad del 26% (5/19) (Torres *et al.* 2004).

*L. monocytogenes* no es un microorganismo de notificación obligatoria en Colombia, por esta razón existen pocos reportes que indiquen la presencia de este patógeno en una variedad de productos. Torres *et al.* (2004) mencionan, entre otros autores, a Carrascal quién reportó en 1994 y en 1996 una incidencia de 62/168 y 45/150, respectivamente, en leche cruda; igualmente citan a Muñoz *et al.*, autores que encontraron una incidencia de 94/120 en queso fresco, mientras que Carrascal & Mosos mostraron una incidencia de 8/24 en carne fresca y 57/172 en queso fresco. La Secretaria Distrital de Salud encontró una incidencia de 29/633 en derivados lácteos y 1/295 en muestras de jamón de cerdo, durante el 2000-2002. En los años 2003-2006, se realizaron varios estudios, los cuales mostraron una incidencia de 12,85% en cárnicos cocidos, 1/34 en leche cruda, 45/152 en queso fresco y 1/8 en queso blanco (Vanegas *et al.* 2006; Torres *et al.* 2004). Esto demuestra que, el control de *L. monocytogenes* en los productos anteriormente mencionados, aún es un desafío para la industria colombiana.

Como herramienta de control en la industria de alimentos, se han implementado los tratamientos térmicos con el objetivo de destruir poblaciones de microorganismos presentes en los alimentos y así garantizar la inocuidad y la vida útil de los mismos (Asselt & Zwietering, 2006; Wilson & Droby, 2001). Teniendo en cuenta las ventajas de este tratamiento varias investigaciones se han enfocado en la evaluación de la resistencia térmica de *L. monocytogenes* sobre matrices alimentarias en productos lácteos y cárnicos, proporcionando información interesante, como el indicar que las cepas presentes en productos curados o con aditivos logran una resistencia térmica, debido a la presencia de sales, de grasa adicionada y de texturizantes, como la proteína de soya, afectando la cinética de penetración del calor a los alimentos (Soyutemiz & Etünkaya, 2005; Passos & Kuaye, 2002).

La estimación de los parámetros de inactivación, como valor D o tiempo de reducción decimal, que se define como el tiempo en minutos requerido para destruir el 90% de la población inicial y el valor Z, que corresponde al incremento de temperatura necesario para reducir diez veces el valor D (Mossel & Moreno, 2003; Doyle

*et al.* 2001), permite designar un tratamiento térmico adecuado basado en la sensibilidad o la resistencia del microorganismo. Para el cálculo de estos parámetros, se han desarrollado modelos matemáticos que describen la cinética microbiana de crecimiento o de inactivación de los microorganismos sometidos bajo ciertas condiciones o tratamientos que generan información de manera rápida y precisa, permitiendo la optimización y el diseño de un proceso térmico industrial (McMeekin *et al.* 1997; Valdramidis *et al.* 2006). Dentro de los modelos más antiguos que describen la inactivación térmica, se encuentra el modelo de Bigelow (Ecuación 1), el cual ha sido utilizado para obtener información de los parámetros térmicos necesarios para el control de patógenos en industrias de enlatados (Geeraerd *et al.* 2005).

Ecuación 1:

$$\log_{10} (N) = \log_{10} (N_{(0)}) - \frac{kt}{\ln 10}$$

$$= \log_{10} (N_{(0)}) - \frac{t}{D}$$

En esta ecuación, N representa la densidad de población microbiana;  $N_{(0)}$  la densidad de población inicial; k la constante de velocidad de destrucción térmica (tiempo<sup>-1</sup>) a temperatura constante y t el tiempo de procesamiento térmico. El modelo asume que todas las células de la población inicial tienen igual sensibilidad al calor y que su muerte depende del calor que reciba cada uno de los microorganismos (Geeraerd *et al.* 2005).

Los tratamientos térmicos son los métodos de control más utilizados en la industria de alimentos, por lo tanto, con el fin de proveer información útil sobre la termoresistencia de cepas nativas de *L. monocytogenes*, se determinó el valor D de cepas aisladas de alimentos y de ambientes de empresas productoras de alimentos de nuestro medio a diferentes temperaturas aplicando uno de los modelos predictivos de inactivación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Cepas:** Seis cepas de *L. monocytogenes*, aisladas de diferentes fuentes, fueron analizadas en el presente estudio (Tabla 1). Todas las cepas fueron confirmadas por PCR en el Laboratorio de Ecología Microbiana de Alimentos (LEMA) de la Universidad de los Andes (Medrano & Vanegas, 2006). Las cepas, se mantuvieron en agar Infusión Cerebro Corazón (BHI) (Sharlou Chemie S.A.), con 3% de sangre de cordero a 4°C, durante la investigación.

**Estandarización del inoculo:** La cepa LMO 01 fue cultivada en caldo BHI a 37°C por 24h. Se realizaron diluciones seriadas ( $10^{-1}$  -  $10^{-9}$ ) en agua peptonada 0,1% y sembradas en superficie sobre agar Standar Plate Count (SPC) (Sharlou Chemie S.A.) a 37°C por 24h para el conteo de células viables; de esta manera, se determinó la concentración de la población inicial. El procedimiento se realizó tres veces antes de efectuar el tratamiento térmico, el cual se utilizó como referencia. Adicionalmente, el crecimiento del cultivo

Tabla 1. Cepas de *L. monocytogenes* usadas en esta investigación.

Cepa número	Código de cepa de <i>L. monocytogenes</i>	Origen
1	LMO 01	ATCC 7644 American Type Culture Collection
2	LMO 86 serotipo 4a	Sifón de planta de Cárnicos
3	LMO 09 serotipo 4b	Queso
4	LMO133 serotipo 4b	Longaniza
5	LMO 79 serotipo 4b	Leche
6	LMO 52 serotipo 4a	Jamón

fue monitoreado a 600nm con un espectrofotómetro, después de las 24h de cultivar la cepa en caldo BHI.

**Tratamiento térmico:** La exposición térmica se realizó en baño maría (Selecta Persistem), donde se somete cada una de las cepas y una mezcla de estas a temperaturas

de 55°, 60°, 65°, 70° y 72°C; la temperatura interna de los tubos fue controlada con termómetro. Después del tratamiento térmico, los tubos fueron retirados del baño maría a diferentes intervalos de tiempo definidos (Tabla 2). El recuento de UFC/mL de células viables fue determinado en agar SPC a 37°C por 24 horas.

Tabla 2. Intervalos de tiempo en los cuales los tubos del baño maría fueron retirados, según el reto térmico.

Temperatura (°C)	Tiempo (s)
55	180
60	90
65	60
70	45
72	25

**Cálculo del valor D:** La resistencia térmica de las cepas fue estimada por la determinación de los valores D para cada una de las temperaturas evaluadas. Este valor se obtuvo a partir del modelo lineal (Ecuación 1), utilizando el negativo de la inversa multiplicativa de la pendiente  $k/\ln 10$ , cuyo valor se logró utilizando el programa "Inactivation Model Fitting Tool, Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica, para cada uno de los retos térmicos.

Los experimentos, se realizaron por duplicado, obteniendo un valor D para cada una de las réplicas, donde el valor  $D_1$  es el valor D de la primera réplica y  $D_2$  el valor D de la segunda. La correlación de los datos respecto a las pendientes de cada réplica, se analizó con el software Statistix 8 (Versión 8. Analytical Software, Estados Unidos, 2003), para denominar el valor D común, que se obtuvo al utilizar el promedio de los datos de las dos réplicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los recuentos obtenidos en las tres réplicas realizadas para la estandarización del inoculo con la cepa de *L. monocytogenes* LMO 01 ATCC 7644 fueron de  $1 \times 10^8$  y  $5 \times 10^8$  UFC/ml y una densidad óptica  $OD_{600nm}$  entre 0,505 – 0,685, indicando una población final constante de la

cepa a 37°C durante 24h. Con base en esta información, se activaron las otras cepas bajo las mismas condiciones, las cuales presentaban crecimiento típico en el agar sangre, medio en el cual se mantuvieron antes de iniciar el reto térmico. Los recuentos iniciales de los inóculos estandarizados en caldo BHI, antes de someterlos al reto térmico, oscilaron entre  $1 \times 10^8$  y  $2,9 \times 10^9$  UFC/ml (Tabla 3), valores que se tuvieron en cuenta para iniciar el tratamiento térmico.

La tabla 3 muestra los valores D para las dos réplicas. La comparación de las pendientes obtenidas mediante la regresión lineal de los datos de las dos réplicas, para todos los retos térmicos, no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ); por lo tanto, para el análisis de estos datos, se tuvo en cuenta el valor común de resistencia al calor (D común) en todos los retos realizados para cada cepa sometida a temperaturas de 55, 60, 65, 70 y 72°C.

Dentro de los datos reportados en la literatura, se encuentran diferentes valores de D para cepas de *L. monocytogenes* sometidas bajo una temperatura de estrés determinada, por tal razón, no es posible comparar directamente los resultados a cierta temperatura de una investigación con los de otros estudios, debido a que existen muchos factores, como el uso de diferentes

Tabla 3. Resultados de resistencia al calor de seis cepas de *Listeria monocytogenes* y la mezcla de las mismas, obtenidas después de la incubación a 37°C por 24 horas.

Temperatura	Cepa	Recuento inicial		Primera réplica		Segunda réplica		Común	
		Réplica 1	Réplica 2	K	D1 minutos	K	D2 minutos	K	D común minutos
55	1	2,00E+09	1,50E+09	0,46	5,00	0,45	5,11	0,46	5
	2	1,70E+09	1,40E+09	0,46	5	0,39	5,9	0,43	5,35
	3	1,90E+09	1,30E+09	0,24	9,59	0,20	11,51	0,22	10,46
	4	1,80E+09	1,60E+09	0,23	10,01	0,31	7,42	0,26	8,85
	5	2,70E+09	2,90E+09	0,54	4,26	0,37	6,22	0,45	5,11
	6	1,50E+09	1,60E+09	0,33	6,97	0,38	6,05	0,35	6,57
	MEZCLA	1,90E+09	2,10E+09	0,20	11,51	0,15	15,35	0,18	12,79
60	1	1,20E+09	1,30E+09	0,82	2,8	0,93	2,47	0,87	2,64
	2	1,50E+09	1,30E+09	0,73	3,17	0,50	4,06	0,60	3,83
	3	1,00E+09	2,50E+09	0,96	2,39	0,69	3,33	0,82	2,8
	4	1,20E+09	1,30E+09	0,56	4,11	0,67	3,43	0,62	3,71
	5	2,40E+09	2,70E+09	0,83	2,77	0,62	3,71	0,73	3,15
	6	1,40E+09	1,70E+09	0,73	3,15	0,76	3,02	0,75	3,07
	MEZCLA	1,70E+09	1,60E+09	0,72	3,19	0,86	2,67	0,79	2,91
65	1	1,40E+09	1,60E+09	1,49	1,54	1,56	1,47	1,52	1,51
	2	1,90E+09	1,40E+09	1,10	2,09	1,34	1,71	1,22	1,88
	3	1,00E+09	1,30E+09	1,36	1,69	1,53	1,50	1,45	1,58
	4	1,80E+09	1,40E+09	1,39	1,65	0,92	2,50	1,16	1,98
	5	1,60E+09	1,70E+09	1,15	2,00	1,25	1,84	1,2	1,91
	6	1,10E+09	1,20E+09	0,98	2,34	0,98	2,34	0,96	2,39
	MEZCLA	2,00E+09	1,70E+09	1,36	1,69	2,18	1,05	1,17	1,96
70	1	1,00E+09	1,80E+09	2,64	0,9	2,5	0,92	2,52	0,91
	2	2,40E+09	1,90E+09	2,12	1,09	1,59	1,44	1,87	1,23
	3	1,80E+09	2,60E+09	1,97	1,16	1,70	1,35	2	1,15
	4	1,30E+09	1,10E+09	1,69	1,36	1,93	1,19	1,81	1,27
	5	1,80E+09	1,50E+09	1,80	1,27	1,61	1,43	1,76	1,3
	6	1,30E+09	1,70E+09	2,00	1,15	2,37	0,97	2,17	1,06
	MEZCLA	1,50E+09	1,80E+09	1,54	1,49	1,01	2,27	1,31	1,75
72	1	1,10E+09	1,40E+09	3,04	0,75	4,07	0,56	3,44	0,66
	2	1,60E+09	1,20E+09	2,06	1,11	2,37	0,97	2,23	1,03
	3	1,50E+09	1,10E+09	2,36	0,97	2,26	1,01	0,28	1
	4	1,70E+09	1,90E+09	2,35	0,97	2,93	0,78	2,66	0,86
	5	2,90E+09	2,50E+09	2,67	0,86	2,92	0,78	2,82	0,81
	6	2,10E+09	1,90E+09	3,35	0,68	2,74	0,84	3,04	0,75
	MEZCLA	1,30E+09	1,10E+09	2,39	0,96	2,42	0,95	2,4	0,95

- k Constante de velocidad de destrucción térmica  
D1 Valor de resistencia al calor de la primera réplica.  
D2 Valor de resistencia al calor de la segunda réplica.  
D(común) Valor de resistencia al calor teniendo en cuenta los valores de las réplicas 1 y 2

medios de cultivo, procedimientos usados para la numeración de células sobrevivientes y condiciones experimentales que difieren unas de otras (Doyle *et al.* 2001). Es por esto que los datos obtenidos en este estudio, se analizaron con base a los datos de otras investigaciones bajo condiciones experimentales similares, más no idénticas.

El valor D determinado por Pachett *et al.* (1996) para la cepa de *L. monocytogenes* NCTC 7973 cultivada en medio PB en quimiostato y sometida a 55°C fue de 6,3min (Doyle *et al.* 2001). Este valor es muy cercano al obtenido en el presente estudio para la cepa LMO 52 aislada de jamón y sometida a la misma temperatura, el cual fue de 6,57min. El valor  $D_{60^{\circ}\text{C}}$  obtenido para la cepa LMO 86 aislada de sifón fue de 3,83min, el cual es muy cercano al reportado para la cepa Lm5S con un valor D de 4,1min, la cual fue incubada en TSB con piruvato a 37°C, por tres días (Doyle *et al.* 2001). La cepa SLU 196 serovar 3b reporta un valor  $D_{64^{\circ}\text{C}}$  de 0,68min (Sörqvist, 1994), dato menor a los valores D obtenidos a 65°C para todas las cepas en este estudio analizadas, los cuales oscilan entre 1,51min, como valor mínimo correspondiente a la cepa LMO 01 y valor máximo 2,39min, determinado para la cepa LMO 52 aislada de jamón.

Hasta el momento no se ha encontrado información disponible en donde se haya utilizado un medio de cultivo como matriz sintética para las temperaturas de 70 y 72°C; sin embargo, estas temperaturas han sido evaluadas en matrices de alimentos, como carne de res, en donde se han encontrado valores  $D_{70^{\circ}\text{C}}$  de 0,47min para la cepa CRA 433. Para la mezcla de tres cepas de *L. monocytogenes* referenciadas como 101M, F6854 y CLIP23485 inoculadas en salchichas, se han reportado valores  $D_{77^{\circ}\text{C}}$  de 0,84min y a 88°C valores D de 0,37 min (Doyle *et al.* 2001). La cepa F5069 inoculada en leche entera presentó un valor  $D_{71,7^{\circ}\text{C}}$  de 0,077min. Estos valores reportados para el rango de temperaturas entre 70 y 77°C son muy bajos en comparación con los obtenidos en este estudio, donde los valores a 70°C y 72°C se encuentran entre 0,91-1,75min y 0,66-0,95min, respectivamente, para la cepa LMO 01 ATCC 7644 y para la mezcla de todas las cepas en este estudio evaluadas.

Los resultados de este estudio indican que la mayoría de los valores D calculados se encuentran en el rango de

los valores más altos dentro de los reportados en otras investigaciones realizadas bajo condiciones similares de laboratorio (Doyle *et al.* 2001, Sörqvist, 1994), por lo cual, se aconsejaría trabajar una metodología que permita obtener datos más precisos, incluyendo tres réplicas para poder hacer uso de modelos de inactivación que presenten un mejor ajuste de los datos y, de esta manera, obtener para todos los casos valores de  $R^2$  mayores y disminuir el error cuadrático medio.

Aunque no se conoce el origen de las cepas reportadas en la literatura con las cuales se relacionaron los resultados de esta investigación, se conoce que dentro de los factores que afectan la resistencia al calor de las cepas se encuentra el origen de las mismas (Sörqvist, 1994; Doyle *et al.* 2001; Asselt & Zwietering, 2006). Golden *et al.* (1998) evaluaron el valor  $D_{56^{\circ}\text{C}}$  de cepas de *L. monocytogenes* aisladas de diferentes fuentes y analizadas bajo las mismas condiciones; además, fueron aisladas de una muestra de repollo implicado en un brote, de un queso brie y de dos muestras humanas, una obtenida después de un brote causado por leche contaminada y la otra recuperada en una época diferente, con valores  $D_{56^{\circ}\text{C}}$  de 10,4, 16, 7,4 y 5,7min, respectivamente. Así mismo, se observó que los resultados obtenidos no eran similares entre sí, a pesar de ser sometidos a las mismas condiciones (Doyle *et al.* 2001). El mismo comportamiento, se observó al comparar los valores de las cepas trabajadas en la investigación de cepas nativas colombianas, las cuales provenían de plantas procesadoras de cárnicos, queso, longaniza, leche y jamón para cada una de las temperaturas aquí evaluadas. Igualmente, los resultados señalan que ninguno de los valores obtenidos para cada una de las temperaturas fue similar, a pesar de que las cepas se encontraban bajo las mismas condiciones (Figura 1).

La resistencia al calor para las cepas de *L. monocytogenes* según los resultados del valor D obtenido es inversamente proporcional a la temperatura a la que fueron sometidas. Las curvas de inactivación térmica a, b, c y d (Figura 2) y a, b y c (Figura 3) describen la destrucción de las diferentes cepas de bajo las diferentes temperaturas. Éstas exhiben una mayor pendiente de declinación lineal en la población sometida a 72°C, razón por la cual se obtuvo un valor D menor en todas las cepas, en comparación con las otras temperaturas. Adicionalmente, todas las gráficas que representan la inactivación a 55°C muestran una menor pendiente de declinación bajo esta temperatura,

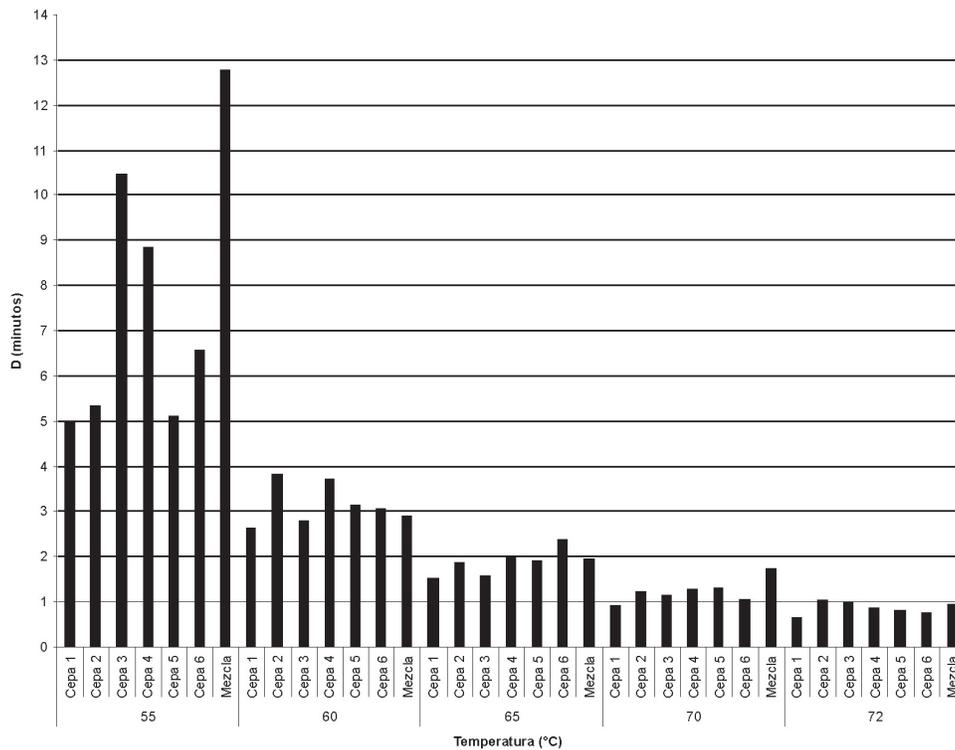


Figura 1. Valores D (min) de las diferentes cepas de *L. monocytogenes* bajo diferentes tratamientos de temperatura.

presentando de esta manera valores D más altos en comparación con las otras temperaturas.

Al comparar los valores D a diferentes temperaturas de estrés para las cepas LMO 86, LMO 09, LMO 133, LMO 79 y LMO 52, sugiere que las cepas de diferentes fuentes, muestran una mayor tolerancia a las temperaturas evaluadas en comparación con la cepa ATCC 7644. La cepa con mayor resistencia térmica del grupo de cepas estudiadas, no se pudo determinar debido a la gran variación de los valores D calculados en todas las temperaturas evaluadas (Tabla 3).

Estudios anteriores (Sörqvist, 1994, Juneja *et al.* 1998, Rowan & Anderson 1998) registraron un incremento en la termotolerancia de *L. monocytogenes* como resultado de previas exposiciones térmicas del microorganismo durante un determinado tiempo, lo cual es atribuido a la síntesis de proteínas especiales conocidas como proteínas de choque térmico (HSPs), como respuesta fisiológica. La exposición de las cepas LMO 86, LMO 09, LMO 133, LMO 79 y LMO 52 a diferentes condiciones adversas durante el

procesamiento industrial del alimento o ambiente como los tratamientos térmicos en el que se incluyen temperaturas iguales o superiores a las que se mantienen los alimentos calientes en puntos de venta 55°C (Mossel & Moreno, 1985), temperaturas de cocción 70°C (ICMSF, 2002), tratamientos químicos, como la presencia de sales o aditivos en los alimentos o tratamientos mecánicos, pudieron favorecer el desarrollo de mecanismos de resistencia en estos microorganismos (Doyle *et al.* 2001).

Las pendientes de la mezcla de las cepas evaluadas a 60°, 65°, 70° y 72°C no muestran diferencias altamente significativas en comparación con los valores obtenidos para las cepas evaluadas individualmente. La pendiente obtenida para la temperatura de inactivación de 55°C alcanzó diferencias altamente significativas con  $p < 0.05$  en comparación con las pendientes de las cepas evaluadas individualmente y sometidas a la misma temperatura, lo cual indica, en el presente estudio, que la presencia de una variedad de cepas en una sola matriz, no influye en la resistencia térmica de las mismas, en temperaturas mayores a 60°C.

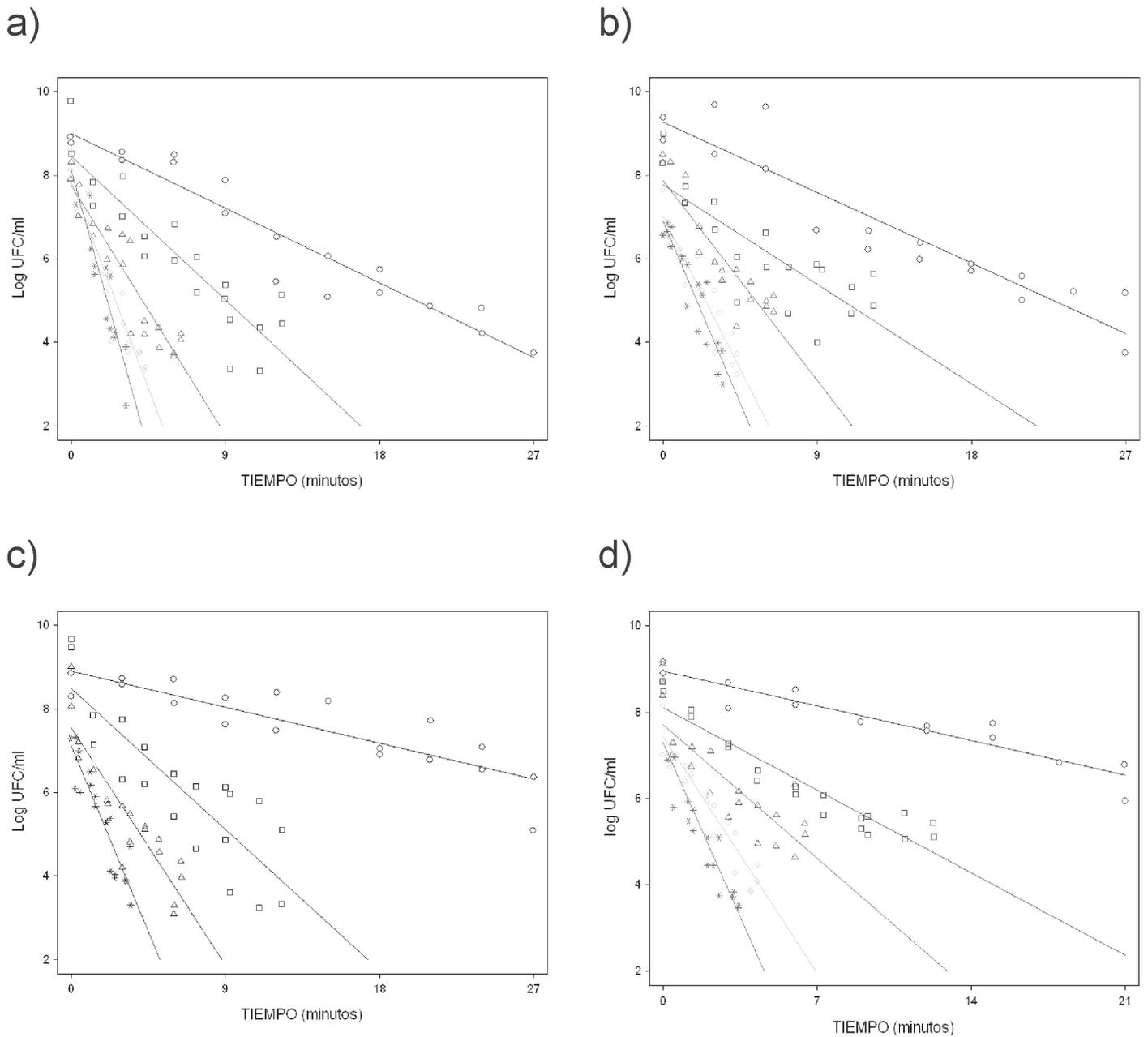


Figura 2. Curvas de inactivación térmica de *Listeria monocytogenes* (a) LMO 01 ATCC 7644, (b) LMO86 sifón, (c) LMO 09 queso, (d) LMO 133 longaniza, obtenidas después del reto térmico a temperaturas de 55° (o), 60° (□), 65° (Δ), 70° (◇) y 72°C (\*) e incubadas a 37°C por 24 horas en SPC.

Los valores de resistencia térmica de las bacterias dependen del alimento o de la matriz en el que se encuentren, ya que puede contener una gran cantidad de grasa, proteína, concentración de agua o aditivos que favorecen la resistencia del microorganismo en el alimento, como lo reportan estudios realizados en queso, en leche, en carne de res, en pollo y en cerdo (Casadei

*et al.* 1998; Doyle *et al.* 2001; Juneja & Belen, 1999; Mackey *et al.* 1990; Sörqvist, 1993). Numerosos estudios indican que *L. monocytogenes* es más resistente al calor cuando se encuentra dentro de los alimentos, debido a los altos valores de resistencia térmica en comparación con los valores obtenidos dentro de un medio de cultivo o matriz sintética de laboratorio (Casadei *et al.* 1998;

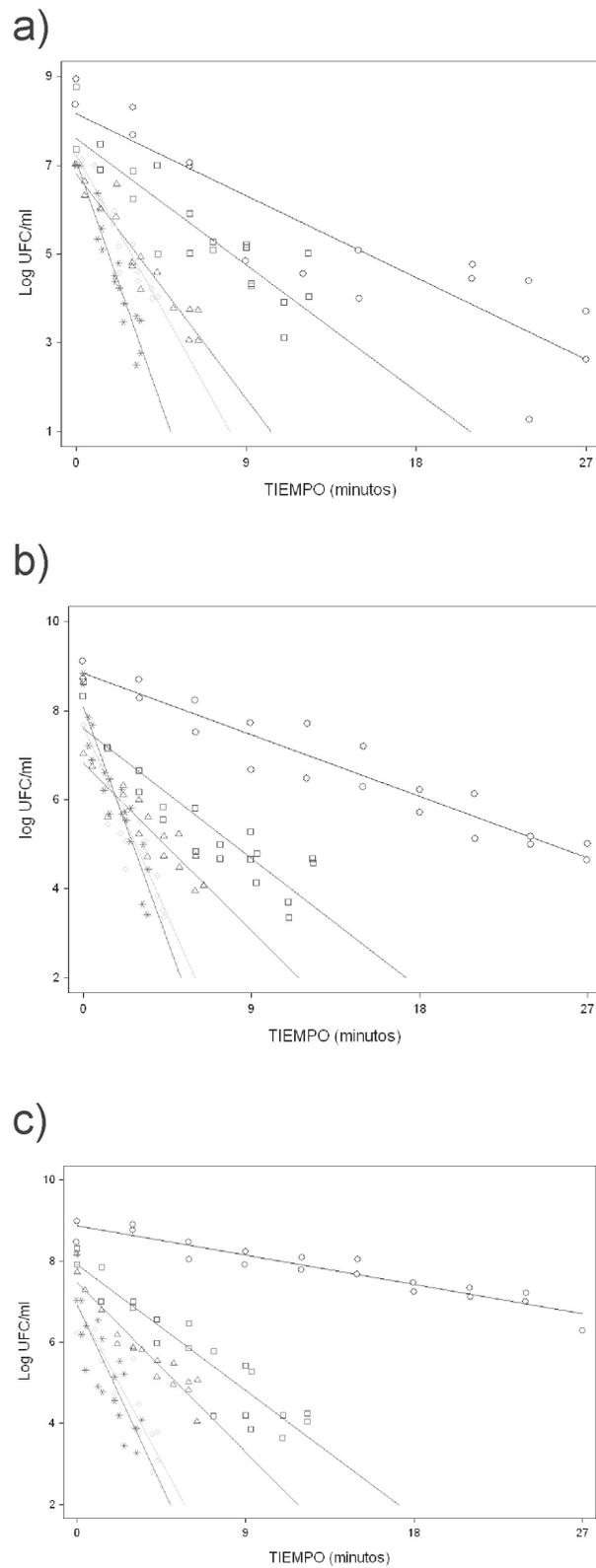


Figura 3. Curvas de inactivación térmica de *Listeria monocytogenes* (a) LMO 79 leche, (b) LMO 52 jamón, (c) Mezcla de cepas, obtenidas después del reto térmico a temperaturas de 55° (○), 60° (□), 65° (Δ), 70° (◇) y 72°C (\*) e incubadas a 37°C por 24 horas en SPC.

Doyle *et al* 2001). Se recomienda, entonces, encontrar los parámetros de inactivación para *L. monocytogenes* en una matriz real y, de esta manera, obtener datos que puedan ser utilizados en procesos térmicos industriales, para asociarlos al valor  $F_p$ , que corresponde al número de minutos necesario a una temperatura dada para destruir un número determinado de células viables con un valor  $z$  específico (Doyle *et al.* 2001).

## CONCLUSIONES

Se observó que las cepas de *L. monocytogenes* aisladas de diferentes fuentes, como alimentos o ambiente, no se eliminaron fácilmente con temperaturas de 55°, 60°, 65°, 70° y 72°, en comparación con la cepa referencia, teniendo en cuenta los valores  $D$  obtenidos, según el modelo de Bigelow. Aunque no se conocen las causas de la alta resistencia, se sugiere realizar estudios en los que se tenga en cuenta un mayor número de cepas de diferente serovariedad, origen, condición de crecimiento, es decir, viabilidad de la cepa en medios de cultivo y así obtener datos que se puedan interpretar por medio de modelos matemáticos lineales, como el de Bigelow o no lineales como los de Geeraerd, Mafart y Weibull, que permitan conocer información sobre la cinética de inactivación de este patógeno, con el fin de poder determinar el tratamiento térmico adecuado que garantice la inocuidad de un alimento cocido.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Comité de Investigaciones de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, así como también la asesoría y el apoyo brindado por el doctor Bernardo Clavijo, en relación al tema de microbiología predictiva.

## BIBLIOGRAFÍA

ASSELT, E.D.; ZWIETERING, M.H. 2006. A systematic approach to determine global thermal inactivation parameters for various food pathogens. *Internal J. Food Microbiol.* 107:73-82

CASADEI, M.A.; ESTEVES DE M., R.; HARRISSON, S.T.; GAZE, J.E. 1998. Heat resistance of *Listeria*

*monocytogenes* in dairy products as affected by the growth medium. *J. Appl. Microbiol.* 84:234-239.

- DOYLE, M.E.; MAZZOTTA, A.S.; WANG, T.; WISEMAN, D.W.; SCOTT, V.N. 2001. Heat resistance of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Protection.* 64 (3):410-429.
- DOYLE, M.P.; BEUCHAT, L.R.; MONTVILLE, T.J. 2001. Microbiología de los alimentos: fundamentos y fornteras. Primera edición Ed. Acribia S.A. Zaragoza (España) p.527-530.
- GEERAERD, A.H.; VALDRAMIDIS, V.P.; VAN IMPET, J.F. 2005. GInaFiT, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. *Internal. J. Food Microbiol.* 102:95-105.
- GOLDEN, D.A.; BEUCHAT, L.R.; BRANKETT, R.E. 1998. Inactivation and injury of *Listeria monocytogenes* as affected by heating and freezing. *Food Microbiol.* 5:17-23.
- ICMSF. 2002. Microorganisms in food 7 microbial testing in food safety management. Kluwer Academic Plenum Publishers. p.287-289.
- JUNEJA, V.K.; BELEN, B.S. 1999. Predictive thermal inactivation model for *Listeria monocytogenes* with temperature, pH, NaCl and sodium pyrophosphate as controlling factors. *J. Food Protec.* 628(9):986-993.
- JUNEJA, V.K.; KLEIN, P.G.; MARMER, B.S. 1998. Heat shock and thermotolerance of *Escherichia coli* O157:H7 in a model beef gravy system and ground beef. *J. Appl. Microbiol.* 84:677-684.
- MACKEY, B.M.; PRITCHET, C.; NORRIS, A. 1990. Heat resistance of *Listeria*: strain differences and effects of meat type and curing salts. *Letters Appl. Microbiol.* 10:251-255.
- MCMEEKIN, T.A.; BROWN, J.; KRIST, K.; MILES, D.; NEYMEYER, K.; NICHOLS, D.S.; OLLEY, J.; PRESSER, K; RATKOWSKY, D. A.; ROSS, T.; SALTER M.; SOONTRANON, S. 1997. Quantitative microbiology: A basis for food safety. *Em. Infect. Diseases.* 3(4):541-548.

- MEDRANO, M.; VANEGAS, C. 2006. Molecular Typing of *Listeria monocytogenes* isolates from different food processing environments and Food. Memorias. Final Program American Society for microbiology 106<sup>th</sup>. General meeting. Orlando Florida. May 21-25.
- MOSSEL, D.A.A.; MORENO, B. 2003. Microbiología de los alimentos. 2ª Edición. Ed. Acribia S.A. Zaragoza (España). p.526-530.
- MOSSEL, D.A.A.; MORENO, B. 1985. Microbiología de los alimentos. 1ª Edición. Ed. Acribia S.A. Zaragoza (España) p.108, 119-120.
- NOVAK, J.S.; SAPERS, G.M.; JUNEJA, V.K. 2003. Microbial safety of minimally processed food. 1<sup>st</sup> ed. CRC Press. (Boca Raton, EEUU). p.120-132.
- PATCHETT, R.A.; WATSON, N.; FERNANDEZ, P.S.; KROLL, R.G. 1996. The effect of temperature and growth rate of the susceptibility of *Listeria monocytogenes* to environmental stress conditions. Letters. Appl. Microbiol. 22:121-124
- PASSOS, M.H.; KUAYE, A.Y. 2002. Influence of formulation, cooking time and final internal temperature of beef hamburger on the destruction of *Listeria monocytogenes*. Food Control 13:33-40
- ROWAN N.; ANDERSON J. 1998. Effects of above –optimum growth temperature and cell morphology on thermotolerance of *L. monocytogenes* cells suspended in bovine milk. Appl. Environ. Microbiol. 64(6):2065-2071.
- SÖRQVIST, S. 1993. Heat resistance of *Listeria monocytogenes* by two recovery media used with and without cold preincubation. J. Appl. Microbiol. 74:428-432.
- SÖRQVIST, S. 1994. Heat resistance of different serovars of *Listeria monocytogenes*. J. Appl. Microbiol. 76:383-388.
- SOYUTEMÜZ, G.E.; ETÜNKAYA, F. 2005. Thermal Resistance of *Listeria monocytogenes* in Üneg. Meatballs Turk. J. Vet. Anim. Sci. 29:319-323
- SWAMINATHAN, B.; GERNER, P. 2007. The epidemiology of human listeriosis. Microbes and Infection. 9:1236- 1243
- TORRES, K.J.; SIERRA, S.C.; POUTOU, R.A.; VERA, H.; CARRASCAL, A.K.; MERCADO, M. 2004. Incidencia y diagnóstico de *Listeria monocytogenes* microorganismo zoonótico emergente en la industria de alimentos. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 7(1):27-57.
- VANEGAS, M.C.; MARTÍNEZ, A.J.; BOTINA, B.L. 2006. Detección por PCR de *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos distribuidos en Bogota. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 9(2):149-156.
- VALDRAMIDIS, V.P.; GEERAERD, A.H.; GAZE, J.E.; KONDJAYAN, A., BOYD, A.R.; SHAW, H.L.; VAN IMPE, J.F. 2006. Quantitative description of *Listeria monocytogenes* inactivation kinetics with temperature and water activity as the influencing factors; model prediction and methodological validation on dynamic data. J. Food Engineering. 76:79-88.
- WILSON, C.L.; DROBY, S. 2001. Microbial food contamination. Primera edición. CRC Press. (Boca Raton, EEUU). p.172-186.

Recibido: diciembre 13 de 2006

Aceptado: octubre 23 de 2007