

## EDITORIAL

# LA U.D.C.A: UNA UNIVERSIDAD PARA TODOS

Germán Anzola Montero  
Rector

La U.D.C.A será un proyecto educativo, construido a partir de la participación activa de un grupo de pensamiento universitario, integrado por los miembros de su alta dirección: Asamblea de Fundadores y Consejo Directivo; directivos académicos y administrativos; docentes y estudiantes. Y son ellos, precisamente, quienes deben responder a la pregunta: ¿cuál es la Universidad que se desea para el siglo XXI?, queriendo decir, que debemos avanzar en un proyecto orientado a contribuir con la transformación de la Educación Superior y articulado en torno a la docencia, a la investigación y a la proyección a la sociedad nacional e internacional, para que todas sus acciones conduzcan al desarrollo y a la innovación, requerida para mejorar la calidad de los bienes y los servicios en función de las necesidades, en particular, de la sociedad colombiana, así como la competitividad internacional del país. Para ello es necesario definir objetivos que conduzcan al logro de resultados directos y específicos en lo referente a su fortalecimiento institucional, su internacionalización y su verdadera integración a los problemas de orden nacional y regional.

Cuando hablamos de fortalecimiento hacemos referencia a la prioritaria necesidad de favorecer el impulso de sus capacidades académicas y administrativas y a la cualificación de todos sus procesos, para obtener mayores y mejores beneficios, conducentes a su desarrollo institucional.

Enfatizar en la internacionalización de la U.D.C.A es referirnos al fomento de las interacciones con redes universitarias, gestionar vínculos con otras universidades del contexto mundial, fortalecer la movilidad de todos los estamentos universitarios y estimular todo tipo de actividades de cooperación interinstitucional, para crear condiciones que conduzcan a ayudas y apoyos de carácter internacional.

Ser partícipes de todo tipo de acciones, que hoy en día se identifican como “espacios comunes de la educación superior”, nos deben encauzar a ser actores activos en los procesos de integración nacional y regional.

A partir de estas consideraciones, resulta pertinente analizar cómo la U.D.C.A se debe integrar a la propuesta considerada por el Consejo Nacional de Rectores, del 18 y 19 de marzo de 2010 y que bajo el título “Hacia una nueva Dinámica Social de la Educación Superior”, presentó la Asociación Colombiana de Universidades ASCUN. Este documento de políticas, previstas para el período 2010 – 2014, tuvo como referente los protocolos producidos en la Conferencia Regional de Educación Superior 2008 (CRES-Cartagena), los Foros Rectorales 2008 – 2009, los informes de las Mesas ASCUN – MEN de 2009 y el comunicado de la Segunda Conferencia Mundial sobre la Educación Superior, París 2009. ASCUN conformó un equipo de trabajo denominado GRUPO FOCAL, cuyo objetivo es reflexionar sobre estas referencias citadas y otros documentos acerca del tema y determinar una serie de principios para la formulación de las políticas públicas de educación superior, que la U.D.C.A las acoge como propias. Ellas son:

1. Responsabilidad social y misión de la educación superior:
  - Formar el talento humano idóneo, competente y ético.
  - Contribuir en la creación del conocimiento y al desarrollo de la ciencia y de la tecnología e innovación, para beneficio de la sociedad.
  - Formar ciudadanos en los valores y las competencias del servicio a la justicia, al compromiso social y a la creatividad.

## 2. Descentralización y desconcentración:

- Las cuales deben conducir a la pertinencia y a la desconcentración de la oferta educativa.

## 3. Financiación de la Educación Superior:

- Recursos financieros para el ofrecimiento del bien público y del servicio público, tanto para las instituciones públicas como privadas. Para ello se requiere de una política inaplazable por parte del Estado colombiano.

## 4. Respeto y ejercicio de la autonomía:

- El Estado propugnará por la defensa, la promoción y el impulso de la autonomía responsable de las instituciones de educación superior, muy en particular de las Universidades como tal.

Los principios formulados, conllevan a la propuesta específica de políticas públicas para la educación superior, que podemos expresar, a manera de síntesis, en los siguientes términos:

- Fortalecer el Vice Ministerio de Educación Superior, argumentando el lograr incrementar actividades relacionadas con un mayor apoyo al subsistema de ciencia y tecnología.
- Reforzar las funciones de fomento a la educación superior, como constructivo complemento a las responsabilidades de inspección de vigilancia.
- Estimular, aún más, los procesos de acreditación de alta calidad.
- Optimizar las estrategias para estimular las relaciones entre la educación media y la educación superior.
- Diferenciar clara y específicamente la diversificación y las responsabilidades en los diferentes tipos de instituciones, que conforman en la actualidad la educación superior (técnicas profesionales, tecnológicas, instituciones universitarias y universidades).
- Fortalecimiento financiero de la educación superior.
- Transformar la docencia universitaria como factor en la calidad de la educación superior.
- Afianzar los procesos de internacionalización de la Universidad Colombiana.

Si los lectores de esta reseña del documento elaborado por ASCUN confronta lo expuesto y lo ejecutado en el vigente plan de desarrollo y en el que en la actualidad venimos perfilando podrán encontrar, claramente, cómo el compromiso de la U.D.C.A con el sistema de la educación superior colombiana ha sido constante e incondicional; todos los planteamientos de políticas públicas vienen siendo compartidas, a partir de nuestros proyectos particulares en ejecución. El compromiso para con el avance nacional y regional es evidente.

Comentario especial merece el capítulo relativo a nuestro compromiso con los docentes. A pesar de las limitaciones de orden financiero, propias de una universidad privada, desde hace diez años venimos ejecutando un programa de desarrollo profesoral, que ha permitido cualificar, de manera particular, las labores académicas, encomendadas a ellos. Similar comentario podríamos hacer frente a dos temas prioritarios en la agenda universitaria, del nivel nacional y mundial, como son los procesos de internacionalización y educación ambiental en lo superior y el uso de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, al servicio de la formación académica y de la administración institucional.

A pesar de ser un hecho muy reciente, no puedo dejar pasar por alto la obtención de la certificación ISO9001 a los procedimientos administrativos y de admisiones de la U.D.C.A, por parte de ICONTEC, demostrando así el compromiso con la cultura de transparencia y de “Rendición de Cuentas”, establecida en la Universidad.

Tampoco puedo sustraerme de hacer un comentario de nuestra planta física. La U.D.C.A es un medio educativo para lo superior; pedagógicamente, hemos definido un proyecto de educación superior dirigido a una formación integral de los estudiantes, siendo para ello justo y necesario pensar en la adecuada atención a los espacios y volúmenes, donde nuestros alumnos han de transcurrir prolongadas jornadas del complejo compromiso intelectual, cultural, social y administrativo. Estas deben ser gratas, confortables y agradables, a partir de diseños arquitectónicos funcionales en el quehacer universitario; no deben ser sólo áreas en función de las tradicionales actividades de trabajo teórico y práctico, hoy requerimos de espacios, denominados por muchos “inteligentes”, donde sean viables para el uso de las nuevas tecnologías al servicio de la educación

---

---

superior (salas de cómputo, estudios de radio y de televisión, con sistemas de excelente conectividad). En este sentido, la U.D.C.A viene desarrollando estudios, para que su campus universitario, del norte de Bogotá, cumpla con estas exigencias y, complementariamente, una sede en el centro de la ciudad, con el propósito de atender óptimamente los procesos educativos a nivel de pregrado, de posgrado y de educación para el trabajo y el desarrollo humano, que requieren una sede en la zona central de Bogotá.

Es así, como la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A desea brindar a la sociedad colombiana un servicio educativo a la altura de las exigencias del siglo XXI, formando excelentes profesionales, pero igualmente hombres y mujeres en el más grande, en el más comprensivo y en el más humano sentido de la palabra; hombres y mujeres que solo busquen la verdad y que sepan que no podrán encontrar la razón como universitarios responsables, sino en un trabajo con plena autonomía.

# FRECUENCIA DE ENTEROPARASITOSIS EN JARDINES INFANTILES ALEDAÑOS A LA CUENCA BAJA DEL RÍO TUNJUELITO

## ENTEROPARASITISM PREVALENCE IN PRE-SCHOLAR NURSERIES LOCATED NEAR THE LOW BASIS OF THE TUNJUELITO RIVER

Diego M. Luna<sup>1</sup>, Leonardo Camacho<sup>1</sup>, Diana Rojas<sup>2</sup>, Martín A. Bayona<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Médico Interno, Facultad de Medicina. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. E-mail:leonardomed88@hotmail.com. <sup>2</sup>M.D. Especialista Epidemiología. Facultad de Medicina, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. E-mail: [dianarojasa@gmail.com](mailto:dianarojasa@gmail.com). <sup>3</sup> Bacteriólogo, Especialista, M.Sc. Microbiología. Facultad de Medicina, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C. E-mail: [mabayona@udca.edu.co](mailto:mabayona@udca.edu.co), autor para correspondencia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 7-15, 2010

### RESUMEN

El propósito del presente trabajo correspondió en determinar la frecuencia de enteroparasitosis en relación con las variables demográficas y socio-económicas, en los jardines infantiles aledaños a la cuenca baja del río Tunjuelito (Bogotá, D.C. - Colombia). Se realizó un estudio de tipo observacional descriptivo de corte transversal, entre agosto y septiembre de 2009. Se registraron datos demográficos y factores socio-económicos, se recolectaron muestras seriadas de materia fecal a 92 niños y niñas, en edades comprendidas entre 2 y 5 años, las cuales, se procesaron con métodos copro-parasitológicos. Se determinó una frecuencia del 75% de parásitos intestinales, donde el 57,6% eran comensales intestinales y el 17,4, patógenos intestinales. Se encontró *Giardia lamblia* (7,6%) y *Entamoeba histolytica* (7,6%), como patógenos más frecuentes, seguido de *Ascaris lumbricoides* (2,2%). El contacto del agua del río, el estrato social y financiero, las características del piso de la vivienda, el almacenamiento de basura y el caminar descalzo fueron las cinco variables que tuvieron relación, estadísticamente significativa, con el resultado parasitológico. Se concluye, que existen condiciones en la población estudiada, que constituyen un contexto favorable para la elevada existencia de las enfermedades parasitarias intestinales.

Palabras clave: Abundancia parásitos, *Ascaris*, materia fecal, factores demográficos, factores socio-económicos, población infantil.

### SUMMARY

The purpose of this research was to determine the relationship between the frequency of entero-parasitism and the demographic and the socio-economic variables within pre-primary school nurseries located near the low basin of the Tunjuelito river (Bogotá, D.C., Colombia), between august and september 2009. A study of the observational, descriptive and transverse type was realized. Demographic data and socio-economic factors were registered through the application of an instrument designed by the authors. Seriated samples of fecal material from 92 children, both males and females, were collected and processed by copro-parasitological methods. A frequency of 75% of intestinal parasites was determined; 57.6% were intestine commensals and 17.4% intestinal pathogens. As most frequent pathogens *Giardia lamblia* 7.6% and *Entamoeba histolytica* 7.6% were detected, followed by *Ascaris lumbricoides* (2.2%). The contact with the water of the river, the socio-economic level, the houses floor characteristics, the waste accumulation and the barefoot walking were the five variables, statistically significant in relation to the

parasitic results. The existence of conditions suffered by the studied population constitutes a favorable context for the elevated existence of the parasitic intestinal diseases.

Key words: Prevalence, entero-parasitosis, demographic factors, socio-economic factors, pre-primary scholars.

## INTRODUCCIÓN

Las infecciones por parásitos intestinales constituyen un importante problema de salud, por sus altas tasas de prevalencia y amplia distribución mundial, sobre todo, en las regiones tropicales y subtropicales (Morrone *et al.* 2004). La epidemiología de las entero-parasitosis posee un componente determinante ambiental; la presencia y la transmisión efectiva de un parásito es consecuencia de un entorno que le resulta favorable (Milano *et al.* 2007).

Las parasitosis intestinales son infecciones muy frecuentes (prevalencia del 40-70%) en los países subdesarrollados, debido a que en ellos coexisten malas condiciones higiénicas, escasa cultura médica, deficiente saneamiento ambiental y bajas condiciones socio-económicas (Marcos *et al.* 2003; Agudelo *et al.* 2008). Aquellas producidas por protozoos y helmintos afectan a más de dos billones de personas de la población mundial (Morrone *et al.* 2004).

En Colombia, la prevalencia de parásitos es del 12% en la población general y del 28% entre niños de uno y cuatro años (Savioli *et al.* 1992). Según el Instituto Nacional de Salud, en la Investigación Nacional de Morbilidad realizada en 1980, se estableció que el 81,8 % de las personas en el país se encontraban parasitadas; de éstos, el 63% con parásitos patógenos y 18% con parásitos no patógenos (Corredor & Arciniegas, 2002). Los parásitos intestinales patógenos más frecuentemente hallados en el país son *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichuria*, *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica*, *Enterobius vermicularis*, *Necator americanus*, *Ancylostoma duodenale*, *Taenia solium* y *T. saginata* (Botero & Restrepo, 2003).

La Investigación Nacional de Morbilidad realizada en Colombia entre 1965 y 1980 reportó el comportamiento de los parásitos patógenos de la siguiente manera: *A. lumbricoides*, en 1965, se encontraba en un 54% y

disminuyó, en 1980, a un 34%; *T. trichiura* de un 50% reportado en 1965, en 1980 disminuyó a un 37%; el complejo *E. histolytica/dispar*, en 1965, se reportó con una prevalencia de 24% y disminuyó al 12%, en 1980 y *Giardia lamblia*, al contrario de los parásitos anteriormente nombrados, se comportó de manera ascendente en el tiempo, aumentando su prevalencia de 9,4%, reportada en 1965, a un 21,4%, en 1980 (Corredor & Arciniegas, 2002).

Los jardines infantiles constituyen un problema importante como focos endémicos, ya que los niños infectados pueden transmitir los parásitos a los padres y a otros miembros de la familia, contribuyendo a mantener una alta endemicidad en la comunidad (Mendoza *et al.* 2001; Nuñez, 2003).

El Distrito Capital de Bogotá está organizado, en su parte administrativa, en 20 localidades. La localidad Tunjuelito representa el 1,2% del área total de la ciudad, donde predomina la clase media - baja: el 50,2% de los predios son de estrato tres y el 49,5% del dos. Esta localidad 226 mil habitantes (3,3% del total de la ciudad) (Campo, 2007).

Tunjuelito es la novena localidad de Bogotá, con mayor número de personas, 20.965, con necesidades básicas insatisfechas (NBI). El 31,8% de la población está clasificada en nivel 1 y 2 del SISBEN y el 72,8% está afiliada al sistema de salud; corresponde a la décimo quinta localidad en cobertura de seguridad social en salud. La mayoría de la población afiliada pertenece al régimen contributivo (77%) (Saldias, 2003; Campo, 2007).

Como se explicó anteriormente existen condiciones desfavorables para la población afectada, que incrementan el riesgo de estas personas de enfermar y morir, debido a las malas condiciones de salud y de vivienda, por lo tanto, es necesario determinar la prevalencia específica de enteroparasitosis, con el fin de visualizar un panorama localizado de la situación y así proponer las correspondientes acciones de salud pública y de atención médica, dirigida a contrarrestar los diferentes puntos críticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de tipo observacional descriptivo de corte transversal, con una población de niños y de

niñas en edad preescolar (2 a 5 años), quienes asistían a jardines seleccionados a orillas del río Tunjuelito, durante agosto y septiembre de 2009.

Para el cálculo del tamaño muestral, se planteó la siguiente fórmula (Fuentelsaz, 2004):

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

Donde:

1. N = total de la población (226.000)
2.  $Z_a^2 = 1.96^2$  (si la seguridad es del 95%)
3. p = proporción esperada (en este caso 28% = 0,28)
4. q = 1 - p (en este caso 1-0,28 = 0,72)
5. d = precisión (en este caso deseamos un 3%)

- La localidad de Tunjuelito tiene 226.000 habitantes

$$n = \frac{226000 \times 1.96^2 \times 0.28 \times 0.72}{0.03^2(226000-1) + 1.96^2 \times 0.28 \times 0.72} = 857$$

ajustando el tamaño de la muestra y teniendo en cuenta la cantidad de jardines infantiles y el número de niños y niñas por jardín, tendríamos:

$$n \text{ ajustada} = \frac{n}{1 + n/N \text{ (número de la población)}}$$

$$n \text{ ajustada} = \frac{857}{1 + \frac{857}{105}} = 92$$

Lo que implica que la muestra probabilística correspondió a 92 niños (as).

La metodología empleada consistió en proponer y obtener de los padres de familia, de cada uno de los niños seleccionados, el consentimiento de participación y el visto bueno del instrumento que evaluó las variables demográficas y socio-económicas; posteriormente, se entregó a la madre de cada niño tres frascos de plástico estériles, con tapa a presión y sin solución preservante. Las muestras fueron tomadas por defecación espontánea, para lo cual, se explicó a todos los padres de familia las recomendaciones para la correcta toma. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de Microbiología de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, para su respectivo análisis.

Para el estudio coprológico, se recolectó por cada paciente, tres muestras de heces, obtenidas por evacuación espontánea, en días diferentes. El análisis de las heces, se efectuó mediante un examen directo en solución salina fisiológica y coloración temporal con lugol (Tello & Canales, 2000; Londoño, *et al.* 2009).

Se realizó y se aplicó a los padres de familia el instrumento que evalúa las variables demográficas y socio-económicas, teniendo en cuenta las variables de impacto relacionadas con las parasitosis intestinales (Cuadro 1).

Los criterios de inclusión y de exclusión de los niños (as), se aprecian en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión del estudio.

| CRITERIOS DE INCLUSIÓN   | CRITERIOS DE EXCLUSIÓN  |
|--|---|
| Niños y niñas entre los 2 y 5 años de edad                     | Niños que hayan vivido menos de dos años en el barrio Tunjuelito        |
| Residente del barrio Tunjuelito durante al menos 2 años        | Que hayan recibido tratamiento antiparasitario un mes antes del estudio |
| Que haya estado expuesto a la contaminación del río Tunjuelito | Rechazo a participar del estudio  |
| Que desee participar voluntariamente                           |   |
| Que el acudiente firme el consentimiento informado             |   |

**FACTORES DE RIESGO PARA ENTEROPARASITOSIS**

**DATOS PERSONALES**

NOMBRE

EDAD

SEXO M  F

TIPO DE AFILIACION  
 SUBSIDIADO  CONTRIBUTIVO  NINGUNA

ESTRATO SOCIOECONOMICO  
 0  1  2  3  4  5  6

**DATOS DEL PADRE**

EDAD

ESCOLARIDAD  
 NINGUNA  PRIMARIA INCOMPLETA  PRIMARIA COMPLETA  BACHILLERATO INCOMPLETO

BACHILLETARO COMPLETO  CARRERA TECNICA  CARRERA PROFESIONAL

**DATOS DE LA MADRE**

EDAD

ESCOLARIDAD  
 NINGUNA  PRIMARIA INCOMPLETA  PRIMARIA COMPLETA  BACHILLERATO INCOMPLETO

BACHILLETARO COMPLETO  CARRERA TECNICA  CARRERA PROFESIONAL

**CARACTERISTICAS DE LA VIVIENDA**

CUANTAS PERSONAS VIVEN EN LA CASA  
 3  4  5  6  7  8  >8

COMO ES EL PISO DE SU CASA  
 TIERRA  CEMENTO  BALDOSA  MADERA  TAPETE  OTRO  CUAL?

DE QUE LUGAR SACA EL AGUA PARA EL CONSUMO DIARIO  
 LLAVE  POZO  RIO  ALBERCA  ALJIBE  OTRO  CUAL?

EN QUE LUGAR ELIMINA LA MATERIA FECAL  
 ALCANTARILLADO  POZO  LETRINA  OTRO  CUAL?

**HABITOS DE HIGIENE**

ACOSTUMBRA USTED A HERVIR EL AGUA  
 NUNCA  A VECES  SIEMPRE

LE LAVA USTED LAS MANOS A SU HIJO ANTES DE COMER  
 NUNCA  A VECES  SIEMPRE

LE LAVA USTED LAS MANOS A SU HIJO DESPUES DE IR AL BANO  
 NUNCA  A VECES  SIEMPRE

LAVA USTED LAS FRUTAS Y VERDURAS ANTES DARSELAS A SU HIJO PARA QUE LAS COMA  
 NUNCA  A VECES  SIEMPRE

**OTROS**

ALMACENA USTED BASURA EN SU CASA POR LARGO TIEMPO  
 SI  NO

TIENE USTED ANIMALES EN SU CASA  
 SI  NO

ACOSTUMBRA SU HIJO ANDAR DESCALZO EN LA CASA  
 SI  NO

LE HAN SALIDO GUSANOS A SU HIJO EN LA MATERI FECAL  
 SI  NO

TIENE CONTACTO SU HIJO CON EL AGUA DEL RIO  
 SI  NO

HA PURGADO A SU HIJO PARA LOS PARASITOS EN EL ULTIMO MES  
 SI  NO

Cuadro 1. Instrumento que evalúa las variables demográficas y socioeconómicas.

**Análisis de los resultados:** Los datos fueron tabulados en una hoja de Excel para su respectivo análisis, con la ayuda del software SPSS: Análisis uni y bi-variado. Se aplicó una prueba de Chi cuadrado, para evaluar la diferencia entre el contacto con el agua del río y el resultado positivo del coprológico para parásitos intestinales no patógenos o comensales y también para evaluar la diferencia entre el contacto con el agua del río y el resultado positivo del coprológico para enteroparásitos patógenos; además, se practicó una prueba de ANOVA de un factor, para estimar la diferencia entre el estrato socio-económico y el resultado positivo para enteroparásitos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La frecuencia de enteroparasitosis encontrada en el presente estudio fue del 75%, resultado equivalente en comparación con el estudio llevado a cabo por Agudelo *et al.* (2008) en un corregimiento de la costa Caribe colombiana, quienes encontraron una frecuencia de enteroparásitos del 92%. En otro estudio realizado en una comunidad Amerindia de Costa Rica, por Hernández & Matamoros (2005), se halló una prevalencia del 84%, a diferencia del estudio realizado por Cortés *et al.* (1999) en niños preescolares institucionalizados en Bogotá, donde se determinó una prevalencia del 19,4%. La investigación llevada a cabo por Milano *et al.* (2007) mostró una similitud con el actual, ya que detectó una prevalencia de niños parasitados de 73,5%.

Teniendo en cuenta los coprológicos positivos, el 17,4% presentó parásitos intestinales patógenos, como fueron *G. lamblia* (7,6%), *E. histolytica* (7,6%) y *A. lumbricoides* (2,2%). Chaves *et al.* (2007) encontraron que la prevalencia de la infección por enteroparásitos, como *G. lamblia*, no ha cambiado significativamente y continua siendo un problema de salud pública en amplias regiones del mundo y en Colombia, asociándose con un incremento de la pobreza, un saneamiento ambiental inadecuado y deficientes servicios públicos. Por otra parte, Rivera *et al.* (2008), en contraste con nuestros resultados, al evaluar heces seriadas, mediante examen directo a 47 niños de 1 a 4 años de edad, hallaron una prevalencia de *G. lamblia* de 39,1% y *A. lumbricoides* de 21,7 %; así mismo, reportaron la presencia de factores desfavorables, como la contaminación fecal del agua de consumo y de los alimentos, además de insuficientes condiciones sanitarias y socio-culturales.

Dentro de los parásitos intestinales comensales fueron positivos un 57,6% correspondientes a: *B. hominis* (60%), *E. nana* (30%), *E. coli* (8%), *I. butschlii* (2%). Esta prevalencia de protozoarios comensales carece de importancia clínica, pero tiene importancia epidemiológica, pues es referente de la contaminación con materia fecal de los alimentos y del agua de consumo, siendo éstos, los mismos vehículos para la transmisión de otros protozoarios, potencialmente patógenos, lo que concuerda con investigaciones como la realizada por Rivera *et al.* (2008) y Agudelo *et al.* (2008), quienes reportaron una prevalencia del 60% para parásitos comensales. Así mismo, el estudio de Devera (1998) realizado en una comunidad del estado Anzoategui, Venezuela, encontró un 66,7% de parásitos, contrastando con el trabajo ejecutado por Londoño *et al.* (2009), en el que se halló *B. hominis* en un 36,4%. Este último es reconocido como uno de los parásitos más prevalentes en diversas partes del mundo (30-50%) (Zerpa & Terashima, 2000).

Del total de coprológicos positivos, el 23,9% presentaron una única especie de parásitos, es decir, un monoparasitismo y un 51,1% mostraron dos o más especies de parásitos, es decir, poli-parasitismo, lo que contrasta con lo hallado por Rivera *et al.* (2008), quienes registraron un 69,6% para monoparasitismo y 30,4% de poli-parasitismo.

Fueron cinco variables las que manifestaron concordancia con el resultado parasitario. La variable de contacto con el agua del río se relacionó con el resultado coprológico, tanto para enteroparásitos patógenos ( $p=0,000$ ) como para los no patógenos ( $p=0,000$ ), posiblemente, dado por la contaminación de las aguas lluvias propias de la cuenca del río Tunjuelito con las aguas negras de los barrios aledaños que llegan a éste, lo que favorece la persistencia de los ciclos vitales de estos microorganismos. 35,9% de la población estudiada había tenido algún contacto con el agua del río Tunjuelito y un 64,1% no refirió contacto, lo que indica que más de un tercio de la población estudiada revela un importante factor de riesgo de infección parasitaria, lo cual, es concordante con Rivera *et al.* (2008), quienes encontraron la presencia de agentes desfavorables, como la contaminación fecal del agua de consumo de los alimentos, además de deficientes condiciones sanitarias y socio-culturales.



Se observó que un 96,7% de las viviendas de la población estudiada obtenía el agua a partir del acueducto y un 3,3% lo hacía a partir de una alberca. Se observó que el 100% de la población estudiada eliminaban las excretas a través del alcantarillado; esto hace que no sea significativa la variable, debido a la buena obtención de este recurso natural y a la buena eliminación de excretas.

El estrato socio-económico bajo, se relacionó con un resultado coprológico positivo para parásitos intestinales patológicos ( $p=0,48$ ), posiblemente, por las condiciones de vida, de saneamiento, por la falta de prácticas saludables de higiene, desnutrición asociada y otros factores propios de poblaciones, con estrato socio-económico bajo. El 76,1% pertenecían al estrato uno, el 19,6% al estrato dos y el 4,3% a estrato cero, lo que es concordante con la distribución de la población en la localidad de Tunjuelito, donde predominan los estratos uno y dos.

Las características del piso de la vivienda, se relacionaron con el resultado coprológico positivo para parásitos intestinales patógenos ( $p=0,001$ ). En el 63% de las viviendas de la población estudiada el piso era en cemento, 26,1% en baldosa, 7,6% en tierra y 3,3% en madera.

El 29,3% de la población almacenaba la basura por periodos prolongados y un 70,7% no lo hacían, encontrándose diferencias, estadísticamente significativas, (0,046), lo cual, indica una falta de higiene en casi un tercio de la población estudiada, aumentando así el riesgo de infecciones gastrointestinales parasitarias.

El caminar descalzo, se relacionó con el resultado coprológico positivo para parásitos intestinales patógenos ( $p=0,041$ ), ya que este hábito tiene como consecuencia la puerta de entrada para la infección por geo-helminths, aunque, probablemente, existan otros factores más importantes asociadas a ésta variable, ya que la prevalencia en este estudio de geo-helminths fue muy baja. Se observó que un 45,7% tenían como hábito deambular descalzo en la casa y un 54,3% no lo tenía. Se demostró un incremento en la presencia de entero parasitosis, como lo revela también el estudio de parásitos intestinales en una comunidad aborigen de la provincia de Salta, Buenos Aires, Argentina, por Menghi (2007) y el trabajo reportado por Milano *et al.* (2007), quienes descubrieron en su estudio de entero parasitosis

que el hábito de deambular descalzos, de jugar en el suelo y las deficiencias en el manejo de excretas conformaron el escenario óptimo para la transmisión de los geo-helminths diagnosticados

Del total de encuestados (92), el 56,52% eran niños y el 43,5% eran niñas. Los padres autorizaron la participación en el estudio y respondieron el instrumento que evaluaba los factores de riesgo demográficos y socio-económicos.

En la población estudiada, se observó que un 84,8% pertenecían al régimen subsidiado, un 15,2% no tenía afiliación al régimen de seguridad social en salud y ninguno pertenecía al nivel contributivo. Lo que se interpretaría como que un gran porcentaje de la población analizada presenta dificultades para el acceso a los servicios de salud, convirtiéndolos más vulnerables en presencia y persistencia de parasitismo intestinal; estos datos son concordantes con los reportados por Chaves *et al.* (2007), quienes sugieren en su trabajo, sobre factores asociados a la infección por *G. duodenalis* en escolares y preescolares de una zona rural de Cundinamarca, que el pertenecer al régimen subsidiado, se asocia con la infección por enteroparásitos.

El análisis socio-demográfico muestra que un gran porcentaje de la población estudiada presenta dificultades para el acceso a los servicios de salud por estar como subsidiados dentro del sistema general de seguridad social en salud, concordando con Sánchez *et al.* (2000) en el estudio de asentamientos humanos irregulares en México. En la comunidad analizada, el estrato uno predominó y hay un significativo registro, de un 19%, donde las madres finalizaron la educación secundaria, mientras que un 15,2% de los padres no lo hizo, mostrando que existe un alto porcentaje de estudios básicos incompletos, lo cual, también fue demostrado por Londoño *et al.* (2009). Todo esto hace que se incremente la vulnerabilidad en presencia y en persistencia de parasitismo intestinal, ajustándose a lo expuesto en el estudio llevado a cabo por Soriano *et al.* (2005), en la Patagonia, Argentina.

Se advirtió que la edad promedio del padre fue de 29 años, la mediana de 29 y la moda de 29, lo que representa una distribución normal; se percibió que la edad mínima fue de 19 años y la edad máxima 46 años. La edad promedio de la madre fue de 26 años,

la mediana de 26 y la moda de 26, lo cual, representa una distribución normal. Se observó que la mínima edad fue de 17 años y la edad máxima 40, indicando una media poblacional joven de los padres que influye en la escolaridad incompleta.

El 30,4% de los padres (hombres) poseían estudios de bachillerato incompleto; un 27,2% tenían la primaria completa y un 25% incompleta; 15,2% habían completado el bachillerato, un 1,1% cursó una carrera técnica y un 1,1% no tenían estudios. El 33,7% de las madres habían terminado la primaria; un 23,9% tenían el bachillerato incompleto y un 19% el completo; un 18,5% tenían primaria incompleta y un 4,3% poseía una carrera técnica. Basados en lo anterior, todos los padres de los niños poseían algún grado de estudio, donde se podría analizar que conocen las medidas básicas para evitar un contagio por parásitos.

Respecto a los hábitos de higiene personal, como lavarse las manos antes de comer y después de ir al baño, hervir el agua antes de consumirla y el lavado de frutas, se encontró que un alto porcentaje de la población no los practicaba, similar con el estudio de Ibáñez *et al.* (2004), quienes evaluaron el entero parasitismo en escolares de comunidades nativas del alto marañón, Amazonas, Perú. En la población estudiada, se observó que un 91,3% no tenían como hábito lavar las frutas y verduras para su consumo y un 8,7%, sí. Estas variables son significativas, ya que se podría afirmar que, debido al no hervir el agua y no lavar adecuadamente los alimentos, hay más posibilidad de adquirir entero-parásitos.

El 96,7% de la población no tenían como hábito lavarse las manos antes de consumir alimentos y un 3,3% sí lo poseían. El 95,7% carecía del hábito de lavarse las manos después de ir al baño y un 4,3%, sí. De acuerdo con lo anterior, el no realizar frecuentemente el lavado de manos sabiendo que la principal vía de transmisión parasitaria es mano – boca, aumenta la prevalencia de adquirir entero-parásitos.

La presencia de fauna doméstica fue del 48,9% teniendo uno o más animales, semejante al reportado en el estudio de prevalencia de parásitos intestinales en escolares de primaria de Santiago de Surco, Lima, Perú, por Iannacone *et al.* (2006). En cambio Milano *et al.* (2007) encontraron que en el 95,5% de las unidades domésticas contenían uno o más perros y gatos, resaltando, en sus

conclusiones, que se debe insistir, simultáneamente al tratamiento farmacológico, en las medidas preventivas relacionadas con la higiene y la adecuada eliminación de las excretas humanas y de los animales domésticos.

De la población evaluada, el 1,1% refirió haber expulsado una forma adulta de helmintos en materia fecal y un 98,9% negó esta pregunta, para lo cual, se podría argumentar que hay una baja prevalencia de helmintos en la población estudiada, ya que una vez dichos organismos cumplen su ciclo vital, van al exterior.

El análisis del presente estudio mostró que había cinco habitantes en la casa (43,5%), haciendo de esto un factor predisponente para la diseminación de parasitismo en círculos cerrados; además, el 7,6% de estas viviendas el piso era en tierra. Se notó que habían buenos niveles de acceso a servicios públicos, agua y eliminación de excretas, lo que concuerda con el estudio divulgado por Fernández *et al.* (2007), realizado en La Virgen, Cundinamarca.

Milano *et al.* (2007) argumentaron una vez más que la aplicación del concepto eco-sistémico al campo de la salud humana, requiere no sólo de la identificación del agente etiológico de la enfermedad, sino también del conjunto de determinantes genéticos, biológicos y socio-económicos, que configuran los niveles de salud y enfermedad de una población.

Todos los niños y niñas quienes obtuvieron un resultado positivo para parásitos intestinales, se remitieron a su respectivo servicio de salud, con un certificado del análisis coprológico, concluyendo que existen condiciones en la población estudiada, que constituyen un contexto favorable para la elevada frecuencia de las enfermedades parasitarias intestinales.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen la colaboración prestada a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A, directivas y docentes de la facultad de Medicina, así mismo a los Jardines infantiles, rectoras, docentes, padres de familia y niños participantes en el desarrollo de esta investigación. **Conflicto de intereses:** Los autores del presente artículo declaramos que no existen conflictos de intereses que pongan en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** El trabajo fue financiado por los autores del presente trabajo en colaboración con el laboratorio

de Microbiología de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUDELO, S.; GÓMEZ, L.; CORONADO, X.; OROZCO, A.; VALENCIA, C.; RESTREPO, L.; GALVIS, L.; BOTERO, L. 2008. Prevalencia de Parásitos intestinales y factores asociados en un corregimiento de la costa Atlántica. Rev. Salud Pública, Colombia. 10(4):633-642.
2. BOTERO, D.; RESTREPO, M. 2003. Parasitosis humanas. Técnicas de laboratorio en parasitología médica. Corporación para investigaciones biológicas. Medellín, Colombia. p.455-483.
3. CORREDOR, A.; ARCINIEGAS, E. 2002. Parasitismo Intestinal. Instituto Nacional de Salud. Santafé de Bogotá. p.90.
4. CAMPO, M. 2007. Perfil económico y empresarial en la localidad de Tunjuelito. Cámara de Comercio de Bogota. LEGIS SA. p.74.
5. CHÁVES, M.; FERNANDEZ, J.; OSPINA, I.; LÓPEZ, M.; MONCADA, L.; REYES, P. 2007. Tendencia de la prevalencia y factores asociados a la infección por *Giardia duodenalis* en escolares y preescolares de una zona rural de Cundinamarca. Revista Biomédica 27:345-351.
6. CORTÉS, J.; SALAMANCA, L.; SÁNCHEZ, M.; VANE-GAS, F.; SIERRA, P. 1999. Parasitismo y estado nutricional en niños preescolares de instituciones de Santafé de Bogotá. Pediatría (Bogotá), 34(4):288-291.
7. DEVERA, R. 1998. *Blastocystis hominis*: o enigma continúa. Rev. Soc. Bras. Med. Trop. 31(5):491-492.
8. FERNÁNDEZ, J.; REYES, P.; MONCADA, L.; LÓPEZ, M.; CHÁVES, M.; KNUDSON, A.; ARIZA, Y. 2007. Tendencia y prevalencia de las geohelmiantiasis en la Virgen, Colombia 1995-2005. Revista Salud Pública. 9(2):289-296.
9. FUENTEELSAZ, G. 2004. Cálculo del tamaño de la muestra. Matronas Profesión. (España). 5(18): 5-13.
10. HERNÁNDEZ, F.; MATAMOROS, M. 2005. Parásitos intestinales en una comunidad Amerindia, Costa Rica. Revista Parasitol. Latinoam. 60:182-185.
11. IBÁÑEZ, N.; JARA, C.; GUERRA, A.; DÍAZ, E. 2004. Prevalencia del Enteroparasitismo en escolares de comunidades nativas del Alto Maraón, Amazonas, Perú. Rev. Peruana Med. Exp. y Salud Pública. 21(3):126-133.
12. IANNAcone, J.; BENITES, M.; CHIRINOS, L. 2006. Prevalencia de infección por parásitos intestinales en escolares de primaria de Santiago de Surco, Lima, Perú. Revista Parasitol. Latinoam. 61:54-62.
13. LONDOÑO, Á.; MEJIA, S.; GÓMEZ, J. 2009. Prevalencia y factores de riesgo asociados a Parasitismo Intestinal en Preescolares de Zona Urbana en Calarcá, Colombia. Revista Salud Publica. 11(1):72-81.
14. MARCOS, L.; MACO, V.; TERASHIMA, A.; SAMAVIDES, F.; GOTUZZO, E. 2003. Parasitosis intestinal en poblaciones urbanas y rural en Sandía, departamento Puno, Perú. Revista Parasitol. Latinoam. 58:35-40.
15. MENDOZA, D.; NUÑEZ, F.; ESCOBEDO, A.; PELAYO, L.; FERNÁNDEZ, M. 2001. Parasitosis intestinales en 4 círculos infantiles de San Miguel del Padrón, ciudad de la Habana, 1998. Rev. Cubana Med. Trop. 53(3):189-193.
16. MENGHI, C.; KIVARO, F.; DELLACASA, M.; GATTA, C. 2007. Investigación de parásitos intestinales en una comunidad aborigen de la provincia de Salta. (Buenos Aires - Argentina). Revista de Medicina. 67(6):705-708.
17. MILANO, A.; OSCHEROV, E.; PALLADINO, A.; BAR, A. 2007. Enteroparasitosis infantil en un área urbana del nordeste argentino. Medicina (Argentina). 67:238-242.

18. MORRONE, F., CARNEIRO, J., REIS, C. 2004. Study of enteroparasites infection frequency and chemotherapeutic patients in a community living in Porto Alegre, Rs, Brazil. *Rev Inst Med Trop S Paulo* 46(2):77-80.
19. NUÑEZ, F. 2003. Factores de riesgo de la infección por *Giardia lamblia* en niños de guarderías infantiles de ciudad de la Habana, Cuba. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro*. 19(2):677-682.
20. RIVERA, M.; LÓPEZ, J.; RODRÍGUEZ, C. 2008. Enteroparasitosis infantil en guarderías de la zona rural de Cajamarca. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública*. 25(4):445-445.
21. SALDIAS, C. 2003. Monografía localidad de Tunjuelito. Departamento Administrativo de Planeación Distrital. Alcaldía Mayor de Bogota D.C. 49p.
22. SÁNCHEZ, J.; TAY, J.; ROBERT, L.; ROMERO, R.; RUIZ, D.; RIVAS, C. 2000. Frecuencia de Parásitos intestinales en asentamientos humanos irregulares. *Rev. Fac. Med. UNAM, México*. 43(3):80-83.
23. SAVIOLI, L.; BUNDY, D.; TOMKINS, A. 1992. Intestinal parasitic infections: a soluble public health problem. *Trans R. Soc, Trop. Med. Hyg.* 86:353-354.
24. SORIANO, S.; MANACORDA, A.; PIERANGELI, N.; NAVARRO, M.; GIAYETTO, A.; BARBIERI, L.; LAZZARINI, L.; MINVIELLE, M.; GRENOVERO, M.; BASUALDO, J. 2005. Parasitosis intestinales y su relación con factores socioeconómicos y condiciones de hábitat en niños de Neuquén, Patagonia, Argentina. *Parasitol. Latinoam.* 60:154-161.
25. TELLO, R.; CANALES, M. 2000. Técnicas de diagnóstico de enfermedades causadas por enteroparásitos. *Diagnóstico (Perú)*. 39(4):197-198.
26. ZERPA, R.; TERASHIMA, A. 2000. Blastocystosis. *Diagnóstico*. 39(3):120-121

Recibido: Enero 18 de 2010

Aceptado: Mayo 4 de 2010

# INTERFERÓN TAU EN LA VENTANA DE RECONOCIMIENTO MATERNO EMBRIONARIO BOVINO

## INTERFERON TAU IN THE BOVINE MATERNAL-EMBRYONIC RECOGNITION WINDOW

Yasser Lenis, MVZ, Esp, M.Sc. (c)<sup>1</sup>; Nicolás Ramón, MV, M.Sc. (c)<sup>2</sup>; Juan Restrepo, MV, Esp, M.Sc. (c)<sup>3</sup>; Martha Olivera, M.V, Dr. Cien. Agr.<sup>4</sup>; Ariel Tarazona, Zoot, M.Sc.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Candidato a Magister en Ciencias Animales, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Joven Investigador COLCIENCIAS. Grupo BIOGÉNESIS. Carrera 75 # 65-87 Bloque 46 Of. 321 Medellín – Colombia. e-mail: yaserudea@gmail.com <sup>2</sup> Candidato a Magister en Ciencias Animales, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo BIOGÉNESIS. e-mail: nickramon@hotmail.com <sup>3</sup> Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo BIOGÉNESIS. e-mail: juanrb66@gmail.com <sup>4</sup> Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo BIOGÉNESIS. e-mail: syngamia@gmail.com <sup>5</sup> Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo BIOGÉNESIS, Calle 59ª # 63-20 Bloque 50 Of. 316 Medellín – Colombia. e-mail: arielmarcel@gmail.com.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 17-28, 2010

### RESUMEN

El reconocimiento materno embrionario bovino es uno de los eventos de mayor importancia en la reproducción. Este proceso está regulado por múltiples señales celulares y endocrinas, entre el embrión, el endometrio y el cuerpo lúteo, que constituye la glándula transitoria de gran trascendencia en la ventana de reconocimiento materno embrionario, por ser el responsable de la producción de la progesterona. El interferón trofoblástico bovino (bINT-T) llamado así por el sitio de producción, es la principal señal para el éxito en el establecimiento de la preñez, que favorece los procesos luteotrópicos funcionales y estructurales, garantizando la producción de progesterona y la integridad de las células, que constituyen el cuerpo lúteo. La luteólisis es un proceso comprendido en dos etapas: la luteólisis funcional y la estructural, ambas mediadas, principalmente, por la  $PGF_2\alpha$ . Este proceso es necesario para que el estro se presente de forma cíclica; una vez iniciados los mecanismos luteolíticos la posibilidad de una gestación se ve reducida. Dentro de los principales efectos del bINT-T esta la inhibición de la síntesis y la liberación, de forma pulsátil, de la  $PGF_2\alpha$  en el endometrio bovino,

el cual, está constituido por dos tipos de células: las endometriales epiteliales (CEEP) y las endometriales estromales (CEES); las primeras, poseen la capacidad de producir entre el 60 al 70% de la  $PGF_2\alpha$  total. El propósito de esta revisión es describir el papel del bINT-T en la ventana de reconocimiento materno embrionario y sus principales efectos sobre la síntesis y la secreción de  $PGF_2\alpha$  y  $PGE_2$ , en el endometrio bovino.

Palabras clave: Embrión, luteólisis, luteotropismo, trofoblasto.

### SUMMARY

Maternal-embryonic recognition is one of the most important events in bovine reproduction. This process is regulated by multiple cellular and endocrine signals among the embryo, the endometrium and corpus luteum, the most important transitory gland in the maternal-embryonic recognition window since it is responsible for the production of progesterone. Bovine trophoblastic interferon (bINT-T) named after the site of production (embryonic trofoectoderm) is the main signal for the successful establishment of pregnancy. bINT-T,

supports functional and structural luteotropic process ensuring the production of progesterone and integrity of the cells forming the corpus luteum. Luteolysis is divided in two stages: Functional and structural luteolysis, both mediated primarily by  $\text{PGF}_2\alpha$ . Luteolysis is necessary for maintenance of the estrous cycle cyclicity. Once luteolytic mechanisms initiate, the chances of maintaining the pregnancy are reduced. Among the main effects of bINT-T, are the inhibition of the synthesis and pulsatile release of  $\text{PGF}_2\alpha$  in the bovine endometrium which consists of two types of cells: endometrial epithelial cells (CEEP) and endometrial stromal cells (CEES). The former produces between 60 to 70% of the total  $\text{PGF}_2\alpha$ . The purpose of this review is to describe the role of bINT-T in the maternal-embryonic recognition window and its major effects on the synthesis and secretion of  $\text{PGE}_2$  and  $\text{PGF}_2\alpha$  in the bovine endometrium.

Key words: Embryo, luteolysis, luteotropism, trofoblast.

## INTRODUCCIÓN

El interferón-T (INT-T), también conocido como interferón trofoblástico, fue descubierto mediante el cultivo, aislamiento y purificación de extractos de blastocistos ovinos, que secretaban una proteína con propiedades antiluteolíticas y que prolongaban la fase lútea de la hembra (Roberts, 2007; Asselin *et al.* 1997). En 1987, se identificó la secuencia aminoacídica, lo que permitió sintetizarlo, de manera exitosa, para la investigación en ciencias básicas (Demmers *et al.* 2001). En la actualidad, es producido de forma recombinante y se han reconocido diferentes isoformas del mismo. Dentro de las diversas especies rumiantes existen otras isoformas de interferones trofoblásticos, y entre las más estudiadas están: el interferón trofoblástico ovino (oINT-T) y el interferón trofoblástico bovino (bINT-T) y, en menor medida, los interferones trofoblásticos de especies como la jirafa y otros rumiantes (Weems *et al.* 2006; Walker *et al.* 2009).

Uno de los hallazgos más relevantes fue la identificación de distintas isoformas de INT-T dentro de una misma especie; en el bovino, al menos, once a doce distintos interferones trofoblásticos han sido identificados de embriones cultivados *in-vitro* (Hashizume *et al.* 2006). Lo anterior podría sugerir la capacidad de un embrión de inhibir, mediante diferentes rutas moleculares, los

procesos luteolíticos y así garantizar los procesos de reconocimiento e implantación embrionaria (Walker *et al.* 2009).

El bINT-T, por su parte, participa en el establecimiento y reconocimiento de la gestación, proceso regulado por múltiples señales moleculares e interacciones celulares, principalmente, entre el embrión y el cuerpo lúteo (CL) (Arosh *et al.* 2004; Asselin *et al.* 1997). Durante los días 15 al 17 del ciclo estral, la viabilidad embrionaria juega un papel importante para inhibir los procesos luteolíticos, favoreciendo la implantación y el mantenimiento de la gestación. Este periodo es considerado crítico para garantizar los procesos luteoprotectores, mediante la modulación de la producción de la prostaglandina  $\text{F}_2$  alpha ( $\text{PGF}_2\alpha$ ) y prostaglandina  $\text{E}_2$  ( $\text{PGE}_2$ ), en el endometrio bovino (Tithof *et al.* 2007; Weems *et al.* 2006; Fortier *et al.* 1988).

La pérdida funcional y estructural del CL es llevada a cabo por la  $\text{PGF}_2\alpha$  que es el principal factor luteolítico y es producida, primordialmente, en el endometrio bovino (Acosta *et al.* 2008; Asselin *et al.* 1996; Fortier *et al.* 1988), el cual, a su vez, se encuentra constituido por dos biotipos celulares: las células endometriales epiteliales bovinas (CEEP) y las células endometriales estromales bovinas (CEES). Las primeras son las mayores responsables de los procesos luteolíticos, ya que sintetizan  $\text{PGF}_2\alpha$  en mayor cantidad que  $\text{PGE}_2$ , mientras que las CEES son las responsables de favorecer los procesos luteotrópicos, debido a que producen más  $\text{PGE}_2$  que  $\text{PGF}_2\alpha$  (Skarzynski *et al.* 2008; Fortier *et al.* 1988) (Gráfica 1).

Durante la ventana de reconocimiento materno embrionario, los niveles de  $\text{PGE}_2$  aumentan respecto los de  $\text{PGF}_2\alpha$ , favoreciendo los efectos luteoprotectores como: vasodilatación, angiogénesis, quiescencia uterina, receptividad uterina, entre otros. Este aumento, se debe principalmente a la síntesis y secreción por parte de las células trofoectodérmicas del embrión del bINT-T, que se secreta en altas cantidades, entre los días 13 al 17; sin embargo, los niveles permanecen altos en promedio hasta el día 27 de gestación (Arosh *et al.* 2004; Tithof *et al.* 2007; Skarzynski *et al.* 2008).

El mecanismo de acción del bINT-T involucra la unión a su receptor, que se encuentra ubicado en la membrana celular de las CEEP y las CEES, favoreciendo la síntesis

y la secreción de PGE<sub>2</sub>, mediante mecanismos celulares específicos, como el aumento del mRNA, que codifica para la enzima prostaglandina E sintasa, responsable de la síntesis de la PGE<sub>2</sub> (Hashizume *et al.* 2006).

Una de las principales causas para la pérdida embrionaria temprana es la respuesta inadecuada en el endometrio ante el INT-T, debido a un aumento de la síntesis y la secreción en pulsos de la PGF<sub>2</sub>α, que induce los procesos luteolíticos (Roberts *et al.* 2008; Spencer *et al.* 2004; Arosh *et al.* 2004; Parent *et al.* 2003a; Tithof *et al.* 2007; Olivera *et al.* 2007).

Aunque el mecanismo de acción del bINT-T se ha estudiado a fondo, todavía quedan algunos vacíos de cómo podría modular la producción de PGF<sub>2</sub>α y PGE<sub>2</sub> en las CEEP y las CEES. El propósito de esta revisión es describir el papel del INT-T en la ventana de reconocimiento materno embrionario y su función en la regulación de la síntesis de PGF<sub>2</sub>α y PGE<sub>2</sub>.

## GENERALIDADES DE LOS INTERFERONES

En 1965, se reportó por primera vez los efectos de los interferones, cuando estas proteínas interfirieron en un cultivo de leucocitos humanos, en el crecimiento viral, evitando la replicación de partículas virales en el medio celular y en las células sometidas a cultivo (Billiau & Matthys, 2009).

Los interferones son proteínas producidas por el sistema inmunitario de la mayoría de los animales, como respuesta a agentes infecciosos o extraños, como virus, bacterias, parásitos, células cancerígenas, entre otros. La gran mayoría de los interferones pertenecen a la clase de las glicoproteínas, ya que su estructura cuenta con azúcares específicos, que confieren características bioquímicas, como su grado de solubilidad en medios acuosos (Billiau & Matthys, 2009; Gómez *et al.* 2007; Demartini *et al.* 2003). Existen, al menos, dos biotipos de interferones (biotipo I y II), que fueron clasificados según su estructura y su origen celular con letras griegas. Los principales interferones tipo I son: α, β, ω, T, y, en el caso del tipo II, está el interferón γ (INT- γ), el cual, es codificado por un gen inducible y, a pesar de considerarse un producto primario de linfocitos T para activar macrófagos, es liberado por una amplia variedad de tipos celulares, cumpliendo diferentes actividades biológicas (Spencer *et al.* 2004. Demartini *et al.* 2003, Parent *et al.* 2003a).

Investigaciones en la década de los 80 lograron, como objetivo la purificación de una proteína producida y secretada por células trofoblásticas de un embrión ovino, que tenía como principal función fisiológica favorecer la presentación de los efectos antiluteolíticos. Posteriores investigaciones permitieron corroborar que dicha proteína se trataba de un biotipo de interferón que denominaron interferón trofoblástico (Demmers *et al.* 2001).

Al principio el interferón trofoblástico fue clasificado dentro del subgrupo 0, en razón de su similitud con el interferón α, que alcanza un 70% de igualdad en su identidad aminoacídica; sin embargo, la analogía entre bIFNT y oIFNT es mayor, por ellos varias investigaciones utilizaron el oIFNT, para responder preguntas planteadas en células endometriales bovinas, como un modelo *in vitro*. Estas observaciones han llevado a clasificar a los interferones trofoblásticos como un nuevo subtipo dentro de los interferones de tipo I, denominados tau (Weems *et al.* 2006).

La isoforma del bIFNT, expresado solo en el trofoblasto de embriones rumiantes, representa una de las cinco familias relacionadas con los interferones tipo I, denominados INT α, β, ω y T. Dentro de los biotipos T encontramos, principalmente, el bIFNT y oIFNT, cuyas diferencias estructurales son pocas (Roberts *et al.* 2008; Demmers *et al.* 2001).

Análisis filogenéticos han evidenciado que los interferones tipo I y II son conservados evolutivamente y divergieron de un gen precursor, hace más de 250 millones de años, en todas las especies estudiadas hasta el momento; no obstante, los biotipos de los interferones trofoblásticos fueron originados más recientemente en los rumiantes, a partir de la expresión de genes propios activados, hace más de 30 millones de años (Roberts, 2007; Demmers *et al.* 2001; Christine *et al.* 2009).

Gran parte de los genes que inducen síntesis de factores o moléculas relacionadas con la reproducción en la vaca son expresados en la placenta. Estos genes codifican su producto, mediante la activación de señales intracelulares específicas, sintetizando glicoproteínas asociadas a la gestación, incluyendo el IFNT, existiendo en el bovino, por lo menos tres genes distintos, que pudieran codificarlo (Christine *et al.* 2009).

Existe una gran similitud en la estructura química del IFNT en rumiantes, que se basa en una alta homología de los nucleótidos que componen el ADN codificante, para esta proteína (Walker *et al.* 2009).

## PROPIEDADES BIOQUÍMICAS DEL INTERFERÓN TAU

El IFNT posee una masa molecular entre 22.000 y 24.000kDa. Su estructura de 172 aminoácidos, se encuentra glicosilada en su extremo amino terminal con algunos oligosacáridos, confiriéndole mayor versatilidad química a su estructura, la cual, difiere del oIFNT, debido a que este último no posee ninguna glicosilación en su estructura (Roberts, 2007; Demmers *et al.* 2001). La estructura primaria, le permite a la estructura tridimensional del IFNT formar hélices- $\alpha$ , que contienen enlaces disulfuro entre aminoácidos, como la cisteína; láminas- $\beta$  plegadas y bucles irregulares, le confieren al IFNT una estructura tridimensional (Demmers *et al.* 2001).

El BIFNT ha sido identificado como una señal crítica en el reconocimiento materno embrionario bovino. Hasta el momento, se han identificado entre once a doce variantes polimórficas, las cuales, fueron caracterizadas mediante técnicas de laboratorio con cADN; sin embargo, no todos han transcrito, pues no ha sido posible la identificación de algunos transcritos, lo que sugeriría la presencia de algunos genes complementarios en las células trofoectodérmicas (Roberts, 2007; Demmers *et al.* 2001; Binelli *et al.* 2001; Parent *et al.* 2003b; Assal *et al.* 1995).

Como consecuencia de las variaciones alélicas en cada una de las especies, incluyendo el bovino, el BIFNT puede presentar pequeñas variaciones en su estructura química final. Se ha logrado demostrar que estas variaciones le confieren a cada BIFNT una potencia biológica distinta, aumentando o disminuyendo algunos de los efectos luteotrópicos (Ealy *et al.* 1998).

El BIFNT posee la capacidad de unirse a su receptor tipo rINT1, el cual, a su vez, se subdivide en dos biotipos (rINTA1 y rINTA2) y mediante procesos bioquímicos activa la ruta de la STAT, induciendo la transcripción de genes involucrados en procesos antivirales, antiproliferativos y con efectos luteales (Roberts, 2007; Demmers *et al.* 2001).

## SÍNTESIS DEL INTERFERÓN TAU

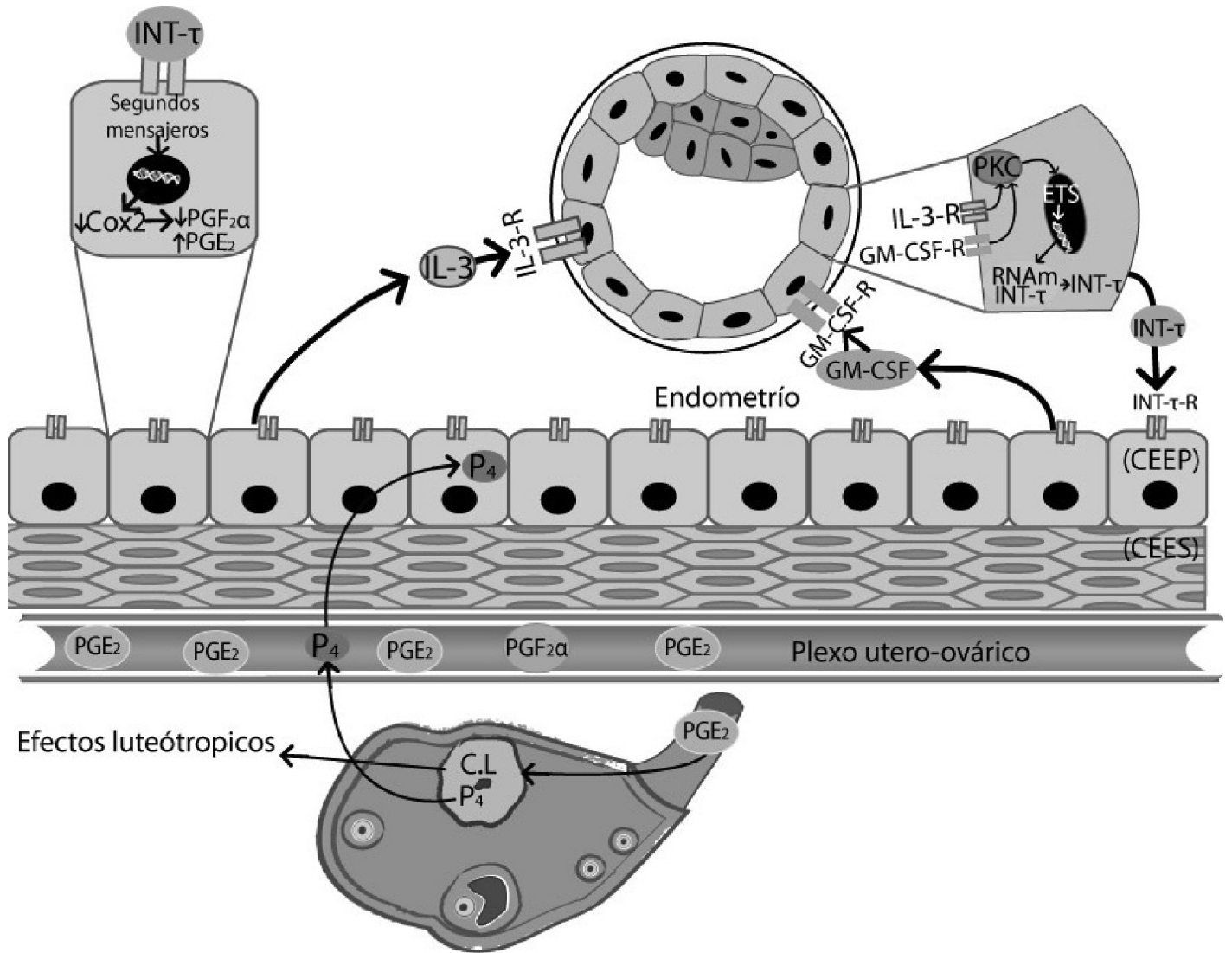
La síntesis y la secreción del BIFNT, se efectúa en el trofoectodermo extraembrionario del blastocisto, en su etapa preimplantatoria y alcanza niveles máximos durante los días 15 al 17, sintetizándose hasta el día 28 de gestación (Arosh *et al.* 2004). Entre los días 13 al 15 los niveles de mARN, para el BIFNT, son elevados en las células trofoectodérmicas, coincidiendo con la etapa de reconocimiento materno embrionario; posterior a este evento fisiológico, los niveles del BIFNT van disminuyendo de forma progresiva (Arosh *et al.* 2004; Roberts *et al.* 2008; Demmers *et al.* 2001).

Hasta el momento, se han descubierto un sin número de factores moleculares que podrían inducir la síntesis de BIFNT en el trofoectodermo embrionario, comprendiendo la interleuquina tipo 3 (IL3) y el factor estimulante de granulocitos y macrófagos (GM-CSF); aún así, se desconoce el papel de otros factores y las vías celulares por las cuales se induciría la síntesis del BIFNT. Se evidenció la importancia de estos factores de crecimiento y de las citoquinas inflamatorias secretadas por el endometrio, cuando se demostró que embriones producidos *in vitro* y transferidos a vacas receptoras incrementaban la producción de BIFNT unas 500 veces más que los embriones que eran cultivados hasta el día once, en ambiente controlado (Yamaguchi *et al.* 2001) (Gráfica 1).

En 1989, se demostró que la concentración del BIFNT se puede modular por el grado de desarrollo embrionario, produciendo una mayor concentración los embriones en estadio más avanzados morfológica y funcionalmente (blastocistos), que los que se encontraban en estadio de mórula. Una vez el embrión ha eclosionado y la zona trofoblástica tiene contacto establecido con el epitelio uterino, ocurre un cese en la producción de BIFNT (Demmers *et al.* 2001).

A diferencia del IFN $\alpha$  y IFN $\beta$ , la región promotora y su "enhancer", ubicados en la región codificante para el BIFNT, no poseen la secuencia viral inductora, por lo que llevó muchos años de investigación adicional poder comprender cuáles eran las señales celulares que inducían la activación génica, que daba lugar a la síntesis del BIFNT (Ashworth & Bazer, 1989; Roberts, 2007; Demmers *et al.* 2001). En 1998, mediante la transfección de una línea celular humana, se logró determinar que





Gráfica 1: Mecanismo de acción del bIFNT en el endometrio bovino (adaptada y modificada de Yamaguchi *et al.* 2001).

- IFNτ: Interferón tau.
- IFNτ-R: Receptor para el interferón tau.
- PKC: Proteína quinasa C.
- PGF<sub>2</sub>α: Prostaglandina F<sub>2</sub> alfa.
- PGE<sub>2</sub>: Prostaglandina E<sub>2</sub> alfa.
- RNAm: Ácido Ribonucleico Mensajero.
- GM-CSF: Factor Estimulante de Granulocitos y Macrófagos.
- GM-CSF-R: Receptor para Factor Estimulante de Granulocitos y Macrófagos.
- IL3: Interleuquina tipo 3.
- IL3-R: Receptor para Interleuquina tipo 3.
- CL: Cuerpo Lúteo.
- P4: Progesterona.
- CEEP: Células endometriales epiteliales.
- CEES: Células estromales epiteliales.

las Ets (familia de factores transcripcionales) eran las responsables de inducir la activación de los genes codificantes para el bIFNT. Las Ets regulan y activan una gran variedad de genes en diversos biotipos celulares, especialmente, en las células epiteliales, incluyendo las células trofoectodérmicas (Ezashi *et al.* 1998; Imakawa *et al.* 1993) (Gráfica 1).

Se demostró, en 1993, que la suplementación con factores de granulocito y de macrófagos del medio de cultivo para embriones aumentó la producción de proteínas que activaban los promotores de las secuencias codificantes para el bIFNT (Ezashi *et al.* 1998; Imakawa *et al.* 1995). La adición de GM-CSF al medio de cultivo de embriones de oveja, duplicó la actividad antiviral del sobrenadante respecto a los controles y aumentó la producción de oIFNT (Jo-ann *et al.* 2001). Estos resultados sugieren que citoquinas de origen materno pueden estar influyendo en las señales que participan en el reconocimiento materno de la preñez. Así mismo, al agregar factor de crecimiento insulínico I y II (IGF I y II) al medio de cultivo de embriones, se incrementó la síntesis de oIFNT, indicando que ciertos componentes presentes en el medio ambiente uterino, durante la preñez temprana, se requieren para la síntesis del bIFNT (Jo-ann *et al.* 2001).

Una vez el mRNA para el bIFNT es transcrito, la traducción ocurre en los ribosomas libres de las células o en los que se encuentran acoplados al retículo endoplásmico rugoso, donde se inician los procesos de biotransformación, como la glicosilación y que es secretado, posiblemente, por exocitosis (Arosh *et al.* 2004; Tithof *et al.* 2007).

## MECANISMO DE ACCIÓN DEL INTERFERÓN TAU

El receptor del bIFNT, se encuentra ubicado en la membrana plasmática de las CEEP y CEES, acoplado a proteínas de la familia Jack Kinasas, las cuales, pueden fosforilar otras proteínas, mediante residuos de tirosina (TYK 2) en sus estructuras (Roberts *et al.* 2008).

La ausencia de un embrión durante los días 15 al 18 del ciclo estral bovino induce un aumento de la oxitocina luteal, favoreciendo la síntesis de  $\text{PGF}_2\alpha$  y  $\text{PGE}_2$  en la CEEP y, en menor proporción, en las células luteales grandes (CLG) y células luteales pequeñas (CLP),

activando la luteólisis funcional y estructural, que conlleva al retorno a un nuevo ciclo. Por el contrario, la presencia de un embrión competente, promueve el inicio de la síntesis de IFNT, que aumenta progresivamente entre los días 13 y 18 del reconocimiento materno embrionario, favoreciendo la presentación de los efectos luteotrópicos y el establecimiento de la gestación (Arosh *et al.* 2004; Woclawek *et al.* 2004; Asselin *et al.* 1996).

Investigaciones recientes sugieren que el INT-T activa la ruta de las Jak Kinasas (Jak-Star), para posteriormente fosforilar la STAT, ubicada en el citoplasma de las CEEP y las CEES; una vez activada la STAT es translocada al núcleo, donde activa el complejo nuclear de unión para STAT (Binelli *et al.* 2001).

El mecanismo de acción propuesto para el bIFNT consiste en la fosforilación de las proteínas activadoras de transcripción o STAT. La naturaleza química de los interferones no les permite ingresar a la célula blanco para ejercer un efecto fisiológico, lo que hace necesarias, la activación de proteínas intracelulares que traducen la señal y desencadenan el efecto final, mediante la inclusión de grupos fosfatos a la STAT (Demmers *et al.* 2001; Binelli *et al.* 2001; Billiau *et al.* 2009). Existen diferentes biotipos para la STAT (STAT1, STAT2, STAT3) ubicadas, generalmente, en el citoplasma de la célula blanco. Cada una de estas posee rutas moleculares diferentes y son activadas por estímulos específicos, como el bIFNT (Cheng *et al.* 2005)

Binelli *et al.* (2001) demostraron que diferentes concentraciones de bIFNT (0,2ng/mL, 11,6ng/mL, 12ng/mL y 50ng/mL) en el medio de cultivo de CEEP, afectaba de forma individual la tasa de fosforilación de cada una de las STAT (Billiau *et al.* 2009), sugiriendo que la calidad del trofoblasto y su capacidad de producir bIFNT podría reducir los efectos luteotrópicos y afectar el reconocimiento materno-embriionario (Cheng *et al.* 2004).

Una vez el bIFNT interactúa con su receptor de membrana, se inicia la fosforilación de unidades de STAT1 de forma dosis dependiente. La STAT presenta la señal peptídica de importación nuclear y, una vez activada, se une a una proteína de unión del ADN, llamada ISGF3 $\gamma$ . Este complejo, se trasloca al núcleo, donde interactúa con secuencias específicas del ADN, denominadas "elementos respondedores estimulados

por IFNT” (Demmers *et al.* 2001; Binelli *et al.* 2001; Ashworth & Bazer, 1989), para expresar los genes que favorecen los efectos luteotrópicos. Los segundos mensajeros generados por el estímulo del bIFNT con su receptor tienen efectos directos en la expresión génica de las CEEP y CEES. La activación de proteínas de unión específicas al ADN son las responsables de modular negativamente la traducción de enzimas relacionadas con la síntesis de  $\text{PGF}_2\alpha$  y  $\text{PGE}_2$ , como la ciclooxigenasa tipo 2 (Cox 2) (Kim *et al.* 2003), la cual, se expresa a partir de unos genes de tipo inducibles. Otra enzima regulada de forma negativa por el bIFNT es la prostaglandina H sintasa, relacionada directamente con el aumento en la concentración de  $\text{PGF}_2\alpha$  y  $\text{PGE}_2$ , en el endometrio bovino. Estos dos tipos de genes responden a señales celulares, como las STAT (Demmers *et al.* 2001; Guzeloglu *et al.* 2004a; Arosh *et al.* 2002) (Gráfica 1).

## EFFECTOS DEL INTERFERÓN TAU EN LA VENTANA DE RECONOCIMIENTO MATERNO EMBRIONARIO

Las CEEP y las CEES poseen en su membrana plasmática el receptor IFNAR para bIFNT. Una vez activado, se desencadenan señales intracelulares, que generan diversidad de efectos fisiológicos en el útero bovino. Hasta el momento, no se ha observado ningún efecto directo de bIFNT sobre el CL (Guzeloglu *et al.* 2004a).

Los efectos del bIFNT en el aparato reproductivo son diversos. El primero que se descubrió fue la prolongación de la fase lútea en ovejas, que eran sometidas a infusiones intrauterinas de soluciones que contenían oIFNT. Estas ovejas presentaban estructura luteal hasta 45 días después de la infusión; posteriormente, se logró demostrar que la concentración del oIFNT aplicado en el lumen uterino podía aumentar la fase lútea o, por el contrario, no afectarla (Kim *et al.* 2003; Chen *et al.* 2006; Thatcher *et al.* 1994; Ashworth *et al.* 1989).

Durante la ventana de reconocimiento materno-embriionario (día 13 a 18 del ciclo estral), el CL puede sufrir luteólisis o seguir produciendo progesterona. El primer evento conduce al retorno a la ciclicidad, mientras que el segundo favorece los efectos luterotrópicos, necesarios para la gestación. La regulación de la luteólisis está modulada por la interacción de varias moléculas, entre las cuales están los estrógenos, la

oxitocina, la  $\text{PGF}_2\alpha$  y sus respectivos receptores (Arosh *et al.* 2004; Robinson *et al.* 2002; Rodríguez *et al.* 2006). Los estrógenos poseen dos biotipos de receptores tipo  $\alpha$  y  $\beta$ , expresados de manera características en algunos órganos o aparatos, como el reproductivo (Kim *et al.* 2003; Farina *et al.* 2007). Los estrógenos sintetizados por los folículos en el ovario en crecimiento modulan la expresión del mRNA para el receptor de oxitocina (OTr), principalmente, en las CEEP. Existe una relación directa entre la capacidad de los estrógenos de unirse a sus receptores y la cantidad de mRNA para el OTr (Ashworth *et al.* 1989). Por lo tanto, a mayor concentración de complejo estrógenos-receptor, mayor actividad génica para la expresión del OTr (Chen *et al.* 2006; Guzeloglu *et al.* 2004b).

La transcripción de los interferones tipo I es inducida mediante la activación de factores reguladores de los interferones tipo 1 (FRI 1) y tipo 2 (FRI 2). El FRI 1 induce la expresión directamente del FRI 2, pero este último es un factor supresor para la activación del FRI-1; adicionalmente, el FRI-2 tiene la capacidad de inhibir la expresión de genes específicos de respuesta viral, como el gen antígeno nuclear tipo 1 y el gen codificante para la óxido nítrico sintasa, importante en la síntesis de  $\text{PGF}_2\alpha$  y  $\text{PGE}_2$ , en las CEES (Binelli *et al.* 2001; Woclawek *et al.* 2004).

El FRI-2 actúa, principalmente, como inhibidor del receptor de estrógenos ( $\text{ER}2\alpha$ ) en la CEEP, evitando la unión hormona-receptor, necesaria para la síntesis de OTr. Además, cumple su función en el endometrio evitando que se origina la producción de OTr, necesarios para la vía de producción de  $\text{PGF}_2\alpha$  (Spencer *et al.* 2004; Guzeloglu *et al.* 2004a; Demmers *et al.* 2001; Jean *et al.* 2008).

La unión de progesterona a sus receptores en el trofoblasto activa los genes de respuesta a retrovirus (JSRV), que tienen un efecto directo para que el embrión inicie la producción de INFT (Spencer *et al.* 2004; Arosh *et al.* 2004; Skarzynski *et al.* 2000a y b). Algunos de los ligandos para JSRV, se encuentran en la membrana de las CEEP y CEES, como también en las glándulas endometriales uterinas, lo que sugiere que la unión del embrión a la pared del endometrio es una señal para desencadenar funciones fisiológicas, como las luteotrópicas y la diferenciación y función de la placenta (Spencer *et al.* 2004; Arosh *et al.* 2004).

Durante los días 10-12 del ciclo estral, la progesterona se une a sus receptores nucleares en las CEEP, inhibiendo la expresión de los OTr en la membrana plasmática. Este periodo se denomina “periodo de bloqueo” (Jo-ann *et al.* 2001). Posteriormente, la progesterona es la responsable del “down regulation” de los receptores de estrógenos, con la consiguiente disminución del ER $\alpha$ , lo que lleva a una rápida disminución en la expresión de OTr (Weems *et al.* 2006; Chard, 1989; Olivera *et al.* 2007; Okuda *et al.* 2004).

El aumento de la expresión de genes para JSRV en el epitelio uterino, se halla altamente relacionado con los niveles de progesterona en sangre periférica y la expresión de receptores de progesterona (PR), en el epitelio endotelial. La expresión génica para los PR es baja entre los días 8-10 del diestro, aumentando entre los días 13-15, a la espera de señales celulares, generadas por un embrión viable. De no generarse el reconocimiento, la expresión y la síntesis para el PR, se disminuye al nivel mínimo basal (Spencer *et al.* 2004; Arosh *et al.* 2004; George & Lamming, 2001; Spencer *et al.* 1995, 1996).

El éxito o no del reconocimiento materno embrionario depende de la adecuada comodulación entre la progesterona y el bIFNT, o los estrógenos y la oxitocina, además de la expresión de los receptores específicos. Alteraciones en la señalización celular o molecular podría desencadenar la reabsorción embrionaria. Como aplicación de este conocimiento, se ha planteado la posibilidad de suministrar bIFNT, en este periodo, con la hipótesis de favorecer el proceso de reconocimiento materno embrionario. El bIFNT, se puede producir de forma recombinante (Assal *et al.* 1995); sin embargo, uno de los mayores inconvenientes es su consecución comercial, ya que son pocos los grupos en el mundo que lo producen y el costo es muy alto (Roberts, 2007).

Los efectos del bIFNT, se han estudiado usando como modelo hembras preñadas ovinas y bovinas, demostrando que el útero posee un bajo número de receptores funcionales para oxitocina en sus CEEP y en el miometrio. En forma similar, la infusión intrauterina de oIFNT entre los días 11-15 del ciclo estral, reduce el número de receptores para estrógenos y los OTr, y la afinidad de este último, para con su ligando (Kim *et al.* 2003; Spencer *et al.* 2004; Okuda *et al.* 2004; Skarzynski *et al.* 2000a y b).

El oIFNT puede inhibir la síntesis y la afinidad de receptores para oxitocina directa o indirectamente por un mecanismo de “down-regulation” de receptores para estrógenos y/o estabilizando los receptores para progesterona (Mark *et al.* 2008). De este modo, el INFT inhibiría los pulsos luteolíticos de PGF $_2\alpha$  inducidos por oxitocina (Tithof *et al.* 2007; Arosh *et al.* 2004; Spencer *et al.* 1995, 1996).

Se concluye, que el bIFNT es una de las señales más importantes en la ventana de reconocimiento materno embrionario, proceso que esta regulado de manera multifactorial. Los mecanismos que potencialmente podrían ser desencadenados por el IFNT, incluyen: 1) Estabilización o “up-regulation” de receptores endometriales para progesterona, con el objeto de extender el período de bloqueo por progesterona y, de este modo, evitar la expresión de receptores para estrógenos y/o receptores para oxitocina. 2) Inhibición directa de receptores para estrógenos. 3) Inhibición directa de la síntesis de receptores para oxitocina evitando la liberación pulsátil de PGF $2\alpha$  (Tithof *et al.* 2007; Arosh *et al.* 2004; Jo-ann *et al.* 2001). No obstante, se evidencia que aún existen muchos vacíos en el conocimiento, principalmente, en la actualización de nuevas técnicas de laboratorio, que permitan la síntesis de manera rápida y económica del bIFNT, para facilitar las investigaciones básicas, para aproximarnos al entendimiento de los principales procesos moleculares que están ocurriendo en el aparato reproductivo y desarrollar nuevas terapias específicas, con las cuales, se pudiera mejorar el ambiente uterino y, así, favorecer los indicadores reproductivos, como: el porcentaje de preñez, intervalos entre partos, servicios por concepción, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, T.J.; BAH, M.M.; KORZEKWA, A.; WOCLAWEK-POTOCKA, I., MARKIEWICZ, W.; JAROCZEWSKI, J.J.; OKUDA, K.; SKARZYNSKI, D.J. 2008. Acute Changes in Circulating Concentrations of Progesterone and Nitric Oxide and Partial Pressure of Oxygen During Prostaglandin F $2\alpha$ -induced Luteolysis in Cattle. *J. Reprod. Dev.* 55(2):149-155.
2. AROSH, J.A.; BANU, S.K.; CHAPDELAIN, P.; MADORE, E.; SIROIS, J.; FORTIER, M.A. 2004 May

- Prostaglandin biosynthesis, transport, and signaling in corpus luteum: a basis for autoregulation of luteal function. *Endocrinology*. 145(5):2551-2560.
3. AROSH, J.A.; PARENT, J.; CHAPDELAINE, P.; SIROIS, J.; FORTIER, M.A. 2002. Expression of cyclooxygenases 1 and 2 and prostaglandin E synthase in bovine endometrial tissue during the estrous cycle. *Biol. Reprod.* 1:161-169.
  4. AROSH, J.A.; BANU, S.K.; KIMMINS, S.; CHAPDELAINE, P.; MACLAREN, L.A.; FORTIER, M.A. 2004. Effect of interferon T on prostaglandin biosynthesis, transport, and signaling at the time of maternal recognition of pregnancy in cattle: evidence of polycrine actions of prostaglandin E2. *Endocrinology*. 145(11):528-533.
  5. ASHOWORTH, C.J.; BAZER, F.W. 1989. Changes in ovine conceptus and endometrial function following asynchronous embryo transfer or administration of progesterone. *Biol. of Reprod.* 40:425-433.
  6. ASSAL, M.A.; KINSKY, R.; MARTAL, J.; CHAOUIAT, G. 1995. In vivo immunosuppressive effects of recombinant ovine interferon-tau (Trophoblastin): r.o.TP (r.o.IFN-T) inhibits local GVH reaction in mice (PLN assay), prevents fetal resorptions, and favors embryo survival and implantation in the CBA/J × DBA/2 mice combination. *Am. J. Reproduct. Immun.* 33(3):267-275.
  7. ASSELIN, E.; BAZER, F.W.; FORTIER, M.A. 1997. Recombinant ovine and bovine interferons tau regulate prostaglandin production and oxytocin response in cultured bovine endometrial cells. *Biol. Reprod.* 2:402-408.
  8. ASSELIN, E.; GOFF, A.K.; BERGERON, H.; FORTIER, M.A. 1996. Influence of sex steroids on the production of prostaglandins F2 alpha and E2 and response to oxytocin in cultured epithelial and stromal cells of the bovine endometrium. *Biol. Reprod.* 2:371-379.
  9. BILLIAU, A.; MATTHYS, P. 2009. Interferon-gamma: a historical perspective. *Cytokine Growth Factor Rev.* 20(2):97-113.
  10. BINELLI, M.; SUBRAMANIAM, P.; DÍAZ, T.; JOHNSON, G.A.; HANSEN, T.R.; BADINGA, L.; THATCHER, W. 2001. Bovine interferon-tau stimulates the Janus kinase-signal transducer and activator of transcription pathway in bovine endometrial epithelial cells. *Biol. of Reprod.* 64(2):654-665.
  11. CHARD, T. 1989. Fetal and maternal oxytocin in human parturition. *J. Perinatol.* 2:145-152.
  12. CHEN, Y.; GREEN, J.A.; ANTONIOU, E.; EALY, A.D.; MATHIALAGAN, N.; WALKER, A.M.; AVALLE, M.P.; ROSENFELD, C.S.; HEARNE, L.B.; ROBERTS, R.M. 2006. Effect of interferon-tau administration on endometrium of nonpregnant ewes: a comparison with pregnant ewes. *Endocrinology*. 147(5):2127-2137.
  13. CHENG, Z.; ABAYASEKARA, D.R.; WATHES, D.C. 2005. The effect of supplementation with n-6 polyunsaturated fatty acids on 1-, 2- and 3-series prostaglandin F production by ovine uterine epithelial cells. *Biochim. Biophys. Acta.* 2:128-135.
  14. CHENG, Z.; ELMES, M.; KIRKUP, S.E.; ABAYASEKARA, D.R., WATHES, D.C. 2004. Alteration of prostaglandin production and agonist responsiveness by n-6 polyunsaturated fatty acids in endometrial cells from late-gestation ewes. *J. Endocrinol.* 2:249-256.
  15. CHRISTINE, G.E.; ROSS, L.T.; KIM, C.W. 2009. The Genome Sequence of Taurine Cattle: A Window to Ruminant Biology and Evolution. *Science*. 324:522-528.
  16. DEMARTINI, J.C.; CARLSON, J.O.; LEROUX, C.; SPENCER, T.; PALMARINI, M. 2003. Endogenous retroviruses related to jaagsiekte sheep retrovirus. *Current Topics Microbiol. Immunol.* 275:17-137.
  17. DEMMERS, K.J.; DERECKA, K.; FLINT, A. 2001. Trophoblast interferon and pregnancy. *Reproduction.* 121(1):41-49.
  18. EALY, A.D.; GREEN, J.A.; ALEXENKO, A.P.; KEISLER, D.H.; ROBERTS, R.M. 1998. Different ovine interferon-tau genes are not expressed identically and their protein products display different activities. *Biol. of Reprod.* 58(2):566-573.

19. EZASHI, T.; EALY A.D.; OSTROWSKI, M.C.; ROBERTS, R.M. 1998. Control of interferon-tau gene expression by Ets-2. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 795(14):7882-7887.
20. FARINA, M.G.; BILLI, S.; LEGUIZAMÓN, G.; WEISSMANN, C.; GUADAGNOLI, T.; RIBEIRO, M.L.; FRANCHI, A.M. 2007. Secretory and cytosolic phospholipase A2 activities and expression are regulated by oxytocin and estradiol during labor. *Reproduction*. 2:355-364.
21. FORTIER, M.A.; GUILBAULT, L.A.; GRASSO, F. 1988. Specific properties of epithelial and stromal cells from the endometrium of cows. *J. Reprod. Fertil*. 1:239-248.
22. GEORGE, M.; LAMMING, G.E. 2001. Relationship between maternal endocrine environment, early embryo development and inhibition of the luteolytic mechanism in cow. *J. Reprod. Fertil*. 121:175-180.
23. GÓMEZ, E.L.; BLANCO, M.; DOMÉNECH, A. 2007. *Manual de Inmunología Veterinaria*. Pearson Educación S.A. España. 728p.
24. GÜZELOĞLU, A.; BINELLI, M.; BADINGA, L.; HANSEN, T.R.; THATCHER, W. 2004a. Inhibition of phorbol ester-induced PGF<sub>2</sub>α secretion by IFN-tau is not through regulation of protein kinase C. *Prostaglandins Other Lipid Mediat*. 74(1-4):87-99.
25. GÜZELOĞLU, A.; SUBRAMANIAM, P.; MICHEL, F.; THATCHER, W. 2004b. Interferon-tau induces degradation of prostaglandin H synthase-2 messenger RNA in bovine endometrial cells through a transcription-dependent mechanism. *Biol. of Reprod*. 71(1):170-176.
26. HASHIZUME, K.; SHIMADA, A.; NAKANO, H.; TAKAHASHI, T. 2006. Bovine trophoblast cell culture systems: a technique to culture bovine trophoblast cells without feeder cells. *Methods Mol. Med*. 121:179-188.
27. IMAKAWA, K.; HELMER, S.D.; NEPHEW, K.P.; MEKA, C.S.; CHRISTENSON, R.K. 1993. A novel role for GM-CSF: enhancement of pregnancy specific interferon production, ovine trophoblast protein-1. *Endocrinology*. 132(4):1869-1871.
28. IMAKAWA, K.; TAMURA, W.; MCGUIRE, J.; KHAN, S.L.; HARBISON, A.J.; STANGA, P.S.; HELMER, D.R.; CHRISTENSON, R.K. 1995. Effect of Interleukin-3 on ovine trophoblast interferon during early conceptus. *Develop. Endocrin*. 3(7):511-517.
29. JEAN, M.F.; OMAR, C.; ERDOGAN, M. 2008. Culture systems for bovine embryos, Laboratory of Animal Functional Genomics. Dept. Animal and Dairy Science. *Livestock Science*. 121:141-149.
30. JO-ANN, G.; FLEMING, W.; YOUNGSOK, C.; GREG, A.J.; SPENCER, T.E.; BAZER, F.W. 2001. Cloning of ovine estrogen receptor-alpha promoter and functional regulation by ovine interferon tau. *Endocrinology*. 142:2879-2887.
31. KIM, S.; CHOI, Y.; SPENCER, T.; BAZER, F.W. 2003. Effects of the estrous cycle, pregnancy and interferon tau on expression of cyclooxygenase two (COX-2) in ovine endometrium. *Reprod. Biol. Endocrinology*. 20:1-58.
32. MARK, G.P.; LEE, S.D.; TINA, P.E.; KOJI, K.; CLIFTON, M.N.; JIM, W.E.; MONTY, K.S.; JONATHAN, G.A.; DUANE, K.H.; MICHAEL, R.R. 2008. Nutritional skewing of conceptus sex in sheep: effects of maternal diet enriched in rumen-protected polyunsaturated fatty acids (PUFA). *Reprod. Biol. Endocrinol*. 6:1-11.
33. OLIVERA, A.M.; TARAZONA, M.A.; RÚÍZ, C.T.; GIRALDO, E.C. 2007. Modelo de luteólisis bovina. *Rev. Col. Ciencias Pecuarias*. 20:387-393.
34. OKUDA, K.; KASAHARA, Y.; MURAKAMI, S.; TAKAHASHI, H.; WOCLAWEK-POTOCKA, I.; SKARZYNSKI, D.J. 2004. Interferon-tau blocks the stimulatory effect of tumor necrosis factor-alpha on prostaglandin F<sub>2</sub>α synthesis by bovine endometrial stromal cells. *Biol. Reprod*. 1:191-197.
35. PARENT, J.; VILLENEUVE, C.; ALEXENKO, A.P.; EALY, A.D.; FORTIER, M.A. 2003a. Influence of

- different isoforms of recombinant trophoblastic interferons on prostaglandin production in cultured bovine endometrial cells. *Biol. of Reprod.* 68(3):1035-1043.
36. PARENT, J.; VILLENEUVE, C.; FORTIER, M.A. 2003b. Evaluation of the contribution of cyclooxygenase 1 and cyclooxygenase 2 to the production of PGE2 and PGF2 alpha in epithelial cells from bovine endometrium. *Reproduction.* 4:539-547.
37. ROBERTS, R.M. 2007. Interferon-tau, a Type 1 interferon involved in maternal recognition of pregnancy. *Cytokine Growth Factor Rev.* 18(5-6):403-408.
38. ROBERTS, R.M.; YIZHEN, C.; TOSHIHIKO, E.; ANGELA, M.W. 2008. Interferons and the Maternal-conceptus dialog in mammals. Review. *Seminars in Cell y developmental Biology.* 19:170-177.
39. ROBINSON, R.S.; PUSHPAKUMARA, P.G.; CHENG, Z.; PETERS, A.R.; ABAYASEKARA, D.R.; WATHES, D.C. 2002. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *Reproduction.* 1:119-131.
40. RODRÍGUEZ-SALLABERRY, C.; CALDARI-TORRES, C.; GREENE, E.S.; BADINGA, L. 2006. Conjugated linoleic acid reduces phorbol ester-induced prostaglandin F2alpha production by bovine endometrial cells. *J Dairy Sci.* 10:3826-3832.
41. SKARZYNSKI, D.J.; KOBAYASHI, S.; OKUDA, K. 2000a. Influence of nitric oxide and noradrenaline on prostaglandin F(2)(alpha)-induced oxytocin secretion and intracellular calcium mobilization in cultured bovine luteal cells. *Biol. Reprod.* 4:1000-1005.
42. SKARZYNSKI, D.J.; MIYAMOTO, Y.; OKUDA, K. 2000b. Production of prostaglandin f(2alpha) by cultured bovine endometrial cells in response to tumor necrosis factor alpha: cell type specificity and intracellular mechanisms. *Biol. Reprod.* 5:1116-1120.
43. SKARZYNSKI, D.J.; PIOTROWSKA, K.; BAH, M.; KORZEKWA, A.; WOCLAWEK-POTOCKA, I.; SAWAI, K.; OKUDA, K. 2008. Effects of exogenous tumour necrosis factor-alpha on the secretory function of the bovine reproductive tract depend on tumour necrosis factor-alpha concentrations. *Reprod. Domest. Anim.* 44(3):371-379.
44. SPENCER, T.E.; BAZER, F.W. 1996. Ovine interferon tau suppresses transcription of the estrogen receptor and oxytocin receptor genes in the ovine endometrium. *Endocrinology.* 3:1144-1147.
45. SPENCER, T.E.; BECKER, W.C.; GEORGE, P.; MIRANDO, M.A.; OGLE, T.F.; BAZER, F.W. 1995. Ovine interferon-tau regulates expression of endometrial receptors for estrogen and oxytocin but not progesterone. *Biol. Reprod.* 3:732-745.
46. SPENCER, T.E.; BURGHARDT, R.C.; JOHNSON, G.A.; BAZER, F.W. 2004. Conceptus signals for establishment and maintenance of pregnancy. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83:537-550.
47. THATCHER, W.W.; STAPLES, C.R.; DANET, D.G.; OLDICK, B.; SCHMITT, E.P. 1994. Embryo health and mortality in sheep and cattle. *J. Anim. Sci.* 72:16-30.
48. TITHOF, P.K.; ROBERTS, M.P.; GUAN, W.; ELGAYYAR, M.; GODKIN, J.D. 2007. Distinct phospholipase A2 enzymes regulate prostaglandin E2 and F2 alfa production by bovine endometrial epithelial cells. *Reprod. Biol. Endocrinology.* 5:5-16.
49. WALKER, A.M.; KIMURA, K.; ROBERTS, R.M. 2009. Expression of bovine interferon-tau variants according to sex and age of conceptuses. *Theriogenology.* 72(1):44-53.
50. WEEMS, W.; WEEMS, Y.S.; RANDEL, R.D. 2006. Prostaglandins and reproduction in female farm animals. *The Vet. J.* 171:206-228.
51. WOCLAWEK, P.I.; DEPTULA, K.; BAH, M.M.; LEE, H.Y.; OKUDA, K.; SKARZYNSKI, D.J. 2004. Effects of nitric oxide and tumor necrosis factor-alpha on production of prostaglandin F2alpha and E2 in bovine endometrial cells. *J. Reprod. Dev.* 50(3):333-340.

52. YAMAGUCHI, H.; NAGAOKA, K.; MATSUDA, F.; XU, M.; CHRISTENSO, R.; IMAKAWA, K.; SAKI, S. 2001. Regulation of interferon tau gene expression and the maternal recognition of pregnancy. *J. Reprod. Dev.* 47(2):69-82.

Recibido: Agosto 14 de 2009  
Aceptado: Febrero 26 de 2010



# ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LOS CABALLOS BASADO EN EL EXAMEN DENTARIO

## ESTIMATION OF HORSE AGE BASED ON DENTAL EXAM

José A. Cardona Á.<sup>1</sup>, Jaime Álvarez P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MVZ, Esp, M.Sc. Profesor Asociado. Área de Clínica Medico-Quirúrgica de Grandes Animales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba. Montería (Córdoba). cardonalvarez@hotmail.com. <sup>2</sup> MVZ, Esp, M.Sc. Profesor Asociado. Área de Morfofisiología. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba. Montería (Córdoba).

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 29-39, 2010

### RESUMEN

La estimación de la edad de los caballos basado en el examen de los dientes es una labor poco aplicada y limitada por los Médicos Veterinarios, quizás por desconocimiento de los parámetros establecidos en la cronología dentaria equina. Sin embargo, es la forma más adecuada de conocer o verificar la edad de los caballos, aunque tengan o no registros establecidos. En el presente trabajo, se hace una revisión de aspectos relevantes en la dentadura de los equinos, con el fin de conocer y determinar la edad de los ejemplares examinados. Se describe, en forma detallada la estructura del diente, los tipos de dientes, la formula dentaria de los caballos y su evolución en el tiempo, con base en los eventos encontrados.

Palabras clave: Cronología, dientes, equinos

### SUMMARY

Estimation of horse age based on the teeth exam is a work seldom applied and limited by the Medical Veterinaries, due perhaps to ignorance of the established parameters in the equine dental chronology. However, it is the best-suited form to know or to verify the horse's age, although they have or not established records. In the present work a revision of relevant aspects in the denture of the specimens in order to know and to establish the horses age is made. A detailed description of the tooth

structure is realized, as well as of the dental formula and its evolution in time.

Key words: Chronology, dents, equine.

### INTRODUCCIÓN

Conocer la edad de los caballos tiene importancia desde el punto de vista clínico y zootécnico. En términos económicos, el valor de un caballo puede estar influenciado por su edad. A través de la observación externa del equino, examinamos sus características generales, su tamaño, su contextura, su temperamento y la presencia de canas, aspectos importantes que se deben tener en cuenta, convirtiéndose, sin embargo, en un método inexacto y subjetivo, debido a que muchos caballos con problemas de salud muestran una edad diferente a la real. Por otra parte, la edad del ejemplar orienta hacia cuáles pueden ser los cuidados que necesita, dependiendo de la etapa en que se encuentre. Los dientes son órganos de consistencia dura, por lo que son bastante resistentes al paso del tiempo, adquiriendo mucha importancia para determinar la edad, con la evaluación de los incisivos presentes, su erupción, su desgaste, su rasamiento y la forma que toma la superficie oclusal o tabla dentaria. En la actualidad, existen métodos sofisticados de identificación y de registro de los animales, por lo que se podría pensar que la estimación de la edad por la dentadura es obsoleta y de poca aplicabilidad; sin embargo, en ausencia de

registros, dudas o fraudes, este método es la única forma establecida y confiable de determinar la edad en los caballos. Hace muchos años, para determinar la edad, se basaban en métodos empíricos, establecidos por campesinos y vaqueros, quienes utilizaron como parámetro, el número de pliegues que se formaban en el labio y nariz, como el número de años que tenía el animal. De igual forma, los gitanos sabían que, la presencia del colmillo servía para determinar la diferencia entre un caballo joven y uno adulto, así como la desaparición del infundíbulo en la medida que avanzaba la edad, aun que en forma imprecisa e inexacta.

Por experiencias adquirida en el servicio Clínico Ambulatorio de Grandes Animales de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de Córdoba, se constató la importancia de determinar la edad de los equinos, basado en su examen dentario. Esto a raíz de que en la mayoría de las explotaciones agropecuarias, no se cuenta con datos o registros que indiquen la edad de sus animales; solo se dispone de la apreciación de los propietarios o de sus manejadores, por lo que para efectos de determinar la edad e incluirla en la historia clínica, se utilizó, como herramienta el análisis de la dentadura aquí descrita y detallada.

Proveer información que sirva como guía a estudiantes y docentes para analizar la dentadura de los caballos, de esta manera poder determinar su edad en forma exacta y precisa en animales durante las prácticas de campo, en exposiciones caninas y en el ejercicio profesional, fueron los objetivos básicos de la presente revisión.

## METODOLOGÍA

Se recopilaron y analizaron datos de literatura científica publicados en revistas indexadas de Estados Unidos, México, España, Brasil, y Argentina, unidos al análisis de datos obtenidos a través de la experiencia en el ejercicio profesional y académico en animales del trópico bajo, el cual posee condiciones ambientales y de manejo diferentes a aquellas donde se desarrollaron los estudios consultados.

## ESTRUCTURAS DEL DIENTE

Los dientes son estructuras papilares duras, intensamente calcificadas, sujetas al maxilar superior e inferior; funcionalmente, son órganos de presión y masticación,

así como instrumento de defensa (Scoggins, 2001; Rucker, 2003). En su conformación, cada diente consta de tres partes la corona, el cuello y la raíz. La corona, es la porción que sobresale de la encía (corona clínica) o aquella parte cubierta por el esmalte (corona dental) y puede tener forma triangular o cilíndrica. El cuello, es el segmento de transición entre la corona y la raíz, siendo esta última, la parte del diente alojada en el alveolo mandibular, donde su extremidad inferior presenta una abertura denominada foramen apical o ápex, por donde pasan los vasos y nervios (Kilic *et al.* 1997a; Tremaine, 1997; Bennett, 2001; Dixon, 2002a; Mitchell *et al.* 2003).

El diente está constituido de sustancias duras, el esmalte, el cemento, el marfil o dentina y de sustancias blandas, la pulpa dentaria y el periodonto. El **esmalte** constituye una capa de grosor variable, que cubre la dentina de la corona de los dientes; se distingue por su limpieza, su densidad y su blancura y posee un alto porcentaje de minerales tipo fosfatos y fluoruro de calcio. El **cemento** es una sustancia similar a la del hueso compacto, la más externa que recubre la raíz del diente, constituyéndose en una capa incrustada sobre la dentina de las raíces, en todos los dientes. El **marfil o dentina** es un tejido óseo duro, blanco amarillento producido por los odontoblastos, llamada también sustancia fundamental, ya que es la parte principal del diente; forma parte de la corona y de la raíz, cubriendo la superficie de la pulpa dentaria. Se diferencia, químicamente del hueso, por ser más mineralizada y presentar menor cantidad de sustancia orgánica y carbonato de calcio. La **pulpa dentaria** es una especie de papila que surge del fondo del alvéolo, para alojarse en el cornete dentario interno, formado por tejido conjuntivo, rica en vasos y nervios. El **periodonto** es una membrana fibrosa, que sirve de unión entre la cara externa de la raíz y la pared del alveolo (Easley, 1996; Foster, 1996; Kirkland *et al.* 1996; Kilic *et al.* 1997b; Lowder & Mueller, 1998; Jones, 2005).

## TIPOS DE DIENTES

Los equinos son clasificados como heterodontes, según su dentadura, debido a que poseen diferentes tipos o grupos de dientes, tales como incisivos, caninos, premolares y molares; también son catalogados como difiodontos, por poseer dos series de dientes, los temporales y los permanentes. Los dientes temporales, también llamados de leche, caducos o deciduos,

aparecen en las primeras etapas de la vida y después serán reemplazados. Los dientes permanentes o de hueso, de adultos o definitivos, son los que permanecen en el animal por el resto de su vida (Sandoval, 1976; Agüera & Sandoval, 1999; König & Liebig, 2005).

Los equinos poseen cuatro tipos de dientes, que de acuerdo a su forma y su posición, se pueden clasificar en **incisivos (I)**, situados delante e implantados en el premaxilar y en la mandíbula y su principal función es la de cortar el pasto. En la tabla dentaria de los incisivos, se observa una cavidad o invaginación del esmalte con más de 1 cm de profundidad, llamada cavidad dentaria externa, infundíbulo o corneto; los incisivos más centrales se denominan pinzas o palas. Los siguientes, hacia el interior, son los medios o medianos y los más externos, se denominan cuñas, cantos o extremos. Los **caninos (C)** están situados más atrás y su principal función es la de desgarrar los alimentos; sólo aparecen en la dentición definitiva. El espacio que existe entre los caninos y los premolares, se denomina barra o diastema, siendo particularmente grande cuando los caninos están ausentes. Los **premolares (PM)** y **molares (M)**, constituyen los lados del arco dental; los premolares se hallan primero y aparecen en ambas series dentales, mientras que los molares surgen solo en la dentición de hueso y sirven para triturar el nutrimento (Getty, 1966; Dyce *et al.* 1991; Caldeira *et al.* 2002; Dixon, 2002b).

Para diferenciar los dientes de leche de las hueso, y por consiguiente estimar la edad del ejemplar, se debe tener en mente que los dientes incisivos de leche son más blancos, más largos que anchos, ocupan menor volumen, su superficie oclusal es más ovalada, son lisos, no presentan surcos en la cara labial, tienen un cuello definido y bien marcado en la unión con la encía y tiene el infundíbulo menos profundo. Los dientes incisivos de hueso se contrastan por ser pigmentados de color amarillo a marrón; son más largos que anchos o rectangulares, de mayor volumen y presentan surcos en la cara labial (Richardson *et al.* 1994; Richardson *et al.* 1995; Richardson, 1997; Fraústo da Silva *et al.* 2003).

## FÓRMULA DENTARIA

Cuando se habla de fórmula dentaria, se refiere a la manera de expresar el número de dientes que posee un animal, en forma de quebrados, indicando, en la parte superior, el número de cada tipo de diente en el

maxilar y, en el quebrado inferior, la cantidad de dientes en la mandíbula, pero solo de una mitad de la boca; para conocer el número total de dientes es necesario multiplicar los datos por dos. Esta fórmula varía con la edad, es desigual en los dientes de leche y en los permanentes (Frape, 1992; Marvin, 1992; Morales, 1997; Gieche, 2007).

La fórmula dentaria de los equinos depende de la edad y del sexo y, es:

Primera dentición, dientes deciduos, de leche o temporales:  $2 (I \frac{3}{3}, C \frac{0}{0}, PM \frac{3}{3}) = 24$  dientes, para ambos sexos.

Segunda dentición, permanentes, de hueso o definitivos: machos:  $2 (I \frac{3}{3}, C \frac{1}{1}, PM \frac{3-4}{3-4}, M \frac{3}{3}) = 40-44$  dientes; hembras:  $2 (I \frac{3}{3}, C \frac{0}{0}, PM \frac{3-4}{3-4}, M \frac{3}{3}) = 36-44$  dientes.

La diferencia entre machos y hembras se debe a que en las yeguas los caninos, generalmente, están ausentes. La variabilidad en el número de premolares es causado, por que en algunos caballos se encuentra, en forma irregular, un vestigio del primer premolar, también llamado “diente de lobo”; este diente puede existir en ambas arcadas, pero es más frecuente en la arcada superior, siendo más pequeño que los demás y con raíces cortas (Scrutchfield *et al.* 1996; Scrutchfield, 2006; Toit, 2006a; Pimentel, 2007).

## BASES GENERALES DE LA CRONOLOGÍA DENTARIA EQUINA

En la medida que el caballo envejece, la valoración de su dentición y, por ende de su edad, implica numerosos criterios; la estimación, se convierte en un proceso complejo, por lo que en algunos animales, se podrá tasar en forma más precisa que en otros. La determinación de la edad es más confiable en caballos jóvenes, ya que, inicialmente, se observa el tipo de diente presente y la valoración de la etapa de erupción, mientras que los dientes permanentes están en función de la estimación de su desgaste y la determinación de la edad depende, específicamente, de los cambios en la superficie oclusal o tabla dentaria, ya sea por su rasamiento o por la manera que toman con el desgaste, por lo que, a mayor edad, la exactitud de la estimación decrece. Esto, se debe a que las tasas de desgastes son variables y son influenciadas por numerosos factores como, raza, desvíos de

comportamiento (pica o malacia), actividad, época del año, alteraciones en la conformación ósea (picudos) y tipo de alimento o suplemento, ya que los caballos que pastan en pastos secos o toscos presentan una tasa de desgaste mayor que los que pastan en potreros con pasto tierno y jugoso (Richardson, 1997). Es por esto que, en las condiciones de bosque húmedo tropical, como la costa norte colombiana, existen variaciones ambientales que ocasionan cambios en las condiciones nutricionales y físicas del pasto haciéndolo más duro y seco, obligando a que el animal lo mastique por más tiempo, pudiendo generar mayor desgaste, así como patologías bucales como las aristas dentarias (puntas de muela), hiperplasia del paladar (palatitis o haba) que pueden de alguna manera influir en la evolución dentaria de los caballos.

Para poder estimar la edad de los caballos por su dentadura es preciso conocer, en detalle los conceptos básicos de la cronología dentaria equina y saber manejar apropiadamente a los animales en el proceso de evaluación.

Método para abrir la boca. Para evaluar la boca del equino, se procede a abrirla a través del reflejo palatomaxilar, que consiste en introducir el dedo por detrás del colmillo superior y tocar con suavidad el paladar superior; inmediatamente, el animal dobla la lengua y baja la mandíbula inferior abriendo la boca. Para evaluar mejor los dientes y la cavidad oral es conveniente agarrar y sacar por un lado su lengua (Taylor & Hillyer, 1999).

Erupción de los dientes incisivos. Nacen en forma secuencial desde las pinzas; luego, los medios y, por último, los extremos. En los incisivos de leche, las pinzas nacen durante la primera semana de vida, los medios entre las 4 y 6 semanas y los extremos entre los 5 y 6 meses de edad y a los 9 meses deben estar todos parejos (Easley, 2008).

Muda de los dientes incisivos. Es el mecanismo de reemplazo de los dientes de leche o temporales por los dientes de hueso o permanentes. Esta etapa inicia a los 2,5 años y termina a los cinco años. Inicia con los incisivos inferiores: primero las pinzas, luego los medios y, por último, los extremos (Toit, 2006b). A los 4,5 años emergen en el macho los colmillos y están completamente desarrollados a los cinco años,

coincidiendo esta etapa con la muda de los extremos. Cuando ha mudado todos sus incisivos, se dice que el caballo tiene la boca hecha o de hueso (Caldwell, 2006; Linkous, 2006).

Rasamiento. Es considerado como el inicio del desgaste de la cara oclusal del diente; cuando el desgaste es total, se estima que el diente, a nivel del esmalte central, está nivelado (Real, 1990; Richardson *et al.* 1994).

Estrella dentaria. También llamada estrella de Girard y se presenta en la medida que el desgaste llega a la cavidad pulpar, apareciendo una nueva capa de dentina. Es de color amarillo pardo y aparece en la superficie oclusal, en el lado de la cara labial y, finalmente, se ubica en el centro; al principio es lineal, luego, se forma ovalada y, por último, circular, reflejando el grado de desgaste de los dientes. Aparece secuencialmente en las pinzas a los cinco años, en los medios, a los seis años, y en los extremos, a los siete a ocho años (Muyllé *et al.* 2002; Klugh, 2006).

Cola de alondra. Conocida como golondrina, gavilán o gancho del extremo superior y se forma en el borde caudal del incisivo superior extremo, en forma de gancho, debido a que el desgaste de esa parte del diente es lento. Cuando los incisivos superiores adquieren su posición oblicua con los inferiores, el extremo en el que se ha formado el gancho vuelve a contactar con el diente opuesto y el gancho desaparece, se habla de la presentación de dos colas de alondras en la vida del caballo, donde la primera aparece a los siete años y la segunda a los once o doce años (Fraústo da Silva *et al.* 2003).

Surco de Galvayne. Es un surco visiblemente manchado y se observa en la cara labial de los incisivos extremos superiores, en caballos de 10 a 20 años (Richardson, 1997).

Cambios en la forma de las superficies oclusales. Con el aumento del desgaste, que es proporcional a la edad, la tabla dentaria cambia de forma, de elíptica a redonda, luego a triangular y, por último, a oval o biangular (Habel, 1988; Fraústo da Silva *et al.* 2003).

Vista de perfil de la arcada dentaria. Como consecuencia de la forma y desgaste de los incisivos, la vista de perfil de la oclusión de las arcadas dentarias se altera y se torna

angulada, haciéndose cada vez más al avanzar la edad del caballo. El ángulo, se torna más agudo a partir de los diez años (Rucker, 1996; 2004; 2006).

En el formato 1, se registran las características dentales, arriba detalladas, lo cual permitirá al Médico Veterinario, estimar de manera concreta la edad del ejemplar que entra a la clínica. Conocer la edad real del paciente, se considera vital para cualquier tratamiento que éste pueda requerir.

## SECUENCIA DE LOS EVENTOS EN LA CRONOLOGÍA DENTARIA

Es importante tener en cuenta que para estimar la edad de los caballos, a través de la evaluación de sus dientes, se debe iniciar el proceso analizando, en forma lógica, la evolución de los eventos, en el tiempo.

Son siete momentos que se dan en la dentadura de los equinos con el correr del tiempo, por lo tanto, en la

Formato 1. Registro dentario en equinos

| 1. Datos Generales del Animal:   |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Fecha:   | Nombre:   | Registro N°:   |   |
| Raza:  | Sexo: M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>                   | Alojamiento: Pesebrera <input type="checkbox"/> Potrero <input type="checkbox"/>                               |   |
| Tipo de Alimento: Heno <input type="checkbox"/> Pasto tierno <input type="checkbox"/> Pellets <input type="checkbox"/> |   | Concentrado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>   |   |
| 2. Alteraciones Dentarias:   |   |  |   |
| Oclusión: Normal <input type="checkbox"/> Braquignatismo <input type="checkbox"/> Pronatismo <input type="checkbox"/>  |   | Mordida: Normal <input type="checkbox"/> Diagonal <input type="checkbox"/> En sonrisa <input type="checkbox"/> |   |
| Puntas de muela: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>   |   | Rampa: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>   |   |
| Caries dental: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>   |   | Sarro: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>   |   |
| Dientes deciduos retenidos: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>                                    |   | Fracturas dentarias: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>                                   |   |
| Diastema en incisivos:<br>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>                                      |   | Lesiones linguales:<br>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>                                 |   |
|  |   | Lesiones bucales:<br>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>                                   |   |
| 3. Etapas Evolutivas Dentarias:  |   |  |   |
|  | Pinzas  | Medios   | Extremos  |
| 1. Erupción - Dientes de leche   |   |  |   |
| 2. Rasamiento - Dientes de leche   |   |  |   |
| 3. Muda - Dientes de leche a hueso   |   |  |   |
| Colmillos en el macho  | Erupción: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>             |  | Crecidos: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>             |
| 4. Rasamiento - Dientes de hueso   |   |  |   |
| Cola de alondra o gavilán  | 1 <sup>ra</sup> cola: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> |  | 2 <sup>da</sup> cola: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> |
| 5. Forma redonda – tabla dentaria  |   |  |   |
| 6. Forma triangular – tabla dentaria   |   |  |   |
| 7. Forma biangular – tabla dentaria  |   |  |   |
| EDAD:  |   |  |   |
| Observaciones:   |   |  |   |

medida que el caballo se hace viejo, va avanzando en las etapas de su dentadura. Todas las fases dentales ocurren en orden secuencial y siempre inicia con los dientes incisivos centrales o pinzas, luego, en los medios y, por último, en los extremos o cuñas. Las etapas que se dan en forma secuencial en la dentadura del caballo son: nacimiento de los dientes temporales (leche), rasamiento de los dientes temporales (leche), muda de los dientes temporales (leche) a permanentes (hueso), rasamiento de los dientes permanentes (hueso), cambio en la forma de la tabla dentaria, que comienza con forma redonda, posteriormente triangular y, al final biangular (Muyllé, 2002) (Cuadro 1).

**Primera etapa.** Consiste en la erupción de los dientes deciduos o de leche, donde emergen las pinzas en la

primera semana; luego nacen los medios, entre 30 a 60 días y, finalmente los extremos, a los seis meses. A los nueve meses se encuentran todos los dientes parejos o nivelados con la arcada dentaria (Scrutchfield, 1991; Peña & Herrador, 1991) (Cuadro 2).

**Segunda etapa.** Es el rasamiento de los dientes de leche, e inician con las pinzas al año, luego, los medios al 1,5 años y los extremos, por último, a los dos años (Fraústo da Silva *et al.* 2003) (Cuadro 3).

**Tercera etapa.** Se da la muda de dientes temporales o de leche a dientes permanentes o de hueso. Esta etapa inicia con la muda de los dientes incisivos centrales o pinzas a los 2,5 años y están crecidos o nivelados con la arcada dentaria a los tres años; posteriormente mudan

Cuadro 1. Etapas evolutivas en la cronología dentaria equina.

| Etapas evolutivas                  | P   | M            | E            |
|------------------------------------|---|--------------|--------------|
| 1. Erupción - Dientes de leche     | 1 <sup>ra</sup> semana                          | 1 - 2 meses  | 5 - 6 meses  |
| 2. Rasamiento - Dientes de leche   | 1 año   | 1,5 años     | 2 años       |
| 3. Muda - Dientes de leche a hueso | 2,5 - 3 años                                    | 3,5 - 4 años | 4,5 - 5 años |
| Colmillos en el macho              | Nacen a los 4,5 años y crecidos a los 5 años    |              |              |
| 4. Rasamiento - Dientes de hueso   | 6 años  | 7 años       | 8 años       |
| Cola de alondra                    | Se forma a los 7/11 años en extremos superiores |              |              |
| 5. Cambio forma: Forma redonda     | 9 años  | 10 años      | 11 años      |
| 6. Forma triangular                | 12 años   | 14 años      | 17 años      |
| 7. Forma biangular                 | 19 años   | 20 años      | 24 años      |

Adaptado según Peña & Herrador, 1991; Richardson, 1997; Tremaine, 1997; Martin, 1999; Fraústo da Silva *et al.* 2003; Linkous, 2006; Toit, 2006a.

Cuadro 2. Erupción y muda de los dientes incisivos en el caballo.

| Incisivos de leche |                       | Incisivos de hueso |                 |
|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
|                    | Erupción              | Erupción           | Nivel de arcada |
| Pinzas             | 1 <sup>a</sup> semana | 2,5 años           | 3,0 años        |
| Medios             | 1 – 2 meses           | 3,5 años           | 4,0 años        |
| Extremos           | 5 – 6 meses           | 4,5 años           | 5,0 años        |

Adaptado según Richardson, 1997; Tremaine, 1997; Linkous, 2006; Toit, 2006a.

Cuadro 3. Rasamiento de los incisivos de leche y de hueso en el equino.

| Rasamiento de los incisivos en el equino |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|
|  | Incisivos de leche | Incisivos de hueso |
| Pinzas                                   | 1,0 año            | 6,0 años           |
| Medios                                   | 1,5 años           | 7,0 años           |
| Extremos                                 | 2,0 años           | 8,0 años           |

Adaptado según Richardson, 1997; Fraústo da Silva *et al.* 2003.

los medios a los 3,5 años y se nivelan a los cuatro y, al final, mudan los extremos a los 4,5 años y se nivelan a los cinco. La muda de los extremos coincide con la erupción de los colmillos en el macho, emergen a los 4,5 y están desarrollados a los cinco años. Después de ésta etapa, el caballo posee toda su dentadura de hueso o permanente y se dice que tiene la “Boca hecha” (Baker, 1991; Villanueva-Salcedo, 2001) (Cuadro 2).

**Cuarta etapa.** Se inicia el rasamiento de los dientes permanentes o de hueso; esta etapa inicia con el rasamiento de las pinzas a los seis años; luego rasan los medios a los siete y, por último, los extremos a los ocho años. A los siete años, se forma la primera cola de alondra o gavilán, que consiste en la formación de

un gancho en los extremos superiores (Baker, 1991) (Cuadro 3). La estrella dentaria aparece a los siete años en las pinzas, luego, en los medios a los ocho años y, finalmente, en los extremos, a los nueve años (Martin, 1999; Walmsley, 1993) (Cuadro 4).

**Quinta etapa.** Consiste en el cambio de forma que toma la cara oclusal o tabla dentaria de los incisivos superiores e inicia cambiando a forma redonda por las pinzas a los nueve años; luego, los medios a los diez años y, por último, los extremos, a los once años. A los diez años aparece una mancha café en el extremo superior, el surco de Galvayne y desaparece a los 20 años. A los once años, se forma la segunda cola de alondra en los extremos superiores (Walmsley, 1993) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Aparición de la estrella dentaria y del surco de Galvayne en los incisivos del equino.

|          | Estrella dentaria | Surco de Galvayne    |
|----------|-------------------|----------------------|
| Pinzas   | 7,0 años          | -                    |
| Medios   | 8,0 años          | -                    |
| Extremos | 9,0 años          | > 10 años y <20 años |

Adaptado según Richardson, 1997; Fraústo da Silva *et al.* 2003.

Cuadro 5. Forma que toma la tabla dentaria en los incisivos del caballo.

|          | Forma redonda | Forma triangular | Forma oval |
|----------|---------------|------------------|------------|
| Pinzas   | 9 años        | 13 años          | > 19       |
| Medios   | 10 años       | 14 años          | > 20       |
| Extremos | 11 años       | 17 años          | > 24       |

Adaptado según Martin, 1999; Fraústo da Silva *et al.* 2003.

**Sexta etapa.** Consiste en la forma triangular que toma la cara oclusal y que inicia con las pinzas a los 13 años; luego, los medios a los 14 años y, finalmente, los extremos a los 17 años (Peña & Herrador, 1991) (Cuadro 5).

**Séptima etapa.** Se cambia a forma biangular u oval y comienza con las pinzas a los 19 años, los medios a los 20 y los extremos a los 24 años; sin embargo cabe anotar que, a esta edad, muchos equinos han perdido su dentadura (Martin, 1999) (Cuadro 5).

**Análisis lógico.** Al tratar de establecer la edad del caballo, se debe determinar qué dientes incisivos tiene; luego, si éstos son deciduos, permanentes o de ambos, se analiza las características típicas de cada tipo de hueso; si posee todos sus dientes de hueso, se procede a determinar su rasamiento y, por último, la forma de la tabla dentaria. Este procedimiento debe ser pausado y minucioso para no cometer errores. Por ejemplo, si un equino presenta todos sus incisivos y sólo tiene las pinzas de hueso crecidas y los demás incisivos son de leche, entonces, el caballo tiene 3,0 años, ya que a los 2,5 se mudan las pinzas y están crecidas a los 3,0 años; pero si tuviese las pinzas y medios de hueso ya crecidos y erupcionando los extremos de hueso, indicaría que tiene 4,5 años y coincidiría con la erupción de los colmillos en el macho. Ahora, en un caballo con toda su dentadura de hueso (boca hecha), se determina cuáles de los incisivos están rasando y si se percibe que solo están rasando las pinzas, entonces, tiene seis años. Si, se precisa que ya todos los incisivos de hueso rasán, entonces, se procede a determinar la forma de la tabla dentaria y dependiendo de su forma y qué dientes hacen parte, se concreta la edad; por ejemplo si las pinzas y los medios tienen forma triangular, el caballo tiene 14 años.

Datos obtenidos en el servicio ambulatorio de la Clínica Médico-Quirúrgica de Grandes animales de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Córdoba, indican que aproximadamente el 60% de los equinos examinados (caballos, mulos y burros), no mostraron la edad reportada por sus propietarios, al confrontarla con la edad establecida por su dentadura, existiendo, en la mayoría de los casos (90%), una diferencia de edad, que oscilaba entre seis meses y un año. El grupo etéreo donde se determinó mayor diferencia de edades a las reportadas fue el que se encontraba entre 4,5 años y 8 años, seguida del grupo, entre 9 y 13 años.

Esta variación, se podría explicar por la falta de registros de los equinos de vaquería, nacidos en la explotación o comprados, sin determinar su edad previamente, por esta razón, se apela a los datos informados por su memoria. Cabe anotar que los caballos utilizados en labores de vaquería están en constante descarte y adquisición, de igual forma, los operarios y encargados de los animales pueden ser cambiados, por lo que se pierde la información al no estar depositadas en registros físicos y establecidos en forma técnica. Por otro lado, los animales que se encuentran en potreros poseen una conducta alimentaria diferente a los que se encuentran en pesebreras, lo que podría influenciar en la variación de la edad reportada con la dentaria.

Los casos en los cuales la edad dentaria correspondía con la edad reportada por sus propietarios (40%), fueron aquellos que habían nacido en la explotación y tenían registros o aquellos que fueron reportados ante la Federación Nacional Fedequinas, Federación Nacional que expide el registro del caballo. El grupo etéreo donde se determinó la edad, en forma más acertada a las registradas fue, entre 2,5 y 4,5 años.

Se concluye que la cronología dentaria en equinos es un método bastante preciso hasta los ocho años de edad, ya que se fundamenta, principalmente, en la erupción y el rasamiento de los incisivos de leche, la muda de dientes de leche a dientes de hueso y su rasamiento, así como la erupción de los colmillos en el macho. De igual forma, debido al rasamiento de la tabla dentaria, aparecen la cola de alondra y la estrella dentaria; sin embargo, después de los nueve años, se hace inexacta la estimación de la edad, ya que los cambios que se evalúan en la tabla dentaria pueden estar influenciados por varios factores, como el tipo de alimento y la conducta alimentaria, por lo que es preciso tener en cuenta las características específicas de cada individuo, como anamnesis, raza, sexo, alimentación o suplementación, estabulación o pastoreo.

Este método ha sido de mucho valor técnico en el desempeño de las actividades de la clínica de grandes animales de la Facultad de Medicina Veterinaria, para determinar la edad de los caballos. Principalmente, en aquellos ejemplares que se dedican a labores de vaquería en explotaciones ganaderas, ausentes de registros, expuestos a diferentes condiciones de manejo y alimentación, con condiciones corporales deficientes,



lo que podría hacerlo ver de mayor edad. De allí, es de mucho valor interpretar los cambios que posee en su dentadura y la influencia de factores externos, de esta manera tener datos fehacientes y objetivos sobre la edad real o muy aproximada de los caballos evaluados, evitando de esta manera engaños, fraudes o equivocaciones indeseadas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGÜERA, E.; SANDOVAL, J. 1999. Anatomía Aplicada del Caballo. Ed. Haurcourt (España). p.38-40.
2. BAKER, G. 1991. Dental Morphology, Function, and Pathology. 37th Am. Assoc. Equine Practitioners. Conference Proc. p.83-93.
3. BENNETT, G. 2001. Bits and biting: form and function. Proc. Am. Assoc. Equine Practitioners. 47:130-137.
4. CALDEIRA, R.; FRAÚSTO DA SILVA, M.; GRAVE, J.; ROSA, I.G.; MENDONÇA, H. 2002. Apontamentos de Exognosia. Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Técnica de Lisboa. p.18-20.
5. CALDWELL, L. 2006. Canine Teeth in the Equine Patient - The Guide to Eruption, Extraction, Reduction and Other Things You Need to Know. Am. Assoc. Equine Practitioners. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2006/caldwell1.pdf> (con acceso 12/07/08).
6. DIXON, P. 2002a. Anatomía Dental. En: Baker, G.; Easley, J. eds. Odontología Equina XXI. Ed. Intermédica (Argentina): p.3-30.
7. DIXON, P. 2002b. The gross, histological, and ultrastructural anatomy of equine teeth and their relationship to disease. 48th Am. Assoc. Equine Practitioners Annual Convention. 48:421-437.
8. DYCE, K.; SACK, W.; WENSING, C. 1991. Anatomía Veterinaria. Ed. Panamericana (Argentina): p.123-125.
9. EASLEY, J. 1996. Equine dental development and anatomy. In: In-depth dentistry seminar. Proc. Am. Assoc. Equine Practitioners. 42:1-10.
10. EASLEY, J. 2008. Enfermedades orales y dentales. En: Hinchcliff, K; Kaneps, A; Geor, R; Warrick, B. eds. Medicina y Cirugía en los Equinos de Deporte. Ed. Intermédica (Argentina): p.1205-1215.
11. FOSTER, D. 1996. Nomenclature for equine dental anatomy based on the modified triadan system. 42<sup>nd</sup> Am. Assoc. Equine Practitioners Annual Convention. p.18-319.
12. FRAPE, D. 1992. Nutrición y Alimentación del Caballo. Ed. Acribia (España): p.3.
13. FRAÚSTO DA SILVA, M.; GOMES, T.; DIAS, A.; AQUINO, J.; MENDES, L.; CAVACO, J.; ALEXANDRE, G.; CALDEIRA, R. 2003. Estimativa da idade dos equinos através do exame dentário. Rev. Port. Cienc. Vet. 98(547):103-110.
14. GETTY, R. 1966. Atlas de Anatomía Práctica Veterinaria Aplicada. Ed. UTEHA (Mexico): p.68
15. GIECHE J. 2007. How to Assess Equine Oral Health. 53<sup>rd</sup> Annual Convention Am. Assoc. Equine Practitioners. Orlando, Florida. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/aaep/2007/gieche/chapter.asp> (con acceso 12/07/08).
16. HABEL, R. 1988. Anatomía Aplicada Veterinaria. Ed. Acribia (España): p.8-13.
17. JONES, S. 2005. Enfermedades orales. En: Reed, S.; Bayly, W.; Sellon, D. eds. Medicina Interna Equina. Vol. 2. 2<sup>a</sup> ed. Ed. Intermédica (Argentina): p.937-939.
18. KILIC, S.; DIXON, P.; KEMPSON, S. 1997a. A light microscopic and ultrastructural examination of calcified dental tissues of horses. II ultrastructural enamel finding. Equine Vet. J. 29:198 -205.
19. KILIC, S.; DIXON, P.; KEMPSON, S. 1997b. A light microscopic and ultrastructural examination of calcified dental tissues of horses. III Dentine. Equine Vet. J. 29:206-212.
20. KIRKLAND, K.; BAKER, G.; MANFRA, S.; EURELL, J.; LOSONSKY, J. 1996. Effects of aging on the endodontic system, reserve crown, and roots of

- equine mandibular cheek teeth. *Am. J. Vet. Res.* 57:31-38.
21. KLUGH, D. 2006. Endodontic Considerations of Equine Incisor and Canine Teeth. *Am. Assoc. Equine Practitioners*. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2006/klugh1.pdf> (con acceso 12/07/08).
  22. KONIG, H.; LIEBICH, H. 2005. Aparato Digestivo. En: Konig, H.; Liebich, H. eds. *Anatomía de los Animales Domésticos*. 2ª ed. Ed. Panamericana (España): p.25-30.
  23. LINKOUS, M. 2006. Dental Conditions Affecting the Juvenile Performance Horse (2-5 Years). *Am. Assoc. Equine Practitioners*. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2006/linkous1.pdf> (con acceso 12/07/08).
  24. LOWDER, Q.; MUELLER, E. 1998. Dental embryology, anatomy, development and aging. *Vet. Clin. North Am Equine Pract.* 14(2):227-245.
  25. MARTIN, M. 1999. A Systematic Approach to Estimating the Age of a Horse. *Am. Assoc. Equine Practitioners Annual Convention*. 45:273-275. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/AAEP/1999/273.pdf> (con acceso 12/07/08).
  26. MARVIN, G. 1992. Odontología Equina. En: Robinson, E ed. *Terapéutica Actual en Medicina Equina 2*. Ed. Intermédica (Argentina): p.7.
  27. MITCHELL, S.; MITCHELL, S.; KEMPSON, S.; DIXON, P. 2003. Structure of peripheral cementum of normal. Equine cheek teeth. *J. Vet. Dent.* 20:199-208.
  28. MORALES, F. 1997. *El Caballo*. Ed. Marmor (Colombia): p.356-358.
  29. MUYLLE, S. 2002. Determinación de la Edad. En: Baker, G; Easley, J. eds. *Odontología Equina XXI*. Ed. Intermédica (Argentina). p.39-51.
  30. MUYLLE, S.; SIMOENS, P.; LAUWERS, H. 2002. A study of the ultrastructure and staining characteristics of the 'dental star' of equine incisors. *Equine Vet. J.* 34(3):230 -234.
  31. PEÑA, F.; HERRADOR, P. 1991. Arcadas incisivas y edad en caballos de pura raza española. *Cronología dentaria*. *Arch. Zootec.* 40:181-192.
  32. PIMENTEL, L. 2007. Intraoral extraction techniques in standing horse. *Pesq. Vet. Bras.* 27(Supl.):57-58.
  33. REAL, C. 1990. *Zootecnia Equina*. Ed. Trillas (Mexico). p.35-47.
  34. RICHARDSON, J. 1997. Ageing horses an illustrated guide. *In Practice.* 19(9):486-489.
  35. RICHARDSON, J.; CRIPPS, P.; LANE, J. 1995. An evaluation of the accuracy of ageing horses by their dentition: changes of dental morphology with age. *Vet Rec.* 137:117-121.
  36. RICHARDSON, J.; LANE, J.; WALDRON, K. 1994. Is dentition an accurate indication of age of a horse? *The Vet. Record.* 135(2):31-34.
  37. RUCKER, B. 1996. Incisor Procedures for Field Use. *Am. Assoc. Equine Practitioners Proc.* 42:22-25.
  38. RUCKER, B. 2003. Enfermedades de la cavidad oral y el paladar blando. En: Mair, T.; Divers, T.; Ducharme, N. eds. *Manual de Gastroenterología Equina*. Ed. Intermédica (Argentina): p.81-83.
  39. RUCKER, B. 2004. Incisor and molar occlusion: normal ranges and indications for incisor reduction. 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Denver, Colorado. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/AAEP/2004/Rucker1/chapter.asp?LA=1> (con acceso 14/07/08).
  40. RUCKER, B. 2006. Dental Conditions Affecting the Geriatric Horse. *Am. Assoc. Equine Practitioners*. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2006/rucker1.pdf> (con acceso 14/07/08).

41. SANDOVAL, J. 1976. Anatomía del Caballo. Cabeza y Órganos de los Sentidos. Tomo III. Ed. Acribia (España).p.86-90.
42. SCOGGINS, D. 2001. Bits and biting and dentistry. Proc. Am. Assoc. Equine Practitioners. 47:138-141.
43. SCRUTCHFIELD, W. 1991. Incisors and Canines. Am. Assoc. Equine Practitioners. Disponible desde Internet en: [www.aaep.org/eve/aug\\_01/alexander0801.pdf](http://www.aaep.org/eve/aug_01/alexander0801.pdf) (con acceso 16/07/08).
44. SCRUTCHFIELD, W. 2006. Wolf Teeth: How to Safely and Effectively Extract and Is It Necessary. Am. Assoc. Equine Practitioners. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2006/scrutchfield1.pdf> (con acceso 17/07/08).
45. SCRUTCHFIELD, W.; SCHUMACHER, J.; MARTIN, M. 1996. Correction of Abnormalities of the Cheek Teeth. 42nd Annual Convention Am. Assoc. Equine Practitioners. 42:11-21.
46. TAYLOR, F.; HILLYER, M. 1999. Técnicas Diagnósticas en Medicina Equina. Ed. Acribia (España): p.21.
47. TOIT, N. 2006a. Age Related Changes in Dentition. Am. Assoc. Equine Practitioners. (USA). Disponible en URL: <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2006/dutoit1.pdf> (con acceso 16/07/08).
48. TOIT, N. 2006b. Gross Equine Dentition and Their Supporting Structures. Am. Assoc. Equine Practitioners. Disponible desde Internet en: <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2006/dutoit2.pdf> (con acceso 18/07/08).
49. TREMAINE, H. 1997. Dental care in horses. In Practice. 19(4):186-199.
50. VILLANUEVA-SALCEDO, E. 2001. Atención orodental en el equino de alto rendimiento deportivo. Rev. Sanit. Milit. Mex. 55(3):128-131.
51. WALMSLEY, J. 1993. Some observations on the value of ageing 5–7 year old horses by examination of their incisor teeth. Equine Vet. Educ. 5:295-298.

Recibido: Septiembre 20 de 2008

Aceptado: Marzo 26 de 2010

# PREVALENCIA DE *Cryptosporidium* EN TERNEROS EN EL VALLE DE UBATÉ – CHIQUINQUIRÁ (COLOMBIA)

## PREVALENCE OF *Cryptosporidium* IN CALVES IN THE UBATÉ – CHIQUINQUIRÁ VALLEY (COLOMBIA)

Catalina Avendaño<sup>1</sup>, Joaquín Quílez<sup>2</sup>, Caridad Sánchez-Acedo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Microbióloga Agrícola y Veterinaria, Esp. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No.55-37, Bogotá D.C., Colombia, cavendano@udca.edu.co <sup>2</sup> Médico Veterinario, PhD. Universidad de Zaragoza, España, jqulez@unizar.es <sup>3</sup> Médico Veterinario, PhD. Universidad de Zaragoza, España, csarmfm@unizar.es

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 41-47, 2010

### RESUMEN

Con el objeto de contribuir al conocimiento de la criptosporidiosis, reconocer la prevalencia de *Cryptosporidium* en terneros y asociar la presencia de ooquistes a la consistencia de la materia fecal, se realizó un estudio en el cual, se recolectaron 170 muestras de heces de terneros que tenían entre cinco y 35 días de edad, recogidas en 41 fincas ubicadas en el Valle de Ubaté - Chiquinquirá. Para identificar los ooquistes de *Cryptosporidium*, se empleó la técnica de Heine. El 22% de las muestras fue positivo y en el 44% de las fincas evaluadas había, al menos, un animal infectado. El análisis estadístico mostró una asociación entre la edad y la presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* ( $X^2 15$ ;  $P < 0,01$ ). La mayor prevalencia se halló en los terneros que tenían entre 11 – 15 y 16 – 20 días de nacidos, existiendo diferencias significativas al comparar estos dos grupos de edad frente a los demás grupos. Estadísticamente, no hubo una asociación entre la presencia o ausencia de *Cryptosporidium* y la consistencia de la materia fecal ( $X^2 1,3$ .  $P > 0,25$ ). Al comparar la consistencia de la materia fecal con la intensidad de la infección no se halló una asociación entre tales variables ( $X^2 1,7$ .  $P > 0,42$ ), lo que pone de manifiesto que en el Valle de Ubaté - Chiquinquirá existe un elevado número de terneros infectados asintomáticos. Los resultados obtenidos confirman que la infección por *Cryptosporidium* está ampliamente distribuida en las explotaciones de ganado vacuno, de la zona geográfica de estudio.

Palabras clave: *Cryptosporidium*, criptosporidiosis, terneros, heces, técnica de Heine.

### SUMMARY

To contribute to the knowledge of cryptosporidiosis, recognize the prevalence of *Cryptosporidium* in calves and associate the presence of oocysts to the fecal consistence, a study was executed, collecting 170 samples of fecal material of calves, aged between five and 35 days, within 41 ranches located in the Ubaté-Chiquinquirá valley. In order to identify the *Cryptosporidium* oocysts the Heine technique was employed. Thirty seven (22%) of the 170 calves were positive and 18 (44%) of the 37 ranches showed at least one positive animal. The statistical analysis revealed an association between age and the presence of oocysts ( $X^2 15$ ;  $P < 0.01$ ). The highest prevalence was found in calves between age 11 to 15 and 16 to 20 days, presenting significant differences when comparing these two age groups with the other ones examined. Statistically, no association between the presence or absence of *Cryptosporidium* and the consistence of the fecal material was detected ( $X^2 1.3$ ;  $P > 0.25$ ). When comparing the fecal consistence with the infection intensity, no association was found ( $X^2 1.7$ ;  $P > 0.42$ ), result that confirms the high number of asymptomatic calves in the Ubaté-Chiquinquirá valley. The outcome of this research indicates an ample distribution of *Cryptosporidium* infection in the cattle ranches of the geographic area under survey.

Key words: *Cryptosporidium*, cryptosporidiosis, calves, feces, Heine technique.

## INTRODUCCIÓN

*Cryptosporidium* es un patógeno entérico común en terneros y otras especies de vertebrados (Schmidt & Kuhlenschmidt, 2008). La importancia de este parásito cada vez es más reconocida. En el 2004, la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo identificó como un patógeno descuidado (Chalmers & Davies, 2010).

*Cryptosporidium* spp. pertenecen al phylum Apicomplexa (= Sporozoa), cuyos miembros poseen un complejo apical; clase Sporozoa, que se reproducen por ciclos sexuales y asexuales; subclase Coccidia, el ciclo de vida de ellos involucra merogonia, gametogonia y esporogonia; orden Eucoccidiorida (= Eucoccidiorida), en los que ocurre la esquizogonia; suborden Eimeriina (= Eimeriina), en los cuales, la microgamia y al macrogamia, se desarrollan de manera independiente y familia Cryptosporidiidae, cuyos integrantes tienen cuatro esporozoitos desnudos dentro del ooquiste (Plutzer & Karanis, 2009).

La criptosporidiosis, se transmite mediante la ingestión de ooquistes esporulados, estadios infectantes que son eliminados en grandes cantidades en las heces de los animales y los humanos parasitados, durante la fase aguda de la infección y tienen una gran resistencia a las condiciones ambientales y desinfectantes habituales, manteniéndose infectantes durante periodos prolongados. Esta circunstancia, unida a la baja dosis infectante (10-100 ooquistes), el elevado número de especies animales que actúan como reservorios del parásito y la ausencia de un tratamiento farmacológico eficaz, facilitan la difusión de la enfermedad (Casemore *et al.* 1997).

El principal reservorio es el ganado bovino, específicamente, los terneros, en los que la criptosporidiosis es responsable de una alta tasa de morbilidad neonatal (Broglia *et al.* 2008). *Cryptosporidium* tiene un gran potencial de transmisión, a través del agua de bebida, debido a que los ooquistes pueden penetrar las barreras físicas usadas en el tratamiento de aguas, además de ser resistentes a los desinfectantes usados en este proceso, todo ligado a la baja dosis infectante para los humanos y los animales (Smith *et al.* 2007). La infección en los bovinos

está altamente relacionada con la edad, las mayores prevalencias e intensidad de eliminación de ooquistes ocurren en los terneros jóvenes (Brook *et al.* 2008).

Las enfermedades diarreicas representan uno de los problemas fundamentales de salud en los terneros en el periodo neonatal. *Cryptosporidium* es un parásito reconocido como una de las principales causas de diarreas en terneros de hasta un mes de edad. Aunque la infección es responsable de una alta mortalidad, su impacto se asocia, principalmente, con el daño del intestino y la baja conversión del alimento. Este parásito causa tasas de morbilidad en las fincas, incluso el 100% en animales, de hasta un mes de edad (Klein *et al.* 2008). En las explotaciones ganaderas, la principal fuente de contagio la constituyen los propios animales enfermos, que infectan con sus heces la cama de la explotación. La prevalencia suele ser mayor en explotaciones con un elevado número de animales y determinados factores, como el hacinamiento y las condiciones higiénicas deficientes, que se consideran factores de riesgo. Las anteriores consideraciones justifican que la presentación clínica de la enfermedad esté asociada con la época de partos, observándose un marcado incremento en la incidencia de nuevos casos, al final de la misma, como consecuencia de la contaminación progresiva de la explotación a lo largo de la paridera. Los animales adultos también desempeñan un papel importante en la transmisión, puesto que pueden actuar como portadores asintomáticos que eliminan un reducido número de ooquistes, aunque suficiente para infectar a los animales recién nacidos (Vergara & Quílez, 2004).

Un ternero con diarrea puede excretar  $10^7$  ooquistes por gramo de heces y, así, puede producir billones de ooquistes, durante una a dos semanas donde la infección esta patente (O'Handley, 2007). Los tratamientos para la criptosporidiosis son más paliativos que curativos. El uso de calostro bovino hiperinmune ha demostrado una reducción de los síntomas clínicos de la enfermedad, así como de la reducción de la eliminación de ooquistes, en varias especies animales. De manera interesante, el calostro bovino no inmune también ha mostrado eficacia en personas inmunocomprometidas, lo cual, se puede deber a la presencia de algunos ácidos grasos insaturados (linoleico, oleico), que inhiben la adhesión de los esporozoitos al enterocito (Schmidt & Kuhlenschmidt, 2008).

Por otra parte, la resistencia de los ooquistes a los tratamientos y a los desinfectantes utilizados rutinariamente para potabilizar el agua de bebida ha dado notoriedad a la criptosporidiosis, en los últimos años, como enfermedad de transmisión hídrica, que hoy en día, se considera como uno de los mecanismos de transmisión de la enfermedad al hombre, de mayor interés (Widme *et al.* 1996). De hecho, se han documentado un total de 39 brotes hídricos en el Reino Unido, Estados Unidos, Canadá y Japón (Slifko *et al.* 2000), destacando el ocurrido en la ciudad norteamericana de Milwaukee, en 1993, donde 400.000 personas resultaron afectadas, requiriendo ingreso hospitalario un 10% de ellos y, aproximadamente 100 murieron (Mac Kenzie *et al.* 1994).

La prevalencia de la criptosporidiosis en Sudamérica no se conoce con exactitud, puesto que los estudios epidemiológicos realizados son escasos, aunque el parásito ha sido identificado en todos los países en los que se investigó su presencia, mediante técnicas coprológicas (Vergara *et al.* 2001).

En Colombia, entre junio de 1996 y octubre de 1998, se realizó el primer estudio serológico de *Cryptosporidium* spp. en el cual se encontró una seroprevalencia de 83,3%, indicando que la criptosporidiosis es endémica en el país y representa un importante problema de salud pública (Vergara *et al.* 2000).

Esta investigación buscó contribuir al conocimiento de la criptosporidiosis en Colombia, mediante un estudio epidemiológico en el Valle de Ubaté-Chiquinquirá, a través de la determinación de la prevalencia *Cryptosporidium* en terneros lactantes en explotaciones de ganado vacuno, así como la determinación de la edad de los terneros en que se produce la máxima receptividad a la infección y, adicionalmente, valorar la importancia de *Cryptosporidium*, como agente asociado con diarrea en terneros.

Los Valles de Ubaté - Chiquinquirá están conformados geográficamente por las zonas relativamente bajas (2600msnm, en promedio), de los municipios de Ubaté, Susa, Fúquene, Lenguazaque, Simijaca, Guachetá, Cucunubá y Sutatausa del Departamento de Cundinamarca y Chiquinquirá, San Miguel de Sema, Ráquira y Saboya, del Departamento de Boyacá.

La zona presenta un amplio potencial competitivo para la producción de leche, tanto en el contexto nacional como en el internacional, ya que como señala el Estudio de Competitividad de la Cadena Láctea, citado por Valderama & Tellez (2003), tiene una provechosa ubicación geográfica, con buenas vías de acceso; excelente dotación de recursos naturales, topografía en su mayoría plana; tradición y cultura de la leche; aceptables niveles de calidad de leche; escala de producción competitiva y amplia presencia de empresas acopiadoras y transformadoras. Adicionalmente, la micro-cuenca ofrece una gran dinámica de crecimiento en la producción lechera y de participación en el mercado de Bogotá, ya que, como lo mencionan Valderrama & Tellez (2003), según el Centro de Estudios Agrícolas y Ganaderos CEGA, para 1990, se reportaban 238.080 litros diarios procedentes de la micro-cuenca y, en 1994, 517.973 litros, y de acuerdo a las entrevistas aplicadas en el 2001, se puede estimar que unos 582.000 litros diarios llegan a Bogotá, procedentes de la zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el Valle de Ubaté - Chiquinquirá (Colombia), en un periodo de seis meses, se recolectaron 170 muestras de materia fecal de terneros lactantes entre cinco y 35 días de edad, pertenecientes a 41 explotaciones de ganado lechero. Los terneros fueron separados de la madre a los tres días, luego de haber ingerido calostro y, posteriormente, amarrados a estacas; la dieta suministrada en las fincas fue leche hasta los tres a cuatro meses de edad. Todas las explotaciones estudiadas, se dedicaban a la lechería.

Para alcanzar los objetivos del presente trabajo, se realizó un estudio transversal descriptivo, estimando el tamaño de la muestra, mediante el programa Win Episcopo 2.0, sobre una población total esperada de 31.707 terneros, en el Valle de Ubaté - Chiquinquirá. Se consideró una prevalencia esperada del 50%, cifra recomendada cuando se ignora la prevalencia aproximada (Thursfield, 2007). Tomando como condiciones básicas un intervalo de confianza del 95% y un error del 7,5%, el tamaño de la muestra ascendió a 170 terneros, los cuales, fueron seleccionados al azar entre el total de efectivos de las explotaciones existentes, en la zona geográfica de estudio.

Los ooquistes de *Cryptosporidium*, se identificaron mediante la tinción de Heine (Heine, 1982). La

intensidad de la infección, se estimó empleando el promedio de ooquistes por campo microscópico de 100X, estableciéndose cuatro criterios de evaluación: Negativa, ausencia de ooquistes; leve, 0-6; moderada, 6-10 y grave, > 10 ooquistes).

Para analizar los resultados obtenidos, se elaboraron tablas cruzadas y se estimó la proporción; se calculó el intervalo de confianza del 95% y se realizaron asociaciones, a través del uso de la prueba de  $\chi^2$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Prevalencia de parasitación por *Cryptosporidium* en terneros lactantes

Los ooquistes de *Cryptosporidium* fueron identificados en las heces de 37 terneros de 18 fincas (Figuras 1 y 2). Los resultados obtenidos confirman que la infección por *Cryptosporidium* está ampliamente distribuida en las explotaciones de ganado vacuno de la zona geográfica de estudio. En Colombia, solamente existe un estudio epidemiológico publicado sobre prevalencia de criptosporidiosis bovina (Vergara *et al.* 2001), que fue llevado a cabo mediante técnicas serológicas, lo cual, justifica que la prevalencia detectada por estos autores (53,3%) fuera superior a la observada en el presente trabajo, ya que los niveles de anticuerpos séricos persisten durante varios meses, una vez que la infección ha remitido. Los datos obtenidos concuerdan con los hallazgos registrados por Surumay & Alfaro (2000), en un trabajo realizado en Venezuela donde hallaron una prevalencia del 29,3% en terneros; en Argentina, un estudio similar, reportó una prevalencia del 17% (Del

Coco *et al.* 2008) cifra también cercana a la encontrada en esta investigación.

### Edad de los terneros en que se produce la máxima receptividad a la infección

La distribución de la edad de los animales infectados reveló que el mayor porcentaje de eliminación de ooquistes fue en los terneros que tenían entre 11 y 20 días de edad. El análisis estadístico mostró una asociación entre la edad y la presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* ( $\chi^2 15 P < 0,01$ ). Los terneros ubicados en el grupo de edades de 11-15 y 16-20 días de nacidos fueron los que tuvieron la mayor proporción de *Cryptosporidium*, existiendo diferencias significativas al comparar estos dos grupos de edad frente a los demás grupos. El rango de edad que manifiesta la mayor cantidad de terneros, con una intensidad leve, estuvo dado por los animales que tenían entre 16-20 días de edad y sólo en los terneros de 11-15 días, se observó alguno con una intensidad de parasitación grave.

El análisis estadístico mostró una asociación entre la edad y la presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* ( $\chi^2 15 P < 0,01$ ). Los terneros ubicados en el grupo de edades de 11-15 y 16-20 días de nacidos fueron los que tuvieron la mayor proporción de *Cryptosporidium*, existiendo diferencias significativas al confrontar estos dos grupos de edad contra los demás. Por otro lado, el 83% de los terneros tuvo presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* mostrando una intensidad de infección leve, mientras que en el 14% fue moderada y solo en un 3% tuvo una infección grave.

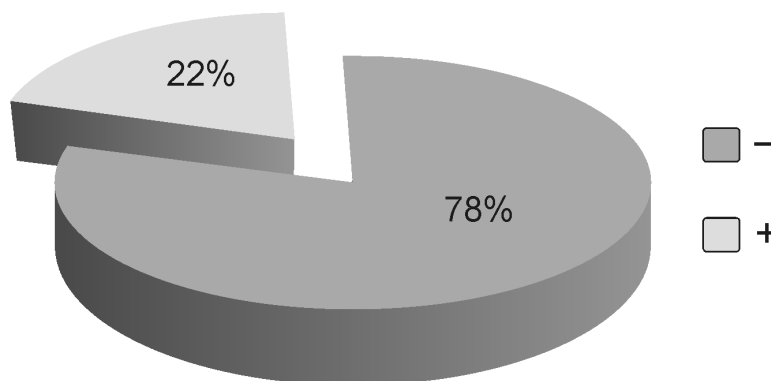


Figura 1. Proporción de muestras positivas.

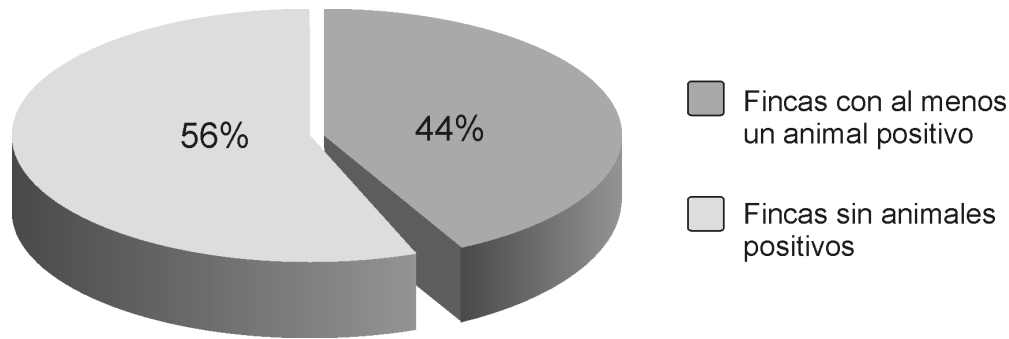


Figura 2. Proporción de fincas positivas.

La mayor prevalencia de parasitación observada en terneros de 11 a 20 días de vida coincide con los resultados obtenidos por diversos investigadores, al señalar que la mayoría de los animales se infectan durante el periodo neonatal y la mayor receptividad a la infección, se manifiesta en las tres primeras semanas de vida de los rumiantes (Anderson, 1981; Ongerth & Stibbs, 1989; Quílez *et al.* 1996).

#### Importancia de *Cryptosporidium*, como agente asociado con diarrea en terneros

Del total de terneros analizados, 78 padecían un síndrome diarreico en el momento de realizar la toma de muestras y 92 eran asintomáticos. La comparación con los resultados obtenidos en el estudio microscópico indicó que 20 (26%) de los 78 terneros con diarrea estaban infectados por *Cryptosporidium*, mientras que el porcentaje de parasitación fue del 19% (17/92), en los terneros que no padecían este síndrome. El análisis estadístico reveló que no existe una asociación estadísticamente significativa entre infección por *Cryptosporidium* y presencia o ausencia de diarrea, ni en el total de terneros analizados ni en cada uno de los grupos de edad por separado ( $P > 0,25$ ).

En 51 de los terneros con diarrea, la consistencia de las heces fue clasificada como blanda y, en 13 de ellos, se detectaron ooquistes de *Cryptosporidium* (26%). Los 27 terneros restantes padecían una diarrea líquida, donde siete (26%), estaban parasitados. El estudio estadístico demostró que no existe una asociación estadísticamente significativa entre infección por *Cryptosporidium* y consistencia de las heces en terneros con diarrea ( $P > 1$ ).

Al realizar el análisis estadístico comparando la consistencia de la materia fecal, según la intensidad de la infección, no se halló una asociación entre tales variables ( $\chi^2 1,7$ ;  $P > 0,42$ ).

Numerosos autores han señalado la importancia de *Cryptosporidium* como agente etiológico del síndrome de diarrea neonatal en terneros (Lassen *et al.* 2009; Joachim *et al.* 2003). En el presente trabajo, no se pudo demostrar la existencia de una asociación estadísticamente significativa, entre infección por este protozoo y presencia de diarrea, ni en el total de animales parasitados ni en cada uno de los grupos de edad por separado, a pesar que el 26% de los terneros afectados por el síndrome de diarrea neonatal estaban infectados por *Cryptosporidium*. Este hallazgo pone de manifiesto que en el valle de Ubaté y de Chiquinquirá existe un elevado número de terneros infectados asintomáticos, circunstancia ya descrita por otros autores (Lassen *et al.* 2009; Rings & Rings, 1996), quienes afirman que la diarrea puede estar ausente aun en animales altamente infectados y los síntomas clínicos normalmente se presentan en la última fase del ciclo del parásito, cuando los quistes son eliminados en las heces.

Se encontró que la criptosporidiosis es una entidad que se manifiesta en la región colombiana bajo estudio, que tiene una prevalencia que se debe incluir como entidad de importancia en los programas de salud bovina en el país y así avanzar en los estudios que permitan conocer más la epidemiología de la parasitosis.

Es preciso hacer hincapié que el estudio se realizó en trópico alto (frío); por la información conocida sobre el ciclo del parásito, se presume, entonces, que en el trópico



cálido la prevalencia podría ser superior a la encontrada en el presente estudio. Esto obligará al grupo de estudio a adelantar investigaciones de mayor profundidad en ganaderías bovinas, tanto de lecheras como de producción de carne, en trópico cálido (bajo o cálido).

En Colombia, la morbi-mortalidad de terneros está bajo estudio y no se conocen las cifras del impacto verdadero de su mortalidad por síndromes diarreicos; sin embargo, se sabe que este componente es importante en ganaderías de alto nivel de manejo, donde se llevan registros y esa mortalidad allí es de más del 5% anual. Si, se considera la valiosa importancia genética de esos individuos y el correspondiente alto valor económico, entonces, el impacto se presume costoso.

En el presente trabajo, se encontró el 22% de muestras positivas que oscilaron entre infestaciones leves (83%), moderadas (14%) y graves (3%), lo que aconseja que será importante continuar los estudios en estas ganaderías, con el propósito de conocer en un año cómo se comporta la enfermedad.

Se reconoce que los resultados obtenidos en el trabajo corresponden a un momento en el tiempo y en el espacio y solamente haciendo un seguimiento seriado de los hatos, bajo estudio, será posible conocer la realidad epidemiológica de la criptosporidiosis, en esa área de trópico alto, en la cordillera oriental colombiana.

Sin embargo, de esta investigación se debe resaltar, que la infección por *Cryptosporidium* está ampliamente distribuida en las explotaciones de ganado vacuno del Valle de Ubaté y de Chiquinquirá y que la parasitación es significativamente mayor en terneros de dos a tres semanas de vida. Además, se destaca que, a pesar que *Cryptosporidium* fue identificado en un elevado porcentaje de los terneros con diarrea neonatal, no se observó una asociación estadística significativa entre infección por este protozoo y la diarrea en terneros.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen al Doctor Ernesto González, Director del Comité de Ganaderos Zona 8, por su colaboración en la consecución de las muestras. **Conflicto de intereses:** Los autores del presente escrito declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANDERSON, B.C. 1981. Patterns of shedding of cryptosporidial oocysts in Idaho calves. J. Am. Vet. Med. Assoc (Estados Unidos). 178(9):982-984.
2. BROGLIA, A.; RECKINGER, S.; CACCIÓ, S.; NÖCKLER, K. 2008. Distribution of *Cryptosporidium parvum* subtypes in calves in Germany. Vet. Parasitol. (Países Bajos). 154(1-2):8-13.
3. BROOK, E.; HART, C.; FRENCH, N.; CHRISTLEY, R. 2008. Prevalence and risk factors for *Cryptosporidium* spp. infection in young calves. Vet. Parasitol. 152(1-2):46-52.
4. CASEMORE, D.; WRIGHT, S.; COOP, R. 1997. Cryptosporidiosis - human and animal epidemiology. En: Fayer, R. ed. *Cryptosporidium* and cryptosporidiosis. CRC Press, Boca Ratón, Florida. p.65-92.
5. CHALMERS, R.; DAVIES, A. 2010. Minireview: Clinical cryptosporidiosis. Experimental Parasitol. (Estados Unidos). 124(1):138-146.
6. DEL COCO, V.F.; CÓRDOBA, M.A.; BASUALDO, J.A. 2008. *Cryptosporidium* infection in calves from a rural area of Buenos Aires, Argentina. Vet. Parasitol. 158(1-2):31-35.
7. JOACHIM, A.; KRULL, T.; SCHWARZKOPF, J.; DAUGSCHIES, A. 2003. Prevalence and control of bovine cryptosporidiosis in German dairy herds. Vet. Parasitol. 112(4):277-288.
8. HEINE, J. 1982. A simple technic for the demonstration of cryptosporidia in feces. Zentralbl. Veterinarmed. B. (Alemania). 29(4):324-327.
9. KLEIN, P.; KLEINOVÁ, T.; VOLEK, Z.; ŠIMŮNEK, J. 2008. Effect of *Cryptosporidium parvum* infection on the absorptive capacity and paracellular permeability of the small intestine in neonatal calves. Vet. Parasitol. 152(1-2):53-59.
10. LASSEN, B.; VILTROP, A.; RAAPERI, K.; JÄRVIS, T. 2009. *Eimeria* and *Cryptosporidium* in Estonian dairy farms in regard to age, species, and diarrhea. Vet. Parasitol. 166(3-4):212-219.

11. MAC KENZIE, W.; HOXIE, N.; PROCTOR, M.; GRADUS, M.; BLAIR, K.; PETERSON, D.; KAZMIERCZAK, J.; ADDISS, D.; FOX, K.; ROSE, J. 1994. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water. N. Engl. J. Med. (Estados Unidos). 331(3):161-167.
12. O'HANDLEY, R. 2007. *Cryptosporidium parvum* infection in cattle: are current perceptions accurate? Trends Parasitol. (Inglaterra). 23(10):477-480.
13. ONGERTH, J.; STIBBS, H. 1989. Prevalence of *Cryptosporidium* infection in dairy calves in western Washington. Am. J. Vet. Res. (Estados Unidos). 50(7):1069-1070.
14. PLUTZER, J.; KARANIS, P. 2009. Genetic polymorphism in *Cryptosporidium* species: an update. Vet. Parasitol. 165(3-4):187-199.
15. QUÍLEZ, J.; SÁNCHEZ-ACEDO, C.; DEL CACHO, E.; CLAVEL, A.; CAUSAPÉ, A. 1996. Prevalence of *Cryptosporidium* and *Giardia* infections in cattle in Aragón (northeastern Spain). Vet. Parasitol. 66(3-4):139-146.
16. RINGS, D.; RINGS, M. 1996. Managing *Cryptosporidium* and *Giardia* infections in domestic ruminants. Vet Med. (Estados Unidos). 91(12):1125-1130.
17. SCHMIDT, J.; KUHLENSCHMIDT, M. 2008. Microbial adhesion of *Cryptosporidium parvum*: Identification of a colostrum-derived inhibitory lipid. Mol. & Biochem. Parasit. (Países Bajos). 162(1):32-39.
18. SLIFKO, T.; SMITH, H.; ROSE, J. 2000. Emerging parasite zoonoses associated with water and food. Int. J. Parasitol. (Inglaterra). 30(12-13): 1379-1393.
19. SMITH, H.; CACCIÒ, S.; COOK, N.; NICHOLS, R.; TAIT, A. 2007. *Cryptosporidium* and *Giardia* as foodborne zoonoses. Vet. Parasitol. 149(1-2):29-40.
20. SURUMAY, Q.; ALFARO, C. 2000. *Cryptosporidium* spp. in farms in the eastern region of Venezuela. Invest Clin. (Venezuela). 41(4):245-250.
21. THRUSFIELD, M. 2007. Veterinary Epidemiology. Third ed. Blackwell Publishing. (Oxford). p232 - 234.
22. VALDERRAMA, P.; TÉLLEZ, G. 2003. Microcuenca lechera Valles de Ubaté y Chiquinquirá. Caracterización y mercadeo de la leche. U. N. de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. [http://www.veterinaria.unal.edu.co/inv/gigep/Microcuenca%20Lechera%20\\_Libro\\_.pdf](http://www.veterinaria.unal.edu.co/inv/gigep/Microcuenca%20Lechera%20_Libro_.pdf). (con acceso 28/12/09).
23. VERGARA, C.; QUÍLEZ, J. 2004. Criptosporidiosis: una zoonosis parasitaria. MVZ-Córdoba. (Colombia). 9:(1):363-372
24. VERGARA, C.; QUÍLEZ, J.; FREIRE, J.; CASTRO, J.; ARES, M. 2001. Serological response to *Cryptosporidium parvum* in adult cattle from the Andean region of Colombia. Parasitol. Res. (Alemania). 87(6):500-504.
25. VERGARA, C.; SANTOS, S.; FREIRE, F.; ARES, E. 2000. La criptosporidiosis en la región andina de Colombia: seroprevalencia y reconocimiento de antígenos. Rev. Panam. Salud Pública. (Estados Unidos). 8(6):373-379.
26. WIDME, G.; CARRAWAY, M.; TZIPORI, S. 1996. Water-borne *Cryptosporidium*: A perspective from the USA. Parasitol. Today. (Inglaterra). 12(7):286-290.

Recibido: Diciembre 4 de 2009

Aceptado: Marzo 20 de 2010

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA ASOCIACIÓN ANTIBIÓTICA INTRA-MAMARIA AL SECADO COMO CONTROL DE LA MASTITIS BOVINA EN SISTEMAS DOBLE PROPÓSITO

## IMPLEMENTATION OF INTRAMAMMARY ANTIBIOTIC ASSOCIATION TO DRY-OFF AS CONTROL OF BOVINE MASTITIS IN DOUBLE PURPOSE SYSTEMS

Alfonso Calderón<sup>1</sup>, Virginia Rodríguez<sup>2</sup>, Rodrigo Taborda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Médico Veterinario Zootecnista, M.Sc. Docente. Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico (IIBT), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba. Kilómetro 27 vía Ciénaga de Oro. Correspondencia: alcaran1@yahoo.com <sup>2</sup> Bacterióloga, M.Sc. Docente. Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico (IIBT), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba. Kilómetro 27 vía Ciénaga de Oro. Correspondencia: consuelorr1@yahoo.co <sup>3</sup> Médico Veterinario Zootecnista, Universidad de Córdoba. Asistente técnico particular, Planeta Rica, Córdoba (Colombia). Correspondencia: rodantaga@hotmail.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 49-56, 2010

### RESUMEN

La terapia de la vaca seca, se basa en la aplicación de un antibiótico al final de la lactancia para eliminar agentes infecciosos. El objetivo del estudio clínico fue evaluar el resultado de una asociación antibiótica al secado y su efecto sobre la presencia de microorganismos al inicio de la siguiente lactancia, en sistemas doble propósito, en el municipio de Planeta Rica (Colombia). El día del secado, un grupo de 50 vacas se dividió al azar en dos grupos: experimental y control. En ambos grupos, se tomaron muestras de leche de 10mL, en un tubo estéril marcado, previa desinfección de la punta del pezón, para cultivo bacteriológico. Posteriormente, el grupo experimental recibió 700mg de cloxacilina benzatínica y 350mg de clorhidrato de ampicilina vía intra-mamaria. El grupo control no recibió ningún tratamiento de antibióticos. Una vez las vacas fueron pariendo, a los siete días se les recolectó una muestra de leche, para cultivo bacteriológico. Al secado, se observó que el 37% de los cuartos del grupo experimental fueron positivos para algún microorganismo y en el control, del 30%. El cultivo bacteriológico al inicio de la nueva lactancia, para el grupo experimental, fue del 2% y para el de control

fue del 26%. El Odds Ratio (OR) del grupo experimental fue de 0,020 y para el control de 0,3515; esta menor probabilidad del grupo experimental de presentar cuarto infectados, se atribuyó al uso de la asociación antibiótica empleada al final de la lactancia.

Palabras clave: Terapia vaca seca, mastitis, doble propósito.

### SUMMARY

The dry cow therapy consists in the application of antibiotics at the lactation ending to eliminate the infection agents. The objective of this clinical study was to evaluate the result of cloxacillin plus ampicillin application during the dry period and its efficacy in the control of infections at the beginning of the next lactation in a double purpose system in the municipality of Planeta Rica (Cordoba, Colombia). At the drying off day, 50 cows were divided at random into two experimental groups and one milk sample of 10mL, using sterile labeled tube, was collected before disinfection of the cows teat tip. Then, the experimental group received 700mg of benzatinic cloxacilina and 350mg of ampicillin clorhidrate

by means of intra-mammary infusion. The control group did not receive any antibiotics. Cows were sampled for a second time seven days after calving and bacteriological cultures were executed. During the dry period, 37% of the quarters of the experimental group and 30% of the control group were positive for any microorganism. The bacteriological culture made at the beginning of the new lactation period was, for the experimental group 2% and, for the control group 26%. The Odds Ratio (OR) of the treatment group was 0.020 and of the control group was 0.3515. The minor probability of the experimental group to present infected quarters is attributed to the antibiotic association of cloxacillin and ampicillin applied at the termination of lactation.

Key words: Dry cow therapy, mastitis, double purpose.

## INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción de leche, como lechería especializada o doble propósito, se requiere de un cese de la producción de leche antes de la próxima lactancia, con el fin que las glándulas mamarias puedan regenerar el epitelio secretor y, de esta forma, asegurar que en la próxima lactancia, la producción de leche sea óptima; este tiempo es conocido como período seco.

Philpot & Nickerson (2000) recomiendan que este período seco debe ser de 66 días para hembras de primer parto y de 45 días para vacas múltiparas; períodos menores de 45 días y mayores de 70 provocaron una disminución en el volumen de leche producida en la siguiente lactancia. Períodos de descanso de 60 días en promedio han sido cuestionados, debido a que estos estudios tienen hoy más de 35 años y las condiciones de manejo y de genética han variado, aumentándose, además, los volúmenes de producción. Actualmente, se consideran períodos secos más cortos y los volúmenes de producción son similares a los obtenidos con períodos secos de 60 días, ya que el proceso de regeneración epitelial puede haber finalizado 25 días después de iniciado el secado de las vacas (Elizondo, 2007).

Se ha definido la terapia de la vaca seca (TVS), como la aplicación por vía intra-mamaria (INM) de un antibiótico de lenta liberación después del ordeño y que debe mantener una concentración mínima inhibitoria durante varias semanas, con el fin de disminuir las infecciones INMs existentes y/o prevenir las nuevas durante el

período seco (Bradley & Green, 2001). Se aconseja que el cese de la producción de leche sea realizado en forma drástica, es decir, no volver a ordeñar más a la vaca sino hasta la próxima lactancia y aplicar un antibiótico de lenta liberación, por vía intra-mamaria. Blowey & Edmonson (1999) han recomendado esta rutina en vacas con producciones entre 20 a 25 litros/día.

Las bondades de la TVS fue reconocida desde hace más de 50 años (Neave *et al.* 1966) y es un componente eficaz en todo programa de control de la mastitis bovina (Philpot & Nickerson, 2000), ya que las tasas de curación, especialmente para *Staphylococcus aureus*, en comparación con el tratamiento en lactancia son mayores, incrementándose este índice hasta un 80% (Ruegg, 2004). Estos productos contienen altos niveles de uno o más antibióticos en una base de lenta liberación, que mantiene niveles terapéuticos en la ubre seca, durante un tiempo significativamente largo; para evitar la presencia de residuos, se deben seguir exactamente las recomendaciones del fabricante y tener especial interés al iniciar la siguiente lactancia, cuando las vacas tienen períodos secos más cortos que los normales (NMC, 2006). El tratamiento de todos los cuartos de todas las vacas es una práctica de muy buena aceptación y las infecciones existentes, como las nuevas, se verán marcadamente reducidas con el uso correcto de la TVS (Ruegg, 2004).

La cloxacilina es clasificada como una penicilina resistente a las  $\beta$ -lactamasas (penicilina antiestafilococcicas) y, por su estructura molecular, se le conoce como penicilinas isoxazólica; posee un espectro de acción selectivo frente a *S. aureus*, lo que la convierte en el antibiótico de elección para infecciones originadas por este microorganismo, pero presenta una distribución limitada en la ubre cuando se hacen aplicaciones locales (Saran & Chaffer, 2000). La ampicilina es una aminopenicilina de amplio espectro, siendo este grupo más eficaz en el tratamiento de infecciones por bacterias Gram negativas. El mecanismo de acción de estas dos penicilinas es la inhibición de la síntesis del peptidoglicano de la pared celular (Sumano & Camberos, 2007).

El objetivo de este estudio clínico fue evaluar el alcance de una asociación antibiótica (cloxacilina más ampicilina) de aplicación intra-mamaria (INM) al secado y su efecto sobre la presencia de microorganismos al inicio de la siguiente lactancia, en sistemas doble propósito.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Tipo de estudio:** Correspondió a un estudio clínico con dos grupos, experimental y control.

**Zona de estudio:** El presente trabajo, se adelantó en dos ganaderías manejadas bajo el sistema doble propósito, ubicadas en el municipio de Planeta Rica (Córdoba, Colombia), situado en el nordeste de Colombia, ubicado a 8° 24' 53" de latitud norte y 75° 13' 18" de longitud al oeste del meridiano de Greenwich; perteneciente a la micro-región Bajo Cauca.

**Selección de la muestra:** Se escogió una población de 50 vacas que al momento del destete presentaban una gestación entre seis y siete meses, de los grupos raciales Holstein por Cebú, Pardo Suizo por Cebú. Esta población, se dividió en dos grupos: experimental y control. La asignación de las vacas dentro de los grupos se hizo al azar, anotando en cada grupo el nombre o número de cada vaca.

**Toma de las muestras:** De cada pezón de las vacas de los grupos control y experimental, se tomaron las muestras, desechando los primeros chorros de leche y desinfectando la punta del pezón con alcohol etílico al 70%. Se tomó una muestra de leche entre 8-10 ml, en un tubo estéril, marcado con el número o nombre de la vaca, del pezón y del grupo; llamando a todas estas como muestreo al secado o destete.

Una vez tomadas las muestras, a cada uno de los pezones correspondientes al grupo experimental se le aplicó 700mg de cloxacilina benzatínica y 350mg de ampicilina trihidrato, mediante la inserción parcial de la cánula. A los pezones de las vacas del grupo control, se siguió el procedimiento realizado en las fincas, que consistió en un ordeño cada dos días durante una semana; luego, se realizó cada cinco días y terminando con un ordeño semanal. Las muestras de leche para el diagnóstico postparto de laboratorio en los grupos experimental y control, se recolectaron una semana después de los partos, siguiendo la metodología propuesta anteriormente.

Las muestras, se conservaron en refrigeración hasta el procesamiento, en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico (IIBT), de la Universidad de Córdoba. Allí, se procedió a efectuar el

aislamiento y la caracterización bacteriológica siguiendo la metodología propuesta por el National Mastitis Council NMC (2005).

A cada una de las cepas aisladas e identificadas, se les realizó la prueba de sensibilidad antibacteriana, por medio de la difusión con disco, según el método de Kirby-Bauer (NCCLS, 1999). Esto permitió la categorización de los aislamientos bacterianos en susceptibles, resistentes e intermedios, frente a los diferentes antibióticos empleados. La determinación de la sensibilidad antibacteriana, se hizo empleando sensidiscos de papel filtro impregnado con una cantidad específica de un agente antimicrobiano adquirido comercialmente.

**Análisis de la información:** Se elaboró una base de datos en formato Excel, la cual, fue debidamente depurada para identificar errores de digitación. El procesamiento y análisis de los datos, se llevó a cabo por cuarto, empleando el software estadístico SPSS versión 11.05 para Windows. Para el control de la validez de los sesgos y expectativas de los investigadores, el procesamiento fue desarrollado por un bioestadístico independiente del grupo de investigación. Inicialmente, se efectuó un análisis descriptivo para las variables cualitativas, construyendo tablas de distribución de frecuencias.

La comprobación de las hipótesis fue realizada mediante la prueba exacta de Fisher, debido a las bajas frecuencias, con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0,05$ ). Las hipótesis planteadas fueron:

$H_0$ : Los cuartos infectados pueden tener una respuesta favorable ante cualquiera de los dos tratamientos Vs  $H_1$ : Las infecciones en los cuartos está relacionada con aplicar o no una asociación antibiótica.

Adicionalmente, se calcularon los valores del Odds Ratio (OR) con sus respectivos intervalos de confianza, para valorar la fuerza de la asociación con las variables binomiales, entre los grupos experimental y control.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al agrupar los cuartos entre sanos e infectados al momento del secado dentro del grupo experimental, se encontró que en el 37% ( $n=37$ ) de los cuartos crecieron microorganismos involucrados en la etiología de la mastitis bovina y, en el 63% ( $n=63$ ), no hubo

crecimiento de microorganismos. Para el grupo control, el 30% (n=30) de los cuartos fueron positivos para algún microorganismo y, en el 70% (n=70), fueron negativos al cultivo bacteriológico.

Se detectó que los dos grupos, antes del tratamiento, tuvieron igual frecuencia de positividad o que los dos eran equivalentes, en cuanto a la presencia de microorganismos ( $p > 0,05$ ).

El cultivo bacteriológico realizado al inicio de la nueva lactancia en el grupo experimental determinó que en el 98% (n=98) de los cuartos no hubo crecimiento de microorganismos y, en el 2% (n=2), crecieron microorganismos involucrados en la etiología de la mastitis bovina. En el grupo control, el 74% (n=74) de las muestras fueron negativas al cultivo bacteriológico y, el 26% (n=26) de los cuartos evaluados, fueron positivos al cultivo.

Al inicio de la nueva lactancia, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre los grupos control y experimental respecto a la presencia de microorganismos. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la aplicación de la asociación antibiótica al momento del secado.

La disminución de los aislamientos bacteriológicos dentro del grupo experimental, al inicio de la lactancia con relación al secado, concuerda con lo reportado por Eberhart (1986) y Tarabla *et al.* (1998), cuando aplicaron antibióticos al finalizar la lactancia y redujeron hasta un 70% el nivel de infección en la glándula mamaria, luego del parto. Oliver *et al.* (1990), asociaron esta disminución a la persistencia de las preparaciones antibióticas de lenta liberación, durante las etapas iniciales del período seco.

Bramley & Dodd (1984) y Parkinson *et al.* (2000), usando la combinación de cloxacilina más ampicilina por vía intramamaria al finalizar la lactancia, establecieron diferencias significativas en la incidencia de infección intramamaria durante el período seco y el comienzo de la nueva lactancia. Por su parte, Oliver *et al.* (1990) afirmaron que el menor porcentaje de infecciones INMs fue debido al uso de una asociación antibiótica de lenta liberación que persistió durante la etapa inicial y media del período seco.

La combinación de cloxacilina más ampicilina en la TVS brinda una protección durante todo el período seco y proporciona un amplio espectro sobre los principales microorganismos presentes en la ubre (Prescott & Baggot, 1993). El uso de la cloxacilina, es la primera elección para el tratamiento al secado contra infecciones causadas por *S. aureus* resistente a  $\beta$ -lactamasas, ya que este principio activo es efectivo para estas cepas (Echeverría, 2002).

Al comparar la frecuencia de aislamientos para el *S. aureus* al final de la lactancia (Tabla 1) con el inicio de la siguiente lactancia (Tabla 2), se encontró una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) para este microorganismo en el grupo experimental y no fue significativa ( $p > 0,05$ ) en el grupo control. Newton *et al.* (2008), cuando trataron cuartos al secado con 600mg de cloxacilina y un sellador que contenía el 65% de subnitrito de bismuto fueron significativamente más probables de ser bacteriológicamente negativos en el período inmediato después del parto y menos propensos a sufrir mastitis clínica durante los primeros 100 días después del parto, de los cuartos tratados con sólo cloxacilina.

Tabla 1. Distribución de los aislamientos bacteriológicos al momento del secado en el grupo experimental y control, en dos fincas del sistema doble propósito, en el municipio de Planeta Rica (Córdoba, Colombia).

| Tratamientos |               | No crecimiento | <i>S. aureus</i> | <i>Staphylococcus</i> spp. | <i>S. agalactiae</i> | <i>E. coli</i> | Total |
|--------------|---------------|----------------|------------------|----------------------------|----------------------|----------------|-------|
| Experimental | Frecuencia    | 63             | 29               | 2                          | 0                    | 6              | 100   |
|              | % tratamiento | 63%            | 29%              | 2%                         | 0%                   | 6%             | 100%  |
| Control      | Frecuencia    | 70             | 23               | 2                          | 3                    | 2              | 100   |
|              | % tratamiento | 70%            | 23%              | 2%                         | 3                    | 2%             | 100%  |
| Total        | Frecuencia    | 133            | 52               | 4                          | 3                    | 8              |       |
|              | % tratamiento | 66,5%          | 26%              | 2%                         | 1,5%                 | 4%             |       |

Tabla 2. Distribución de los aislamientos bacteriológicos al inicio de la nueva lactancia en el grupo control y experimental, en dos fincas del sistema doble propósito, en el municipio de Planeta Rica (Córdoba, Colombia).

| Tratamientos |               | No crecimiento | <i>S. aureus</i> | <i>Staphylococcus</i> spp. | <i>S. agalactiae</i> | <i>E. coli</i> | Total |
|--------------|---------------|----------------|------------------|----------------------------|----------------------|----------------|-------|
| Experimental | Frecuencia    | 98             | 2                | 0                          | 0                    | 0              | 100   |
|              | % tratamiento | 98%            | 2%               | 0%                         | 0%                   | 0%             | 100%  |
| Control      | Frecuencia    | 74             | 20               | 3                          | 2                    | 1              | 100   |
|              | % tratamiento | 74%            | 20%              | 3%                         | 2%                   | 1%             | 100%  |
| Total        | Frecuencia    | 172            | 22               | 3                          | 2                    | 1              | 200   |
|              | % tratamiento | 86%            | 11%              | 1.5%                       | 1%                   | 0.5%           | 100%  |

Shephard *et al.* (2005), en infecciones crónicas ocasionadas por *S. aureus*, por *S. agalactiae* y por *S. uberis*, no notaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos de cloxacilina o cephalonium en la TVS, pero sí determinaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) cuando se aisló *Corynebacterium bovis* y *S. epidermidis* al aplicar cephalonium.

El *S. aureus* se ha convertido en el principal agente etiológico de la mastitis bovina en Colombia. Cruz *et al.* (2007) y Calderón & Rodríguez (2008), en sistemas especializados de leche ubicados en el altiplano cundiboyacense, aislaron este microorganismo, como el principal agente etiológico implicado en la patogénesis de la mastitis bovina.

Con relación a los *Staphylococcus* spp., en el grupo control, la presencia de un nuevo caso de infección al comienzo de la lactancia y la persistencia de dos cepas de *S. agalactiae*, se deben a la no aplicación de antibióticos al momento del secado y tan sólo en un caso se dio curación espontánea para *S. agalactiae*. Scaramelli & González (2005) afirmaron que en los cuartos que no fueron sometidos a la TVS se presentaron infecciones subclínicas por *S. aureus* y *S. agalactiae*, en contraste con lo reportado por Tyler & Baggot (1992) citado por Chaffer (2007), quienes mostraron que los mayores porcentajes de curación de mastitis por *S. aureus*, *S. dysgalactiae*, *S. agalactiae* y *S. uberis* se obtuvieron cuando se aplicó cloxacilina al finalizar la lactancia en comparación con los tratamientos, durante la lactancia, con casos de mastitis clínica.

La tasa de curación por pezones fue del 93,1% para *S. aureus*, porcentaje superior al reportado por Schultze & Mercer (1976), quienes determinaron que con la TVS se obtuvo una tasa de curación del 83% en pezones infectados con *S. aureus*. Philpot & Nickerson (2000) concluyeron que la tasa de curación de cuartos infectados con *S. aureus* fue mayor cuando se aplicó la TVS, comparada con la terapia en lactancia.

**Sensibilidad antibacteriana:** El Comité Nacional para los Estándares de Laboratorio Clínico de los Estados Unidos (NCCLS, 1999), para establecer las concentraciones mínimas inhibitorias (IC) y los patrones de sensibilidad antibiótica de las diferentes cepas bacterianas aisladas en este estudio, evaluó la oxacilina, un análogo de la cloxacilina, debido a su mayor confiabilidad para detectar cepas de *S. aureus* meticilino-resistentes (Goodman & Gildman, 1996; Sumano & Ocampo, 2007).

El *S. aureus* fue sensible a cefoxitin, oxacilina, amoxicilina más ácido clavulánico, tetraciclina, enrofloxacin, netilmicina, gentamicina, vancomicina eritromicina y trimetropin-sulfas. Mella *et al.* (2001), determinaron que la vancomicina no supera en sensibilidad a la cloxacilina en su eficacia en el tratamiento de infecciones causadas por *S. aureus*, susceptible a cloxacilina. Watts & Salmon (1997) y Gentilini *et al.* (2000) observaron sensibilidades de un 100% a cloxacilina. San Martín *et al.* (2002) en sistemas de lechería especializada en Chile, determinaron cepas resistente a cloxacilina en la décima región del 6,2% y en la región metropolitana del 3,7% y que esta resistencia se debe al uso masivo de este principio en medicina humana y veterinaria. La

comprobación de la sensibilidad *in vitro* para la oxacilina, análogo de la cloxacilina, es alta. Esto demuestra que la combinación de cloxacilina más ampicilina es una de las mejores alternativas para el tratamiento de la mastitis subclínica, durante el período seco.

La persistencia de dos cepas de *S. aureus* en el grupo experimental al inicio de la nueva lactancia (Tabla 2), puede ser atribuida a encapsulamiento en tejido fibroso, sobrevivencia a la fagocitosis en células polimorfonucleares, presencia de las formas L, actividad farmacológica media de la cloxacilina en tejido mamario, a las modificaciones del medio interior de la glándula mamaria por pH y residuos inflamatorios (Blowey & Edmondson, 1999; Rebhun, 1999).

La razón cruzada u Odds Ratio para los grupos control y experimental al inicio de la nueva lactancia fue de 0,1626 (28/172). Esto indica que los cuartos tienen 16,26% veces más probabilidad de infectarse de algún microorganismo, sin importar el grupo en que se encuentran (experimental o control). El OR para el grupo control fue de 0,3515 (26/74), que significa que los cuartos mamaros no tratados presentaron 35,15% veces más probabilidades de infectarse de algún patógeno en comparación al grupo experimental, donde el OR fue de 0,020 (2/98), que determina que cuartos tratados, con la asociación antibiótica, presentaron 2% veces más probabilidades de infectarse de algún microorganismo involucrado en la patogénesis de la mastitis bovina.

La TVS es una alternativa que se debe implementar en las vacas de los sistemas doble propósito y la combinación de cloxacilina más ampicilina es una alternativa para reducir la presentación de cuartos perdidos y de mastitis al inicio de la próxima lactancia.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen al director del Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico (IIBT) por la financiación, a los investigadores y personal de apoyo por la colaboración logística durante el desarrollo del proyecto. **Conflicto de intereses:** Este manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que pongan en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BLOWEY, R.; EDMONSON, P. 1999. El control de la mastitis bovina en granjas de ganado de leche. Guía práctica e ilustrada. Edit. I Acribia, Zaragoza (España). 208p.
2. BRAMLEY, A.J.; DODD, F.H. 1984. Reviews of the progress of dairy science: mastitis control-progress and prospects. J. Dairy Res. (USA) 51:481-512.
3. BRADLEY, A.J.; GREEN, M.J. 2001. An investigation of the impact of intramammary antibiotic dry cow therapy on clinical coliform mastitis. J. Dairy Sci. 84:1632-1639.
4. CALDERÓN, A.; RODRÍGUEZ, V.C. 2008. Prevalencia de mastitis bovina y su etiología infecciosa en sistemas especializados en producción de leche en el altiplano Cundiboyacense (Colombia). Rev. Col. Cienc. Pec. 21:582-589.
5. CHAFFER, M. 2007. Tratamiento de las mastitis clínicas y subclínicas durante la lactación. Separata de Mundo Ganadero. 196:1-3. Disponible desde Internet en: [www.hipra.com/docs/publico/separata\\_NEO-DRY.pdf](http://www.hipra.com/docs/publico/separata_NEO-DRY.pdf) (con acceso 20/07/09).
6. CRUZ, C.A.; ESPITIA, C.E.; HERNÁNDEZ L., J.J.A.; SANABRIA, V.J.P. 2007. Identificación de bacterias causantes de mastitis bovina y su resistencia ante algunos antibacterianos. Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. (Colombia). 10(1):81-89.
7. EBERHART, R.J. 1986. Management of dry cows to reduce mastitis. J. Dairy Sci. 69:1721-1730.
8. ECHEVERRÍA, G.J.M. 2002. La calidad higiénica y sanitaria de la leche. Disponible desde Internet en: [www.vet-uy.com/articulos/tecnología\\_alimentos/050/008/ta008bas.htm](http://www.vet-uy.com/articulos/tecnología_alimentos/050/008/ta008bas.htm) (con acceso 20/07/09).
9. ELIZONDO S., J.A. 2007. Periodo seco corto en ganado de leche. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504. 8(5):1-7. Disponible desde Internet en: [www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050507/050707.pdf](http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050507/050707.pdf) (con acceso 20/07/09).



10. GENTILINI, E.; DENAMIEL, G.; LLORENTE, P.; GODALY, S.; REBUERTO, M.; DEGREGORIO, O. 2000. Antimicrobial susceptibility of *Staphylococcus aureus* isolated from bovine mastitis in Argentina. *J. Dairy Sci.* 83(6):1224-1227.
11. GOODMAN, E.; GILMAN, A. 1996. Las bases farmacológicas de la terapéutica. Edit. Mc GrawHill Interamericana, México, D.F Vol 1. 1996p.
12. MELLA, M.S.; SEPULVEDA, A.M.; BELLO, T.H.; DOMINGUEZ, Y.M.; GONZÁLEZ, R.G.; ZEMELMAN, Z.R. 2001. Cloxacillin and vancomycin bacterial action against oxacillin-susceptible *Staphylococcus aureus*. *Rev. Méd. Chile* 129(2):224-226.
13. NATIONAL MASTITIS COUNCIL NMC. 2005. Laboratory Handbook on bovine mastitis. Second printing infection. Verona (USA). 222p.
14. NATIONAL MASTITIS COUNCIL NMC. 2006. Factsheet-dry cow therapy 2006. Disponible desde Internet en: <http://www.nmconline.org/drycow.htm> (con acceso 09/07/09)
15. NATIONAL COMMITTEE FOR CLINICAL LABORATORY STANDARDS NCCLS. 1999. Performance standards for antimicrobial disk and dilution susceptibility tests for bacteria isolated from animals. Approved standard. 3<sup>rd</sup> Ed. Wayne, Pennsylvania (USA). 99p.
16. NEAVE, F.K.; DODD F.H.; KINGWILL, R.G. 1966. A method of controlling udder disease. *Vet. Rec. (UK)*. 78(15):521-523.
17. NEWTON, H.T; GREEN, M.J.; BENCHAOUI, H.; CRACKNELL, V.; ROWAN, T.; BRADLEY, A.J. 2008. Comparison of the efficacy of cloxacillin alone and cloxacillin combined with an internal teat sealant for dry-cow therapy. *Vet. Rec.* 162(21):678-684.
18. OLIVER, S.P.; LEWIS, T.M.; LEWIS, M.J.; DOWLEN, H.H.; MAKI, J.L. 1990. Persistence of antibiotics in bovine mammary secretions following intramammary infusion at cessation of milking. *Prev. Vet. Med. (USA)*. 9:301-311.
19. PARKINSON, T.J.; VERMUNT, J.J.; MERRALL, M. 2000. Comparative efficacy of three dry-cow antibiotic formulations in spring-calving New Zealand dairy cows. *N. Z. Vet. J.* 48(5):129-135.
20. PHILPOT, N.; NICKERSON, S. 2000. Ganando la lucha contra las mastitis. Naperville (USA) 192p.
21. PRESCOTT, J.; BAGGOT, J.D. 1993. Terapéutica antimicrobiana veterinaria. 2<sup>a</sup> Ed. Edit. Acribia S.A. Zaragoza (España). 409p.
22. RÜEGG, L.P. 2004. Calidad de leche y manejo sanitario de la vaca seca, U. Wisconsin, Madison. 7p. Disponible desde Internet en: [http://www.uwex.edu/MilkQuality/PDF/dry\\_cow\\_en\\_enspanol.pdf](http://www.uwex.edu/MilkQuality/PDF/dry_cow_en_enspanol.pdf) (con acceso 20/07/09).
23. REBHUN, W.C. 1999. Enfermedades del ganado vacuno lechero. Edit. Acribia, Zaragoza (España). p.329-402.
24. SAN MARTÍN, B.; KRUIZE, J.; MORALES, M.A.; AGÜERO, H.; LEÓN, B.; ESPINOZA, S.; IRAGÜEN, D.; PUGA, J.; BORIE, C. 2002. Resistencia bacteriana en cepas patógenas aisladas de mastitis en vacas lecheras de la V región, región metropolitana y X<sup>a</sup> región, Chile. *Arch. Med. Vet. (Chile)*. 34(2):221-233.
25. SARAN, A.; CHAFFER, M. 2000. Mastitis y calidad de leche. Editorial Inter-médica. Buenos Aires (Argentina) 196p.
26. SCARAMELLI, A.; GONZÁLEZ, Z. 2005. Epizootiología y diagnóstico de la mastitis bovina. Disponible desde Internet en: [http://avpa.ula.ve/docuPDFs/libros\\_online/manualganaderia/seccion5/articulo\\_9\\_s5.pdf](http://avpa.ula.ve/docuPDFs/libros_online/manualganaderia/seccion5/articulo_9_s5.pdf) (con acceso 20/07/09).
27. SCHULTZE, W.D.; MERCER, H.D. 1976. Nonlactating-cow therapy with a formulation of penicillin and novobiocin: mammary irritation and residues. *Am. J. Vet. Res.* 37:1275-1281.
28. SHEPHARD, R.W.; BURMAN, S.; MARCUN, P. 2005. A comparative field trial of cephalonium and cloxacillin for dry cow therapy for mastitis in Australian dairy cows. *Austr. Vet J.* 83(1-2):103-104.

29. SUMANO L., H.S.; OCAMPO C., L. 2007. Farmacología Veterinaria. 3ª Ed. Edit. Mc-GrawHill Interamericana México. 1082p.
30. TARABLA, H.D.; CANAVESIO, V.; CALVINHO, L. 1998. Reducción de la incidencia de infecciones intramamarias durante el período de vaca seca. Informaciones técnicas No. 149. Disponible desde Internet en: [http://www.inta.gov.ar/Rafaela/info/documentos/informaciones\\_tecnicas/pa\\_p149.htm](http://www.inta.gov.ar/Rafaela/info/documentos/informaciones_tecnicas/pa_p149.htm) (con acceso 20/07/09)
31. WATTS J.L.; SALMON S.A. 1997. Activity of selected antimicrobial agents against strain of *Staphylococcus aureus* isolated from bovine intramammary infections that produce betalactamase. J. Dairy Sci. 80:788-791.

Recibido: Agosto 7 de 2009

Aceptado: Marzo 1 de 2010

# EVALUACIÓN DE LA TASA DE DEFECACIÓN Y DEL USO DE LETRINAS EN LA GUAGUA LOBA (*Dinomys branickii* RODENTIA: DINOMYIDAE)

## ASSESSMENT OF THE DEFECATION RATE AND THE LATRINE USE IN THE PACARANA (*Dinomys branickii* RODENTIA: DINOMYIDAE)

Karin Osbahr<sup>1</sup>

<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 kosbahr@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 57-66, 2010

### RESUMEN

El conteo sistemático de grupos de excrementos ha sido utilizado para estimar parámetros poblacionales de diversas especies. La guagua loba (*Dinomys branickii*), se caracteriza por defecar en letrinas, que son empleadas repetitivamente por un grupo familiar, por lo que el muestreo de la materia fecal constituye una alternativa, más aún, cuando las poblaciones de la especie son pequeñas y con distribución discontinua; sin embargo, la técnica requiere del conocimiento de la tasa de defecación y de la morfología de la materia fecal desconocidas para la especie. El objetivo principal de este trabajo fue el de monitorear las letrinas de tres poblaciones con diferente número de individuos, entre machos y hembras de *D. branickii*, mantenidas en un ambiente seminatural, con el fin de generar información de la morfología y de la producción diaria de materia fecal. Para cada grupo de animales, se recolectó, se contó y se midió el total de cagarrutas depositadas por letrina. El número total de cagarrutas/animal/día, se obtuvo sirviéndose de marcadores fecales. El promedio de las cagarrutas por letrina varían de acuerdo al tamaño del grupo. Las tasas de defecación individual mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sexos. La forma cilíndrica de las cagarrutas de *D. branickii* muestra una clara diferencia entre la longitud y el ancho promedio. Las dimensiones de las cagarrutas variaron con mayor frecuencia en las letrinas que en las muestras

individuales. La estimación del tamaño poblacional de *D. branickii*, a partir del uso de letrinas, es prometedora, pero requiere ser validada en su hábitat natural.

Palabras clave: Letrinas, tasa de defecación, guagua loba, *Dinomys branickii*.

### SUMMARY

The systematic fecal pellet-group count has been used to estimate population parameters of various species. The Pacarana (*Dinomys branickii*) is characterized by defecating in latrines which are used repeatedly by a family group, so that sampling of the fecal pellets is an alternative, since the species lives in small populations with discontinuous distribution. However, the technique requires knowledge of the defecation rate and fecal morphology unknown for this species. The main objective of this study was to monitor the latrines in three populations of *D. branickii* with different numbers of individuals between males and females kept in a seminatural environment, in order to generate information on the morphology and the daily production of feces. For each group of animals the total number of droppings deposited at each latrine was collected, counted and measured. The total number of droppings/animal/day was obtained using fecal markers. The mean droppings per latrine varied according to group size. Individual defecation rates showed statistically

significant differences between sexes. The cylindrical shape of the droppings of *D. branickii* shows a clear difference between the average length and width. The dimensions of the droppings varied more frequently in the latrines than in the individual samples. The estimation of the population size of *D. branickii* based on the use of latrines is promising, but needs to be validated in its natural habitat.

Key word: Latrines, defecation rate, pacarana, *Dinomys branickii*

## INTRODUCCIÓN

Para conocer la abundancia y la densidad local de las poblaciones en relación al área de distribución y al grado de especialización ecológica de una especie dada, han sido reportados diferentes métodos, tales como los conteos directos o las técnicas de captura, de marcaje y de recaptura, que posibiliten obtener datos precisos sobre el estado de las poblaciones de animales (Krebs, 1999). Cualquiera que sea el método empleado es claro que se requiere de información biológica básica de la especie en especial si se pretende obtener modelos que permitan realizar proyecciones a largo plazo de la dinámica poblacional y sobre la capacidad que tiene la especie para sobrevivir ante adversidades ambientales (Vucetich *et al.* 2000; Lindenmayer *et al.* 2003; McCarthy *et al.* 2003).

Dado que se trata de métodos costosos que implican el uso de tecnología avanzada, han tomado importancia las técnicas indirectas, entre las que se destaca el conteo de grupos de excrementos. Esta metodología facilita definir el número actual o estimado de determinada especie en un área dada, ofreciendo una medida objetiva de las variaciones y las fluctuaciones sustanciales en una población, a la vez, que ofrece datos sobre preferencias de hábitat y su utilización diferencial de acuerdo con patrones estacionales (Bennet *et al.* 1940; Riney, 1957). Aún cuando la técnica presenta algunas dificultades, como la pérdida de muestras, debida al lavado por lluvias (Barnes & Dunn, 2002) y al ataque por insectos coprófagos, el método presenta una ventaja considerable al tratarse de evidencias inertes, que pueden ser muestreadas, sistemáticamente, en el campo (Neff, 1968; Putman, 1984), ofreciendo un método robusto para el establecimiento del número de individuos en poblaciones con densidades bajas (Murray

*et al.* 2002). El conteo de materia fecal, el tamaño de grupos de excrementos, la tasa de defecación y el uso de letrinas han sido utilizados para estimar parámetros poblacionales relacionados, incluso, con el uso del hábitat de diversas especies (Vernes, 1999; De Boer *et al.* 2000; Theuerkauf & Ellenberg, 2000; Krebs *et al.* 2001; Lombardi *et al.* 2003; Homiyack *et al.* 2006).

Algunos vertebrados se caracterizan por defecar en letrinas, visitadas repetitivamente por individuos de la misma especie. Muchos mamíferos emplean esta forma de defecación, para marcar los límites de su territorio. El conocimiento de las letrinas ofrece información sobre el número de animales que las han visitado y, por lo tanto, es posible extrapolar el tamaño de una población, a la vez, que permite determinar el uso del hábitat y evaluar la ecología y el comportamiento de una especie (Mykytowycz & Gambale, 1969; Palomares, 1993; Roper *et al.* 1993; Irwin *et al.* 2004; Sprent *et al.* 2006).

La presencia de excrementos de una especie en un área dada está estrechamente ligada al comportamiento y a las características morfológicas y fisiológicas del sistema digestivo. Por lo tanto, el conteo de excrementos, como herramienta para establecer el tamaño y la distribución de una población, requiere del conocimiento preciso de la morfología y de las dimensiones de la materia fecal, de la especie de interés. En la medida en que se conocen igualmente las tasas de defecación y de descomposición de la materia fecal, se puede definir la metodología más apropiada para detectar la presencia de la especie a partir de la evidencia de defecación. En este sentido, el estudio de la materia fecal de animales mantenidos en cautiverio, en condiciones seminaturales, debe ser aprovechado, más aún, cuando no existen datos para las poblaciones silvestres (Chapman, 2004). Incluso, para establecer la presencia o ausencia de sesgos en la estimación del tamaño poblacional a partir de las heces, la técnica ha sido probada muestreando poblaciones de tamaño conocido en cautiverio (Pérez-Mejía *et al.* 2004) o comparando los resultados con las estimaciones obtenidas con otras técnicas, indicando elevados márgenes de confiabilidad (Tuytens *et al.* 2001; Cattadori *et al.* 2003; Scott Mills *et al.* 2005).

La guagua loba o pacarana (*Dynomys branickii*) es un roedor propio de la región andina, desde Venezuela hasta el piedemonte brasileño (White & Alberico, 1992). Aún cuando el estimativo del tamaño de las poblaciones es

esencial para la definición de medidas de conservación en especies amenazadas de extinción (Hochachka *et al.* 2000; Sulkava *et al.* 2008), esta información es escasa o inexistente para *D. branickii*, considerada en la literatura como una especie rara, con posibles densidades poblacionales bajas con tendencia a disminuir, por lo cual, es reportada en la lista roja global (IUCN, 2009) y colombiana (Alberico *et al.* 2006), de mamíferos amenazados. Estas aparentes poblaciones pequeñas, cuya distribución en Colombia parece ser discontinua, requieren de medidas urgentes para obtener información sobre el estado de conservación real de la especie. Siendo una especie nocturna, que habita en zonas montañosas con bosques subandinos y andinos densos y de difícil acceso, los métodos directos para la estimación del tamaño de las poblaciones son inapropiados (Chame, 2003). Sin embargo, el hecho que la especie utiliza letrinas que son visitadas repetitivamente por varios individuos que componen un grupo familiar (Osbañr & Bautista, 1998; Osbañr, 1999; Osbañr & Restrepo, 2002), constituye una alternativa para el muestreo de la materia fecal. Por tal razón, el objetivo principal de éste trabajo fue el de estimar las tasas de defecación, monitoreando las letrinas de tres poblaciones de sexos diferentes de *D. branickii*, mantenidas en un ambiente seminatural, con el fin de generar información de la morfología y de la producción diaria de materia fecal, que permita adelantar futuros estudios, utilizando el conteo de cagarrutas por letrina, en condiciones naturales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un encierro de 250m<sup>2</sup>, ubicado en la Unidad de Investigación en Fauna Silvestre de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, donde se mantienen las poblaciones muestreadas de *D. branickii* en Bogotá. El encierro construido con muros laterales de ladrillo y de malla, está ambientado con suelo en tierra y pasto kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*), cuevas, troncos, bebederos y plantas, que ofrecen sombrero y refugio natural. Durante el estudio, se disminuyó gradualmente de 13 a cinco el número de ejemplares, para monitorear en un mismo encierro tres grupos de animales de sexos diferentes. De acuerdo con lo sugerido en estudios similares por Simonetti (1989) y Chapman (2004), se ofreció diariamente una dieta compuesta por habichuela (*Phaseolus vulgaris*), zanahoria (*Daucus carota*), yuca (*Manihot sp.*), papa

(*Solanum tuberosum*), maíz en mazorca (*Zea mays*), banano (*Musa paradisiaca*), guatilla (*Sechium edule*), ahuyama (*Cucurbita maxima*), calabaza (*Cucurbita pepo*), lechuga (*Lactuca sativa*) y hoja de col (*Brassica oleracea*), la cual, cumple con los requerimientos en fibra establecidos para la especie (Osbañr & Restrepo, 2002).

Para obtener el número total de cagarrutas/animal/día, se colectaron muestras de animales de edad y de sexo conocidos utilizando durante 25 días marcadores fecales, suministrando vía oral 1 cm<sup>3</sup>/día de colorante verde para alimentos a un macho y dos hembras, seleccionados al azar, durante dos períodos diferentes, para evitar que las muestras de materia fecal se mezclaran. Siguiendo la metodología descrita por Delahay *et al.* (2000), se realizó una prueba, suministrando vía oral una mezcla de miel con escarcha plástica. Para obtener muestras de animales de sexo desconocido, se ofrecieron *ad libitum* junto con la dieta habitual de 500g de remolacha (*Beta vulgaris*) sin procesar. Diariamente, se recogió de la letrina la materia fecal, contando el número de cagarrutas, con el marcador fecal. A partir de la tasa de defecación por animal, se evaluó si este parámetro permite estimar el tamaño de la población. Para tal efecto, se recolectaron y contaron durante 21 días y para cada población de tamaño conocido el total de cagarrutas depositadas por letrina.

En una letrina, se pueden encontrar cagarrutas de diferente tamaño (Figura 1), por lo cual, se siguió la metodología sugerida por Komers & Brotherton (1997), con el fin de establecer si el tamaño es una variable confiable para determinar si las cagarrutas proceden de animales diferentes. Para este efecto se midió, empleando un calibrador, el ancho y el largo del total de las cagarrutas frescas con marcador fecal y del 10% de las cagarrutas de las muestras totales por letrina. Los valores obtenidos para los excrementos de animales de sexo conocido, se utilizaron para compararlos con las excretas de animales desconocidos. De manera complementaria, se llevaron a cabo observaciones directas del comportamiento de la especie al defecar, registrando, a su vez, la ubicación de las letrinas en el encierro. Para el análisis de resultados, se aplicó estadística descriptiva y pruebas de múltiples rangos, para la comparación entre las muestras. Las dimensiones de las cagarrutas, se analizaron aplicando pruebas de t-Student múltiples (Ury, 1976; Sokal & Rohlf, 2000).



Figura 1. Variación en los tamaños de cagarrutas de *D. branickii*, en una letrina utilizada por varios individuos. La referencia de medida se encuentra expresada en cm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio y el rango del total de las cagarrutas por letrina varían de acuerdo al tamaño del grupo (Tabla 1). Teniendo en cuenta que la escasa información existente reporta que los grupos familiares de *D. branickii* están compuestos por dos a cinco individuos (Boher & Marin, 1988), aun cuando Woods (1984) menciona que se les puede ver solitarios o en parejas, se asumiría que la aplicación de la técnica del conteo de cagarrutas totales por letrina en condiciones de campo, arrojaría un estimativo apropiado del tamaño de los grupos, si se consideran los rangos y los valores promedio

de cagarrutas por letrina, obtenidos para los grupos compuestos de siete y cinco individuos, respectivamente (Tabla 1). Teniendo en cuenta que el volumen defecado depende del tipo de alimentación ingerido y de su digestibilidad (Neff, 1968; Osbahr & Restrepo, 2002) es posible afirmar que aún cuando todos los grupos recibieron la misma dieta, la tasa individual de consumo dada por la eficiencia en el forrajeo (Stillman *et al.* 2000), modifica la producción diaria de materia fecal por letrina, utilizada por un grupo, lo cual, explicaría los coeficientes de variación obtenidos (Tabla 1). Esto, a su vez, se refleja al calcular en cada grupo la producción de cagarrutas/individuo/día, registrándose diferencias

Tabla 1. Estadísticos obtenidos para la tasa de defecación por cada grupo experimental. N = número de individuos; D = sexo desconocido.

| Cagarrutas/letrina/día    |        |        |        | Calculado<br>Cagarrutas/individuo/día |            |           | Muestreado<br>Cagarrutas/individuo/día |        |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------------------------------------|------------|-----------|--|--------|--------|
| N                         | 13     | 7      | 5      | 13                                    | 7          | 5         | ♀                                      | ♂      | D      |
| Promedio                  | 282,9  | 80,4   | 59,7   | 21,6                                  | 11,6       | 12,0      | 14,6                                   | 11,8   | 16,0   |
| Desviación Estándar       | 54,8   | 16,9   | 22,6   | 4,2                                   | 2,5        | 4,6       | 3,6                                    | 4,2    | 4,9    |
| Coefficiente de Variación | 19,39% | 21,03% | 37,93% | 19,44%                                | 21,51%     | 38,18%    | 24,69%                                 | 35,49% | 30,88% |
| Mínimo                    | 130    | 57     | 32     | 10                                    | 8          | 6         | 7                                      | 5      | 7      |
| Máximo                    | 395    | 118    | 98     | 30                                    | 17         | 20        | 25                                     | 19     | 25     |
| Contraste                 |        |        |        | N=13 – N=7                            | N=13 – N=5 | N=7 – N=5 | ♀ - ♂                                  | ♀ - D  | ♂ - D  |
| LSD Fisher                |        |        |        | 10,04*                                | 9,7*       | 0,4       | 2,72*                                  | 1,44   | 4,16*  |
| ANOVA                     |        |        |        |                                       |            |           | F <sub>(2,72)</sub> = 6,05* (p<0,05)   |        |        |

estadísticamente significativas entre los grupos de 13, siete y cinco individuos, con un promedio total calculado de  $15,09 \pm 6,0$  ( $n = 63$ ) (Tabla 1). De hecho, Murray *et al.* (2005) reportan diferencias significativas en la cantidad de cagarrutas/día, de acuerdo a la dieta ofrecida a *Lepus americanus*, en condiciones experimentales.

Los valores promedio ( $14,1 \pm 4,6$   $n=75$ ;  $CV=32,29\%$ ) obtenidos para la tasa de defecación individual, corroboran, igualmente, las variaciones en el volumen total defecado por letrina. Al comparar los valores muestreados frente a los calculados (Figura 2), se observa que las distribuciones de frecuencia son similares. Las tasas de defecación individual mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sexos (Tabla 1). Estos resultados difieren de lo registrado por Murray *op. cit.* quienes en condiciones de una dieta conocida reportan similitudes en la producción diaria de cagarrutas por sexo; sin embargo, cabe anotar que a diferencia de *L. americanus*, *D. branickii* no es coprófago, por lo cual, no necesariamente se puedan comparar los dos modelos. Teniendo en cuenta que este estudio se realizó en condiciones de cautiverio es necesario recalcar que la estimación de la tasa de defecación obtenida para *D. branickii* no está exenta

de sesgos, por lo que se debe considerar la variación de la tasa de defecación cuando se utilice esta técnica para hacer estimaciones del tamaño poblacional, en condiciones naturales.

Se logró verificar la bondad de *B. vulgaris* y del colorante para alimentos, como marcadores fecales, puesto que el color, bien sea rojo o verde, se presenta en las heces, aproximadamente, 36 horas después de la ingesta y se mantiene durante un período de dos a tres días. Es importante considerar que al emplear escarcha, se observó que este marcador se fija en la superficie exterior de la cagarruta, por lo que aumenta el riesgo de contaminar la letrina, dificultando la identificación individual. No obstante, Delahay *et al.* (2000) mencionan como ventaja, que la escarcha plástica ofrecida como marcador en cebos, no sería lavada por la lluvia, en caso de muestreos no continuos de las letrinas. En el evento específico del uso de *B. vulgaris*, como marcador, la técnica no garantiza que las cagarrutas de color rojo correspondan a un único animal, durante la totalidad de los días muestreados, pero la prueba de diferencia mínima significativa establece que no existen diferencias entre las cagarrutas/animal/día para las hembras y los datos obtenidos mediante este método,

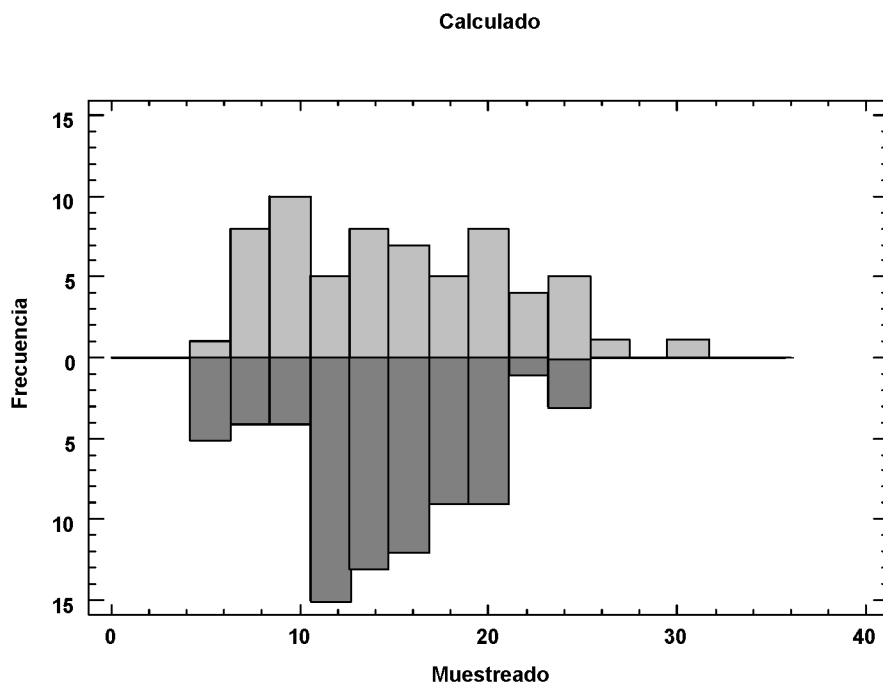


Figura 2. Distribución de frecuencia comparativa del número de cagarrutas /individuo/día muestreados en individuos de sexo conocido y calculados a partir del total de cagarrutas/letrina.

para animales de sexo desconocido (Tabla 1). Dadas las diferencias halladas entre sexos, se podría asumir que dichas muestras provienen igualmente de una hembra. De acuerdo con Langbein *et al.* (1999), el conteo de cagarrutas marcadas puede ser de valor limitado al cuantificar la tasa de defecación y el uso de letrinas, ya que se registran variaciones significativas a corto plazo en el número de cagarrutas marcadas y cuantificadas en letrinas individuales. Los autores concluyen que estas variaciones pueden estar relacionadas con problemas prácticos en la aplicación de la técnica de conteo de cagarrutas marcadas que implican la dificultad de encontrar el total de excrementos durante los muestreos, lo cual, depende de la ubicación de la letrina y de la presencia o ausencia de lluvias. De tal manera que los marcadores fecales ofrecen datos confiables, pero se deben realizar las repeticiones necesarias en los conteos, para disminuir la varianza.

Las cagarrutas de *D. branickii*, se caracterizan por ser consistentes, de forma cilíndrica y bajas en humedad (Osbañ & Bautista, 1998; Osbañ & Restrepo, 2002), encontrándose en el grupo III de las categorías de morfología fecal, establecidas por Chame (2003). La forma cilíndrica de las cagarrutas de *D. branickii* muestra una clara diferencia entre la longitud y el ancho promedio ( $23,71 \pm 5,90$  CV=24,9%;  $13,82 \pm 2,20$  CV=15,9% n=905, respectivamente). En la figura 3, se presentan las diferencias en los promedios al analizar por separado las muestras obtenidas en las letrinas y en los individuos muestreados con el marcador fecal.

Es de resaltar que en las letrinas se encontraron mayor número de valores atípicos para la longitud, lo cual, nuevamente, puede estar relacionado con el tipo de alimento seleccionado por los diferentes individuos, durante el muestreo. Las dimensiones de las cagarrutas variaron con mayor frecuencia en las letrinas que en las muestras individuales, aún cuando para ambos casos se halló un elevado porcentaje de diferencias, estadísticamente significativas, en al menos una medida (Figura 4). Así mismo, el 24,4% de las muestras entre individuos y el 18,1% dentro de la población mostraron variaciones estadísticamente significativas en las dos variables. Las diferencias interindividuales en el tamaño de las cagarrutas pueden ser detectadas por medio de la longitud y el ancho, ofreciendo una aproximación a la composición del grupo de *D. branickii* que frecuenta una letrina. De acuerdo con Coe & Carr (1983) y Zahratka & Buskirk (2007), estas diferencias en el tamaño de las cagarrutas pueden estar ligadas a la masa corporal de los individuos, lo cual, debe ser analizado, en detalle, para la gagua loba.

El monitoreo del comportamiento indica que los animales presentan ciclos individuales al defecar, es decir, que el uso de la letrina por parte de los individuos que conforman un grupo familiar, ocurre en tiempos diferentes, con una duración de 10 a 15 minutos por animal. Este comportamiento permite identificar, en una misma letrina, grupos de excrementos, los cuales, pertenecen a individuos distintos. Las observaciones muestran una clara predilección de *D. branickii* para

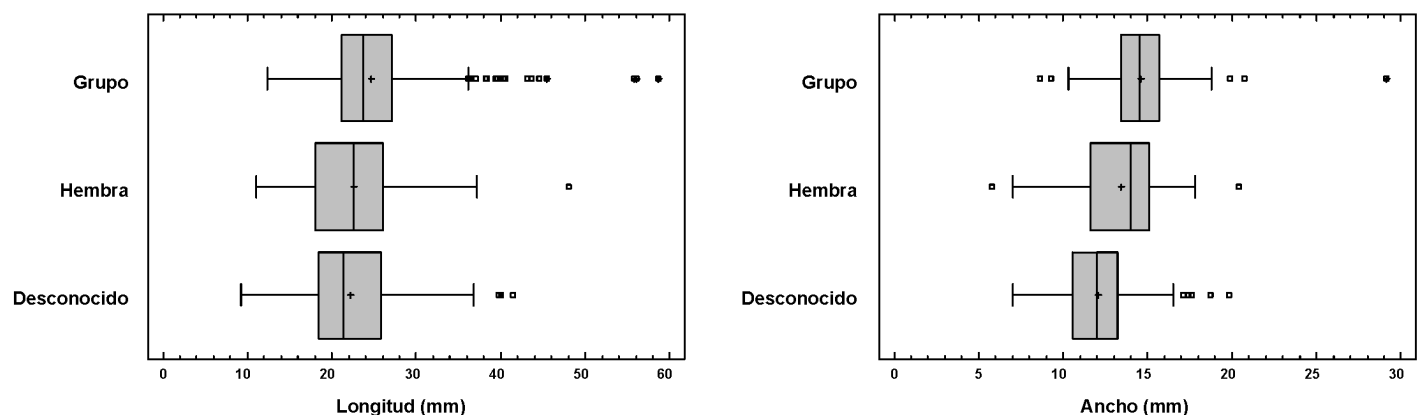


Figura 3. Comparación de los estadísticos descriptivos de la longitud y del ancho de las cagarrutas muestreadas en letrinas y en individuos de *D. branickii*. Promedio (+), media (-), desviación estándar (T), valores atípicos (□). Grupo n = 549, Hembra n = 153, Desconocido n = 203.



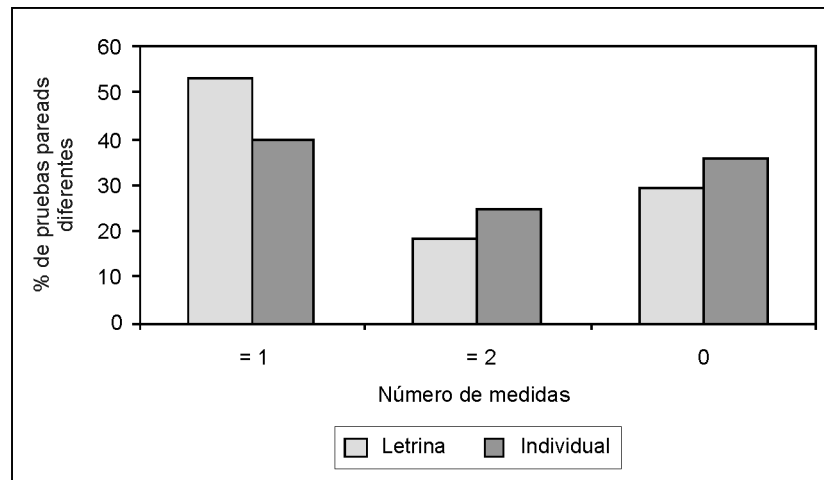


Figura 4. Porcentaje de las comparaciones pareadas, en las que se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el tamaño de las cagarrutas de *D. branickii*. Se presentan las comparaciones, donde las cagarrutas difieren de manera significativa en, por lo menos, una, dos o ninguna de las medidas.

ubicar las letrinas en el interior de las cuevas, no utilizadas para el descanso, o de trepar para defecar a los troncos dispuestos, como enriquecedores ambientales. Reportes de la ubicación de las letrinas en refugios rocosos utilizados por otros roedores caviomorfos, tales como *Cuniculus taczanowskii* (Osbañr & Ortíz, 2007) y *Kerodon rupestris* (Araújo *et al.* 1993), indican que en condiciones naturales *D. branickii* igualmente busca sitios de difícil acceso, protegidos por troncos y rocas o elevada cobertura vegetal. La valoración realizada por Espirito-Santo *et al.* (2007) de las variables que inciden en general en la ubicación de las letrinas, revela que las zonas con baja presencia humana, difícil acceso y alta densidad en el sotobosque, influyen la selección de los lugares y refuerzan su uso.

Varios autores (Eisenberg & Kleiman, 1972; Johnson, 1973; Zollner *et al.* 1996) han sugerido que las letrinas deben ser entendidas como centros de intercambio de información, tal como ocurre en diversas especies de mamíferos, que conviven en colonias. Este comportamiento permite asumir que *D. branickii* puede estar definiendo su territorio grupal con este sistema, al ser utilizadas las letrinas por todos los integrantes de un grupo familiar, compuesto por machos y por hembras de diferentes edades, cumpliendo así una función para el intercambio de información olfativa. En el caso de los conejos europeos (*Oryctolagus cuniculus*) ha sido posible detectar que esta especie defeca en letrinas, marcadas con las glándulas anales (Sneddon, 1991).

*D. branickii*, probablemente, utiliza algún tipo diferente de marcaje de las letrinas, puesto que las disecciones anatómicas realizadas en individuos adultos (Osbañr *et al.* 2009) no muestran la presencia de glándulas anales. No obstante, durante este estudio fue posible observar que el grupo cambia con regularidad el lugar para defecar, con lo cual, se asume que el olor incita a los demás miembros a utilizar la nueva letrina. Cabe mencionar que las secreciones nasales asociadas a comportamientos agonales o exploratorios de la especie (López *et al.* 2000) no se producen al defecar, por lo que se descartaría que *D. branickii* utilice este tipo de secreción para marcar las heces. Observaciones adicionales no evaluadas en este estudio indican que las crías siguen a la hembra a la letrina, incluso, cuando ésta defeca en un nuevo lugar. Considerando que López *et al.* (2000) sugieren que las hembras podrían ser el eje de la estructura social en *D. branickii*, este comportamiento indicaría que son ellas las que definen la ubicación de la nueva letrina.

Los valores obtenidos durante el presente estudio ofrecen una guía para estimar el tamaño poblacional a partir de las letrinas. Aún cuando la descomposición de los cagarrutas de materia fecal puede jugar un papel importante en la desviación en la información sobre el tamaño en las poblaciones, en el caso de *D. branickii* favorece el hecho que las cagarrutas contienen un elevado porcentaje en fibra (Osbañr & Restrepo, 2002), ya que tienden a secarse y endurecerse; sin embargo,

considerando la elevada humedad en las zonas en las que se distribuye la especie, se podría presentar una mayor acción por parte de organismos descomponedores, tales como hongos y bacterias. La estimación del tamaño poblacional de *D. branickii*, a partir del uso de letrinas, es prometedora, pero requiere ser validada en su hábitat natural para poder identificar prioridades de manejo, para esta especie vulnerable a la extinción.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue revisado y preparado por el autor quien declara que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por las instituciones que conforman el Pacarana Conservation Comité, con sede en la U.D.C.A.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALBERICO, M.; OSBAHR, K.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, A. 2006. Guagua loba (*Dinomys branickii*). En: Libro rojo de los mamíferos de Colombia. 1 ed. Bogotá, Panamericana Forma e Impresos S.A. p.294-297.
- ARAÚJO, A.J.G.; RANGEL, A.; FERREIRA, L.F. 1993. Animal parasitic infection and climate change in Northeastern Brazil. Mem. Inst. Oswaldo Cruz. 88:577-579.
- BARNES, R.F.W.; DUNN, A. 2002. Estimating forest elephant density in Sapo National Park (Liberia) with a rainfall model. Afr. J. Ecol. 40:159-163.
- BENNET, L.J.; ENGLISH, P.F.; MCCAIN, B. 1940. A study of deer population by use of pellet-group counts. J. Wildlife Managm. 4(4):398-403.
- BOHER, S.; MARIN, B. 1988. El pacarana (*Dinomys branickii*) en Venezuela. Natura. 84:14-18.
- CATTADORI, I.M.; HAYDON, D.T.; THIRGOOD, S.J.; HUDSON, P.J. 2003. Are indirect measures of abundance a useful index of population density? The case of red grouse harvesting. Oikos. 100:439-446.
- CHAME, M. 2003. Terrestrial mammal feces: A morphometric summary and description. Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro. 98(Suppl.1):71-94.
- CHAPMAN, N. 2004. Faecal pellets of Reeves' muntjac, *Muntiacus reevesi*: defecation rate, decomposition period, size and weight. Eur. J. Wildl. Res. 50:141-145.
- COE, M.J.; CARR, R.D. 1983. The relationship between large ungulate body weight and faecal pellet weight. Afr. J. Ecol. 21(3):165-174.
- DE BOER, W.F.; NTUMI, C.P.; CORREIA, A.U.; MAFUCA, J.M. 2000. Diet and distribution of elephant in the Maputo Elephant Reserve, Mozambique. Afr. J. Ecol. 38:188-201.
- DELAHAY, R.J.; BROWN, I.A.; MALLINSON, P.J.; SPYVEE, P.D.; HANDOLL, D.; ROGERS, L.M.; CHEESEMAN, C.L. 2000. The use of marked bait in studies of the territorial organization of the European badger (*Meles meles*). Mammal Review. 30:73-87.
- EISENBERG, J.F.; KLEIMAN, D.G. 1972. Olfactory communication in mammals. Ann. Rev. Ecol. and System. 3:1-32.
- ESPIRITO-SANTO, C.; ROSALINO, L.M.; SANTOS-REIS, M. 2007. Factors affecting the placement of common genet latrine sites in a Mediterranean landscape in Portugal. J. Mammalogy. 88(1):201-207.
- HOCHACHKA, W.M.; MARTIN, K.; DOYLE, F.; KREBS, C.J. 2000. Monitoring vertebrate population using observation data. Can. J. Zool. 78:527-529.
- HOMYACK, J.A.; HARRISON, D.J.; LITVAITIS, J.A.; KROHN, W.B. 2006. Quantifying densities of snowshoe hares in Maine using pellet plots. Wildlife Soc. Bull. 34(1):74-80.
- IRWIN, M.T.; SAMONDS, K.E.; RAHARISON, J.L.; WRIGHT, P. 2004. Lemur latrines: Observations of latrine behavior in wild primates and possible ecological significance. J. Mammalogy. 85(3):420-427.
- IUCN. 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.2. Disponible desde Internet en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (con acceso 13/01/10).

18. JOHNSON, R.P. 1973. Scent marking in mammals. *Animal Behaviour*. 21:521-535.
19. KOMERS, P.E.; BROTHERTON, P.N. 1997. Dung pellets used to identify the distribution and density of the dik-dik. *Afr. J. Ecol.* 35:124-132.
20. KREBS, C. 1999. *Ecological methodology*. Second Edition. University of British Columbia, Addison Wesley Longman Inc., 581p.
21. KREBS, C.H.J.; BOONSTRA, R.; NAMS, V.; O'DONOGHE, M.; HODGES, K.; BOUTIN, S. 2001. Estimating snowshoe hare population density from pellet plots: a further evaluation. *Can. J. Zool.* 79:1-4.
22. LANGBEIN, J.; HUTCHINGS, M.R.; HARRIS, S.; STOATE, C.; TAPPER, S.C.; WRAY, S. 1999. Techniques for assessing the abundance of brown hares *Lepus europaeus*. *Mammal Rev.* 29(2):93-116.
23. LINDENMAYER, D.B.; POSSINGHAM, H.P.; LACY, R.C.; MCCARTHY, M.A.; POPE, M.L. 2003. How accurate are population models? Lessons from landscape tests in a fragmented system. *Ecol. Letters*. 6:41-47.
24. LOMBARDI, L.; FERNÁNDEZ, N.; MORENO, S.; VIL-LAFUERTE, R. 2003. Habitat-related differences in rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) abundance, distribution and activity. *J. Mammalogy*. 84(1):26-36.
25. LÓPEZ, L.; LÓPEZ, I.; MORA, J.; OSBAHR, K. 2000. Estudio preliminar del comportamiento de *Dinomys branickii* (Peters, 1873) en cautiverio. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 3(1):28-35.
26. MCCARTHY, M.A.; ANDELMAN, S.; POSSINGHAM, H.P. 2003. Reliability of relative predictions in population viability analysis. *Conserv. Biol.* 17(4):982-989.
27. MURRAY, D.L.; ROTH, J.D.; ELLSWORTH, E.; WIRSING, A.J.; STEURY, T.D. 2002. Estimating low-density snowshoe hare populations using fecal pellet counts. *Can. J. Zool.* 80(4):771-781.
28. MURRAY, D.L.; ELLSWORTH, E.; ZACK, A. 2005. Assessment of potential bias with snowshoe hare fecal pellet-plot. *J. Wildlife Managem.* 69(1):385-395.
29. MYKYTOWYCZ, R.; GAMBALE, S. 1969. The distribution of dunghills and the behaviour of free living rabbits, *Oryctolagus cuniculus* (L.), on them. *Form and Function*. 1:333-349.
30. NEFF, D.J. 1968. The pellet-group counting technique for big game trend, census and distribution: A review. *J. Wildlife Managem.* 32(3):597-614.
31. OSBAHR, K.; BAUTISTA, J.L. 1998. Contribución al conocimiento de un parásito nemátodo (Oxiuridae) de la guagua loba (*Dinomys branickii*). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 1(1):34-42.
32. 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. Cient.* 2:42-49.
33. OSBAHR, K.; RESTREPO, D. 2002. Determinación de calcio, hierro, proteína y otros requerimientos de nutrientes de *Dinomys branickii* (Peters 1873). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 4 (1):44-55.
34. OSBAHR, K.; ORTÍZ, D.; PÉREZ-TORRES, J. 2007. Amplitud de nicho y selectividad alimentaria del borugo de páramo (*Cuniculus taczanowskii*) (Stolzmann 1885) en un bosque andino nublado (Zipacón – Cundinamarca). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 10(2):105-114.
35. OSBAHR, K.; ACEVEDO, P.; VILLAMIZAR, A.; ESPINOSA, D. 2009. Comparación de la estructura y de la función de los miembros anterior y posterior de *Cuniculus taczanowskii* y *Dinomys branickii*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 12(1):37-51.
36. PALOMARES, F. 1993. Faecal marking behaviour by free-ranging common genets *Genetta genetta* and Egyptian mongooses *Herpestes ichneumon* in southwestern Spain. *Zeitschrift für Säugetierkunde*. 58:225-231.
37. PÉREZ-MEJÍA, S.; MANDUJANO, S.; MARTÍNEZ-ROMERO, L.E. 2004. Tasa de defecación del venado

- cola blanca, *Odocoileus virginianus mexicanus*, en cautividad en Puebla, México. *Acta Zool. Mex.* (n.s.). 20(3):167-170.
38. PUTMAN, R. J. 1984. Facts from feces. *Mammal Rev.* 14:79-97.
39. RINEY, T. 1957. The use of faeces counts in studies of several free-ranging mammals in New Zealand. *New Zealand J. Sci. Techn. B.* 38(6):507-532.
40. ROPER, T.J.; CONRADO, L.; BUTLER, J.; CHRISTIAN, S.E.; OSTLER, J.; SCHMID, T.K. 1993. Territorial marking with faeces in badgers *Meles meles* a comparison of boundary and hinterland latrine use. *Behaviour.* 127:289-307.
41. SCOTT MILLS, L.; GRIFFIN, P.C.; HODGES, K.E.; MCKELVEY, K.; RUGGIERO, L.; ULIZIO, T. 2005. Pellet count indices compared to mark-recapture estimates for evaluating snowshoe hare density. *J. Wildlife Managem.* 69(3):1053-1062.
42. SIMONETTI, J. 1989. Tasas de defecación y descomposición de fecas de *Oryctolagus cuniculus* en Chile Central. *Medio ambiente* 10(1):92-95.
43. SNEDDON, I.A. 1991. Latrine use in the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *J. Mammalogy.* 72:769-745.
44. SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. 2000. *Biometry. Principles and Practices of Statistics in Biological Research.* Tercera Edición. Freeman and Company. New York (USA). 887p.
45. SPRENT, J.A.; ANDERSEN, N.A.; NICOL, S.C. 2006. Latrine use by the short-beaked echidna (*Tachyglossus aculeatus*). *Australian Mammalogy.* 28:131-133.
46. STILLMAN, R.A.; CALDOW, R.W.G.; GOSS-CUSTARD, J.D.; ALEXANDER, M.J. 2000. Individual variation in intake rate: the relative importance of foraging efficiency and dominance. *J. Anim. Ecol.* 69:484-493.
47. SULKAVA, R.; MÄKELÄ, A.; KOTIAHO, J.S.; MÖNKKÖNEN, M. 2008. Difficulty of getting accurate and precise estimates of population size: the case of the Siberian flying squirrel in Finland. *Ann. Zool. Fennici.* 45:521-526.
48. THEUERKAUF, J.; ELLENBERG, H. 2000. Movements and defaecation of forest elephants in the moist semi-deciduous Bossematié Forest Reserve, Ivory Coast. *Afr. J. Ecol.* 38:258-261.
49. TUYTTENS, F.A.M.; LONG, B.; FAWCETT, T.; SKINNER, A.; BROWN, J.A.; CHEESEMAN, C.L.; RODDAM, A.W.; MACDONALD, D.W. 2001. Estimating group size and population density of Eurasian badgers *Meles meles* by quantifying latrine use. *J. Appl. Ecol.* 38:1114-1121.
50. URY, H.K. 1976. A comparison of four procedures for multiple comparisons among means (pairwise contrasts) for arbitrary sample sizes. *Technometrics.* 18:89-97.
51. VERNES, K. 1999. Pellet counts to estimate density of a rainforest kangaroo. *Wildlife Soc. Bull.* 27(4):991-996.
52. VUCETICH, J.A.; WAITE, T.A.; QVARNEMARK, L.; IBARGÜEN, S. 2000. Population variability and extinction risk. *Conserv. Biol.* 14:1704-1714.
53. WHITE, T.G.; ALBERICO, M.S. 1992. *Dinomys branickii*. *Mammalian Species No. 410.* The American Society of Mammalogists. p.1-5.
54. WOODS, C.A. 1984. Hystricognath rodents. En: Anderson, S.; Jones, K. *Orders and families of recent mammals of the world.* John Wiley and Sons, New York., U.S.A. p.389-446.
55. ZHRATKA, J.L.; BUSKIRK, S.W. 2007. Is size of fecal pellets a reliable indicator of species of leporids in the southern rocky mountains? *J. Wildlife Managem.* 71(6):2081-2083.
56. ZOLLNER, P.A.; SMITH, W.P.; BRENNAN, L.A. 1996. Characteristics and adaptive significance of latrines of swamp rabbits (*Sylvilagus aquaticus*). *J. Mammalogy.* 77(4):1049-1058.

Recibido: Febrero 3 de 2010

Aceptado: Abril 7 de 2010

# EFFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE LA GERMINACIÓN DE LAS ESPORAS DE *Beauveria bassiana* Y LA PATOGENICIDAD A LA BROCA DEL CAFÉ *Hypothenemus hampei*

## EFFECT OF ENVIRONMENTAL MOISTURE ON THE GERMINATION OF *Beauveria bassiana* SPORES AND THEIR PATHOGENICITY AGAINST THE COFFEE BERRY BORER

Paula F. Arrubla M.<sup>1</sup>; Mauricio Cárdenas R.<sup>2</sup> Francisco J. Posada F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bacterióloga. Universidad Católica de Manizales. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia. Sede Plan alto, km. 4 vía Chinchiná- Manizales. Chinchiná (Caldas) – Colombia. <sup>2</sup> Diseñador Industrial. Programa jóvenes investigadores Convenio Colciencias – Cenicafé. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia. Sede Plan alto, km. 4 vía Chinchiná-Manizales. Chinchiná (Caldas) – Colombia. Bacterióloga. <sup>3</sup> Ing. Agrónomo. Entomólogo Ph.D. IPM-Perennial Crop Protection consultant. E-mail: fjavierposada@hotmail.com

Rev. U..D.C.A Actual. & Div. Cient. 13(1): 67-76, 2010

### RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la concentración, la pureza, la germinación y la patogenicidad sobre la broca del café de las esporas del hongo *Beauveria bassiana* en polvo, después de ser expuestas a los niveles de humedad de 99, 75, 65 y 39%, que se obtuvieron utilizando soluciones saturadas mantenidas en cámaras húmedas, a una temperatura constante de 24°C. Las evaluaciones del efecto de la humedad sobre las esporas, se realizaron luego de 1, 10 y 20 días de expuestas, a los niveles de humedad correspondientes. En los resultados, se obtuvo que la concentración, la pureza y la patogenicidad de las esporas, a través de los tiempos de exposición a los diferentes niveles de humedad, no presentaron marcada variación durante el tiempo de evaluación. La patogenicidad, se conservó con valores superiores a 86,7% en todos los niveles de humedad y tiempos de evaluación. La germinación fue la variable, que presentó la mayor variación y disminuyó, a través del tiempo: entre 88,9 a 82,1%, luego de un

día, entre 79 y 68%, después de diez días y entre 62,2 a 56,2%, posterior a los 20 días. La germinación para los diferentes niveles de humedad solo presentó diferencias significativas dentro de los tiempos de evaluación de 1 y 10 días.

Palabras clave: Hongo, patogenicidad, germinación, pureza, concentración, *Hypothenemus hampei*, café.

### SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the concentration, purity, germination and pathogenicity of *Beauveria bassiana* spores against the coffee berry borer, after being exposed to humidity levels of 99, 75, 65 and 39%, which were obtained using saturated solutions and kept in humid chambers at a constant temperature of 24 °C. Evaluations of the effect of moisture on the spores were carried out after 1, 10 and 20 days of exposure. The results showed that the concentration, purity and pathogenicity of the spores through exposition times at

different humidity levels did not present great variation during the time of evaluation. The pathogenicity remained above 86.7% at all humidity levels and evaluation times. The germination was the variable that presented the greatest variation and decreased over time: from 88.9 to 82.1% after one day, from 79 and 68% after ten days and from 62.2 to 56.2% after 20 days. The germination at different moisture levels showed significant differences only within the evaluation times of one and ten days.

Key words: Fungus, pathogenicity, germination, purity, concentration, *Hypothenemus hampei*, coffee.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las diferentes áreas de investigación sobre hongos entomopatógenos, la prolongación de la viabilidad de las esporas en almacenamiento recibe gran atención, como componente de la calidad y requisito para la comercialización de las formulaciones de estos agentes de control biológico (Bateman *et al.* 1993; Lisansky & Coombs, 1994; Moore *et al.* 1995, Marquez & Alves, 1996). Para alcanzar este objetivo, las esporas se cosechan y se conservan con bajos niveles de humedad y se almacenan a bajas temperaturas (Moore *et al.* 1995). Sin embargo, existe un gran desconocimiento del efecto de los factores ambientales sobre las esporas de los hongos, luego de aplicadas en el campo, especialmente, de la humedad y la temperatura, sobre la germinación y la patogenicidad. El efecto de la radiación solar ha recibido más atención y se conoce que tiene efecto deletéreo sobre la viabilidad de las esporas (Moore *et al.* 1993; Vélez & Montoya, 1993; Inglis *et al.* 1995).

De los hongos entomopatógenos recién producidos o formulados, se conoce que las esporas inician la germinación cuando están en presencia de altos niveles de humedad relativa o agua libre (McCoy *et al.* 1988); sin embargo, existe evidencia que pueden germinar a bajos niveles de humedad cuando está presente el insecto hospedante (Ferron, 1978). En relación con la temperatura, se conoce que la sobrevivencia de las esporas se logra entre 20 y 30°C. Si las esporas se exponen a temperaturas altas, alrededor de 45°C, se puede presentar atraso de la germinación y no reducción en el número de esporas que germinan (Moore *et al.* 1995). La velocidad de germinación de las esporas puede tener ventajas en la infección de los hospedantes en campo, dependiendo del tiempo en que entran en

contacto con el insecto contra el que va dirigida la aplicación (Posada & Vega, 2005).

Vélez (1997) encontró que después de asperjar esporas de *B. bassiana* formuladas en aceite o agua sobre el follaje de árboles de café era posible recuperar, a los 14 días, 50.000 unidades formadoras de colonias del hongo. Estos resultados indican que de presentarse poblaciones de la broca y entrar en contacto con el follaje tratado con esporas es posible que ocurra la infección. Esto ha sido demostrado en bioensayo asperjando hojas de café en laboratorio (Posada *et al.* 2002). El nivel de infección de *B. bassiana* tiende a disminuir después de la aplicación, en proporción al tiempo de exposición de las esporas a la radiación solar, más que al efecto de otros factores ambientales o del tipo de formulación (Inglis *et al.* 1993).

Los resultados de las aplicaciones por aspersión del hongo *B. bassiana* sobre la broca del café para evaluar la patogenicidad en campo son muy variables (Lacayo *et al.* 1994; Sponagel, 1994; Flórez *et al.* 1997; Posada *et al.* 2002) y, posiblemente, obedecen a factores como la tecnología de aplicación, la formulación, las condiciones ambientales de exposición a la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa y el momento de aplicación en relación con la emergencia y tránsito de la broca del café.

Los hongos entomopatógenos, además de ser formulados para aplicación por aspersión, se pueden emplear en otras formas, como cebos, pellets y gránulos. Estos tipos de formulación permiten colocar los hongos en trampas que atraen o que brindan refugio a los insectos. Esta respuesta, se ha complementado con el uso de caimonomas o feromonas en las trampas, donde la captura y la muerte del insecto no es más importante que la atracción y paso del insecto por la trampa, que se ha encontrado promisorio para aplicación de organismos entomopatógenos. La utilización de estos métodos persigue aprovechar el comportamiento de los insectos para inocularlos o infectarlos y diseminar los patógenos (Vega *et al.* 1995; Inglis *et al.* 1996; Hidalgo *et al.* 1998; Klein & Lacey, 1999; Smith *et al.* 1999, Bextine & Thorvilson, 2002; Dow & Vega, 2003; Koller *et al.* 2005; Hossain *et al.* 2007; Tinzaara *et al.* 2007; Arrubla *et al.* 2008).

Esta forma de aplicación, manipulando a los insectos como vectores, se ha visto como un medio práctico y

económico para el provecho de los hongos en el control de plagas y enfermedades de plantas. Como insectos vectores, se utilizan tanto plagas como benéficos; dentro de las plagas, insectos de importancia agrícola y de salud pública (Maniania, 2002; Koller *et al.* 2005, Hossain *et al.* 2007) y respecto benéficos, como los polinizadores, se utilizan las abejas para transportar el hongo *Trichoderma* a las flores de plantas, para el control de *Botrytis* sp., o los abejorros del género *Bombus*, para dispersar el hongo *B. bassiana*, para el control de moscas blancas en invernaderos (Shafir *et al.* 2006; Kapongo *et al.* 2008). Entre las ventajas de este sistema de aplicación de agentes de control biológico: se asegura disminuir la cantidad de inóculo, localizarlo en el sitio apropiado en la cantidad necesaria y, por consiguiente, se contribuye a reducir los costos de aplicación. Adicionalmente, disminuye los riesgos de contaminación y el efecto adverso sobre otros insectos o fauna benéfica

Dentro de la línea de investigación que busca aprovechar las trampas de captura de la broca del café (Cárdenas, 2000; Dufour, 2006) para infectar los adultos y autodiseminar el hongo en el campo, se evaluó y se escogió el sistema de aplicación de las esporas en polvo, porque con este método se obtuvo el mejor resultado de adherencia de las esporas al cuerpo de la broca, en un estudio previo (Arrubla *et al.* 2008).

Continuando con el avance de esta línea de investigación y por desconocerse el efecto de los factores ambientales sobre la viabilidad y la patogenicidad de las esporas, después de ser aplicadas, en este trabajo se tuvo como objetivo medir la concentración, la pureza, la germinación y la patogenicidad sobre la broca del café de las esporas de *B. bassiana*, aplicadas en polvo en una superficie inerte y expuestas a diferentes condiciones de humedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé), Chinchiná, Caldas. Se emplearon esporas de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vill. del aislamiento Bb9205, producidas con el método líquido-sólido (difásico) de fermentación, en la planta piloto de Cenicafé. Las esporas, se utilizaron en polvo después ser tamizadas (60 mallas (250 $\mu$ m)) y secadas, hasta obtener un contenido de humedad <10%. Previamente,

las esporas se mantuvieron almacenadas en disecadores con sílica gel, en un cuarto climatizado con 15°C y una humedad relativa de 50% en promedio. Antes de comenzar el experimento, se realizó un control de calidad de las esporas incluyendo evaluaciones de concentración, de pureza, de viabilidad y de patogenicidad hacia *H. hampei*.

Las condiciones ambientales, se establecieron a 24°C de temperatura y un ciclo de luz/oscuridad de 12:12 horas. La humedad relativa se obtuvo aplicando soluciones saturadas de KNO<sub>3</sub>, NaCl + KCl, Glucosa y MgCl<sub>6</sub>H<sub>2</sub>O, que permitieron alcanzar 90, 77, 65 y 39% de HR, respectivamente (Peterson, 1959; Gilbert *et al.* 2008). Estas soluciones saturadas, se colocaron en cajas de acrílico de 15x10x5cm sin tapa y se cambiaron cada diez días, para conservar constantes los niveles de humedad. Las esporas, se mantuvieron expuestas a los niveles de humedad en “cajas multiusos” de acrílico transparente de 30x20x12cm. Las cajas, se perforaron lateralmente, para adaptar un termohigrómetro y registrar la humedad.

Las muestras de las esporas, se prepararon para la exposición a las diferentes condiciones de humedad, colocando en cajas de Petri de vidrio sin tapa un gramo de esporas en polvo y cada nivel de humedad relativa tuvo tres cajas o réplicas sin reemplazo. Las cajas de Petri con las muestras de esporas, se colocaron dentro de las “cajas multiusos”, correspondientes a cada tratamiento, las cuales, contenían las soluciones saturadas que proporcionaron las humedades antes mencionadas.

Al momento de la evaluación, las esporas removieron y se tomaron tres submuestras de 0,01g de las esporas en polvo, expuestas a las diferentes humedades relativas. Cada sub-muestra, se suspendió en 10mL de una solución de agua destilada estéril + Tween 80 al 0,1%, obteniendo, de esta forma tres soluciones madres o iniciales, que se emplearon para preparar diluciones consecutivas y se utilizaron para aplicar dos réplicas por submuestra, para determinar las variables: concentración, germinación y pureza. La patogenicidad, se evaluó por inmersión de los adultos de la broca en las suspensiones de esporas, con una concentración de 1x10<sup>7</sup> esporas/mL, obtenida a partir de las soluciones preparadas, previamente. La evaluación de estas variables, se hizo siguiendo la metodología establecida para la evaluación de entomopatógenos por Vélez *et al.* (1997).

Para el análisis estadístico de los datos el estudio, se organizó en un diseño completamente al azar. Se evaluaron doce tratamientos, que estuvieron conformados por cuatro niveles de HR (90, 77, 65 y 39%) y tres de tiempo de exposición: 1, 10, y 20 días y se evaluaron por las variables: concentración, pureza, germinación y patogenicidad; cada tratamiento y variable tuvo seis repeticiones. Los resultados de las variables respuesta concentración y pureza, se analizaron con estadística descriptiva, mientras que las variables germinación y patogenicidad se sometieron al análisis de varianza, con un nivel de significancia del 95% (SAS Institute, 2003). La patogenicidad, se corrigió con la fórmula de Abbott, porque en el control se presentó mortalidad, ocasionada por otras causas y por hongos, considerados contaminantes (Abbott, 1925).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas de calidad de las esporas, previo al inicio del experimento, registraron una concentración  $9,5 \times 10^{10}$  esporas/gramo, pureza 99%, viabilidad 98% y patogenicidad 93,3%.

La concentración de las esporas, en los tiempos de evaluación a los 1, 10 y 20, días equivalió a las concentraciones colocadas en las cajas de Petri, al momento de iniciar el experimento. La concentración en las condiciones de la evaluación, se esperaba que no sufriera ninguna alteración, ya que el medio en el que se expusieron las esporas era totalmente inerte; sin embargo, se prevé que cuando se valide la creación de depósitos en las trampas, en condiciones de campo, esta variable puede llegar a sufrir mayores cambios, por el viento y la dinámica de las visitas de las brocas, que van a remover esporas.

La pureza de las esporas ocasionó que en las diferentes evaluaciones la formación de colonias fue superior al 98% en todos los niveles de humedad. (Tabla 1). En todas las evaluaciones hubo presencia de hongos contaminantes, como: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* y Levaduras, con porcentajes de unidades formadoras de colonias, menores del 1,0%. En general, las esporas en polvo evaluadas conservaron una alta pureza, debida, probablemente, a que durante el tiempo de estudio estuvieron confinadas en las cámaras ambientales. La presencia de estos contaminantes en la esporas puede provenir del proceso de producción y cosecha de las esporas o cuando éstas se depositaron en la cámara de humedad, durante el proceso de manipulación de las muestras.

La germinación fue la variable que mayor variación presentó. Los resultados de germinación disminuyeron en forma gradual y guardaron un rango de variación, entre la mayor y menor germinación de 7,7, 10,4 y 6,0%, para 1, 10 y 20 días de evaluación, respectivamente. En la primera evaluación, de un día, la germinación logró el mayor valor con 90% de humedad y disminuyó al decrecer el contenido de esta. En el último lapso conservó valores superiores a 55%. A los 10 y 20 días de evaluación la tendencia de la germinación sufrió mayor variación. Los valores más altos de germinación, se lograron con los niveles de 39 y 77% de humedad y las menores con el nivel de 65%.

En el diagnóstico por evaluación (1 día), se presentaron niveles superiores al 80% de germinación. En el análisis estadístico, se encontró diferencias significativas entre la humedad de 90% y 39% (GL = 3, 39, F = 4,51; P = 0.008). En la segunda evaluación, después de transcurrir diez días, la germinación decreció a niveles entre 79,2

Tabla 1. Porcentaje de pureza de esporas en polvo de *B. bassiana* expuestas a diferentes niveles de humedad relativa.

| Humedad % | Evaluación        |                   |                   |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|           | 1 día             | 10 días           | 20 días           |
|           | Promedio $\pm$ DE | Promedio $\pm$ DE | Promedio $\pm$ DE |
| 90        | 99,9 $\pm$ 0,0    | 99,9 $\pm$ 0,1    | 99,8 $\pm$ 0,2    |
| 77        | 99,9 $\pm$ 0,1    | 100,0 $\pm$ 0,0   | 100,0 $\pm$ 0,0   |
| 65        | 99,9 $\pm$ 0,1    | 100,0 $\pm$ 0,0   | 98,8 $\pm$ 0,4    |
| 39        | 99,0 $\pm$ 0,2    | 99,4 $\pm$ 0,0    | 99,5 $\pm$ 0,5    |



y 68,2% y el análisis estadístico reveló diferencias significativas, entre las humedades de 90, 77 y 65%, y la de 39%, que alcanzó la mayor germinación (GL = 3, 39, F = 10,52; P= 0.0001). En la tercera evaluación, después de 20 días de permanecer, las esporas en los niveles de humedad, la germinación varió entre 62,2 y 56,2%; en los resultados no se encontró diferencias significativas, entre los niveles de humedad (GL = 3,39; F = 2,43; P= 0,081).

La germinación, se conservó por encima del 50% al final de los 20 días de evaluación, permitiendo su empleo en trampas con atrayentes, para inocular, infectar y dispersar el hongo, por medio de insectos, como la broca del café. Esto se afirma con base en los resultados previos sobre esta línea de investigación, donde se demostró que la broca puede adquirir, caminando sobre depósitos de esporas en polvo, en menos de un minuto de exposición,

hasta 21.556 esporas (Arrubla *et al.* 2008). Esta cifra garantiza que en la aplicación del hongo en trampas, las brocas que entren en contacto con las esporas y regresen al campo van a ser infectadas, como se demostró en las pruebas de patogenicidad, cuando en todos los tiempos de evaluación la mortalidad estuvo por encima del 86,0% (Tabla 2). Adicionalmente, hay que tener en cuenta que la broca es un insecto altamente susceptible al hongo *B. bassiana*, ya que cuando entra en contacto, por un minuto con esporas depositadas sobre una superficie tratada con 81 esporas/cm<sup>2</sup>, en promedio, es posible tener 82,5 ó 70,0% de mortalidad, dependiendo de si la formulación aplicada es en aceite o en agua (Posada *et al.* 2002).

Asegurar 100% de esporas viables en una aplicación es altamente deseable, con el propósito de asegurar la máxima infección y poder comparar, en igualdad de

Tabla 2. Mortalidad de la broca del café expuesta a esporas en polvo de *B. bassiana*, en diferentes niveles de humedad relativa.

| Humedad %          | <i>B. bassiana</i> sin corregir | <i>B. bassiana</i> + Otras causas sin corregir | <i>B. bassiana</i> corregido Abbott |
|--------------------|---------------------------------|--|-------------------------------------|
|                    | Promedio ± D:E                  | Promedio ± D:E                                 | Promedio ± D:E                      |
| Evaluación 1 día   |                                 |  |                                     |
| 90                 | 95,0 ± 8,4 A                    | 96,7 ± 5,2 A                                   | 94,8 ± 8,5 A                        |
| 77                 | 98,3 ± 4,2 A                    | 100,0 ± 0,0 A                                  | 98,3 ± 4,1 A                        |
| 65                 | 96,7 ± 5,2 A                    | 100,0 ± 0,0 A                                  | 98,3 ± 4,1 A                        |
| 39                 | 98,3 ± 4,1 A                    | 100,0 ± 0,0 A                                  | 98,3 ± 4,1 A                        |
| Testigo            | 0,0 ± 0,0 B                     | 23,3 ± 15,3 B                                  |                                     |
| Evaluación 10 días |                                 |  |                                     |
| 90                 | 98,3 ± 4,1 A                    | 100,0 ± 0,0 A                                  | 100,0 ± 0,0 A                       |
| 77                 | 93,3 ± 5,2 AB                   | 100,0 ± 0,0 A                                  | 100,0 ± 0,0 A                       |
| 65                 | 86,7 ± 10,3 B                   | 95,0 ± 8,4 A                                   | 94,8 ± 8,5 A                        |
| 39                 | 100,0 ± 0,0 A                   | 100,0 ± 0,0 A                                  | 100,0 ± 0,0 A                       |
| Testigo            | 3,3 ± 5,7 C                     | 6,7 ± 5,8 B                                    |                                     |
| Evaluación 20 días |                                 |  |                                     |
| 90                 | 96,7 ± 5,6 A                    | 98,3 ± 4,1 A                                   | 96,7 ± 5,2 A                        |
| 77                 | 90,0 ± 12,6 A                   | 96,7 ± 5,2 A                                   | 94,8 ± 5,7 A                        |
| 65                 | 95,0 ± 8,7 A                    | 98,3 ± 4,1 A                                   | 96,7 ± 5,2 A                        |
| 39                 | 98,3 ± 4,1 A                    | 100,0 ± 0,0 A                                  | 98,3 ± 4,1 A                        |
| Testigo            | 0,0 ± 0,0 B                     | 6,7 ± 5,8 B                                    |                                     |

\* Promedios seguidos por la misma letra, en las columnas, no presentan diferencia significativa (Prueba de Duncan P ≤ 0,05).

condiciones, respuesta a concentraciones (Ugine *et al.* 2005); sin embargo, en el caso de la aplicación de esporas en depósitos, sujetos al efecto inmediato de los factores ambientales, no es tan exigente contar con esporas con 100% de viabilidad; incluso en el proceso de producción es difícil obtener esporas 100% viables. Para cumplir con este requisito, se necesitaría adicionar mayor cantidad de esporas, lo que resultaría en un costo extra.

Los resultados de la germinación indican que no es preciso hacer correcciones para tener esporas 100% viables, puesto que por los estimativos presentados previamente, se puede recomendar el uso de las esporas con niveles de germinación superiores a 50%, depositadas en una superficie inerte, por un tiempo hasta de 20 días. Esta recomendación de aplicación obedece al conocimiento que se tiene del comportamiento de la broca de entrar en contacto con el hongo, de adquirir esporas y de conocer la cantidad de esporas necesarias que se requieren para infectar la broca y causar su muerte (CI50) (Posada *et al.* 2002; Arrubla *et al.* 2008).

La patogenicidad para todas las evaluaciones causó una mortalidad de la broca del café superior al 85%. En la primera evaluación, la mortalidad superó el 95%, mientras que en la segunda, el valor más bajo, 86,7%, para todo el experimento, se presentó en el tratamiento de 65% de humedad. En la tercera evaluación, la mortalidad para todos los tratamientos fue superior al 90% (Tabla 2).

En las valoraciones, se encontró mortalidad de la broca del café sin signos del hongo *B. bassiana* y brocas con crecimiento de hongos considerados contaminantes. A este conjunto de mortalidad, se le denominó muerte por otras causas. La mayor mortalidad por otras causas, se presentó en el testigo de la primera evaluación (23,3%), donde la presencia de brocas que mostraron crecimiento de hongos contaminantes, alcanzó 11,7%; los hongos contaminantes, se identificaron como *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*. La presencia de ellos, tanto en las esporas (Tabla 1) como en las evaluaciones de patogenicidad (Tabla 2), alcanzaron niveles de 10%, que es considerado como el máximo tolerable de mortalidad, por otras causas en bioensayos.

Respecto a la presencia de contaminantes sobre la broca, se conoce que existe una alta cantidad y diversidad de

microorganismos, que aparecen como contaminantes en los bioensayos de pruebas de patogenicidad (Posada *et al.* 1998; Posada *et al.* 2002). La presencia de hongos contaminantes sobre la broca, probablemente, se debe a que éstos están presentes en el interior (intestino) o adheridos al integumento del insecto (Pérez *et al.* 2003). La broca obtiene estos microorganismos contaminantes durante el proceso de cría en las cerezas de café, a pesar de los procesos de desinfección del grano y de la broca.

En las pruebas de patogenicidad cuando la broca muere por causas naturales o por acción de los entomopatógenos, los contaminantes crecen como saprofitos (Posada *et al.* 1998; Posada *et al.* 2002). Se sospecha que su presencia y su crecimiento, se debe a las condiciones favorables del estudio y, que crecen simultáneamente con los hongos entomopatógenos y, en algunos casos, son completamente dominantes y no se puede encontrar el hongo entomopatógeno, que se está evaluando.

Lo anterior puede conducir a descalificar a los hongos entomopatógenos y la propuesta de utilizar las trampas para la auto-diseminación de las esporas del hongo *B. bassiana*. Para evitar que esto ocurra, se debe conocer, apropiadamente, estos contaminantes y tomar las medidas de asepsia en la producción de las esporas, en la ejecución de los bioensayos y en la selección del material biológico (esporas y la broca dependiendo del método de cría), para prevenir que tomen ventaja y parezcan como dominantes. Todavía, se desconoce el nivel de presencia de los contaminantes que puede afectar la eficiencia de infección de la broca por competencia con el hongo *B. bassiana* o que puede llegar a aparecer sobre los cadáveres de la broca de realizarse pruebas de patogenicidad con brocas capturadas en trampas con atrayentes y que, a su vez, se vayan a utilizar para dispersar el hongo en los cafetales.

Los resultados indican que las esporas de *B. bassiana* en polvo, expuestas a los niveles de humedad relativa por un tiempo de 20 días conservaron la patogenicidad con niveles altos, superior al 86%, en condiciones de laboratorio (24°C en promedio) (Tabla 2). Estos resultados señalan que las esporas de *B. bassiana* se pueden utilizar con seguridad, ya que la humedad relativa no afectó la patogenicidad de las esporas por el tiempo de evaluación y dan la oportunidad de poder ser

empleadas en ambientes, como el de la zona cafetera, donde predominan las condiciones evaluadas de temperatura y de humedad relativa (Guzmán & Baldión, 2003).

La tendencia de conservación de la germinación y de la patogenicidad de las esporas con valores superiores al 55 y 86%, respectivamente, por 20 días y los criterios analizados de concentración y pureza (Figura 1, Tabla 2), estimula considerar el uso de trampas con atrayentes de la broca, y que contengan depósitos de esporas, que, simultáneamente, permitan la infestación de la broca. Esta metodología validada en campo y de resultar exitosa puede llegar a ampliar el uso de métodos de aplicación de los hongos entomopatógenos. Adicionalmente, permite hacer un empleo racional y ahorro de recursos, como son las esporas y el tiempo de labores para mantener las trampas, ya que regularmente hay que cambiar y colocar nuevos depósitos de esporas infectivas contra la broca del café.

Se prevé que este sistema de aplicación del hongo en trampas y el uso de la broca para diseminar el hongo es altamente promisorio, puesto que garantiza

el mantenimiento de una población alta de inóculo (esporas), no solo en las trampas sino también reciclando en el campo sobre los cadáveres de la broca, los cuales, se ha estimado que pueden producir hasta  $1 \times 10^6$  esporas por broca (Narváez *et al.* 1997; Posada & Vega, 2005). Este modelo de manipulación del hongo puede ahorrar costos de aplicación, con equipos convencionales, donde las esporas quedan expuestas a los factores ambientales que deterioran, rápidamente, su calidad (Inglis *et al.* 1993, 1995), permite el uso de menos cantidades de hongo y se constituye en un método agro-ecológico de gran impacto socio-económico para los productores del grano, que poseen limitaciones de mano de obra y recursos financieros.

Adicional a esto, es importante determinar que el tiempo de aplicación corresponda con el tiempo de máxima actividad (tránsito) de la broca del café. En la aspersión en campo, se busca que la aplicación asegure el óptimo cubrimiento y la infección del insecto; sin embargo, esto no se logra, generalmente, por las condiciones del terreno que no permiten el tratamiento en una forma rápida, ya que los equipos empleados en el cultivo del café y la topografía del terreno (Waller *et al.* 2007) no

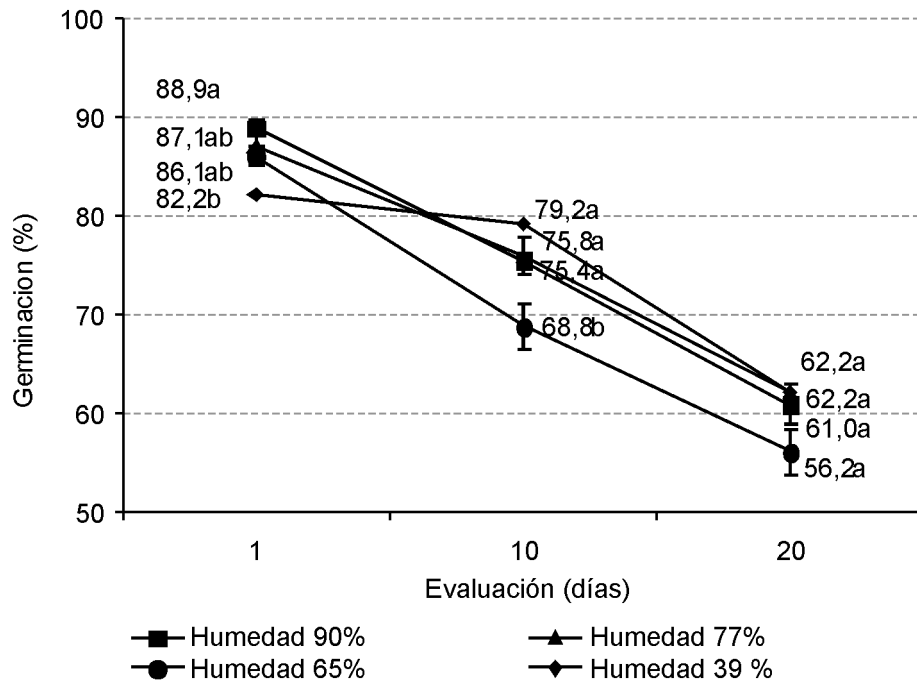


Figura 1. Germinación de las esporas de *B. bassiana*, a través del tiempo, bajo diferentes niveles de humedad relativa.

permiten obtener un buen cubrimiento o depósito de gotas con esporas. Es por esto que la propuesta de utilizar diseños de trampas con atrayentes y que protejan los depósitos de esporas de los factores ambientales, se considera que puede llegar a contribuir a hacer el mejor uso de las esporas, como insumo biológico, al garantizar su viabilidad e infectividad, por un largo tiempo (Figura 1, Tabla 2). El próximo paso en esta línea de investigación es validar los resultados en campo y medir el efecto de los factores ambientales, incluido la temperatura, la humedad, la radiación y el viento.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores expresan sus agradecimientos a Eduardo Osorio, por su colaboración en la ejecución de los experimentos. A Cenicafé y Conciencias, por la financiación. A Mónica Pava-Ripoll, por revisiones a este manuscrito. Conflictos de intereses: Esta investigación y el manuscrito fueron realizados por todos los autores, por tanto, declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de la presente publicación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABBOTT, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18:265-267.
2. ARRIBLA M., P.F.; CÁRDENAS R., M.; POSADA F., F.J. 2008. Adherencia de las esporas de *Beauveria bassiana* formuladas en polvo y líquido sobre la broca del café. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 11(1):123-131.
3. BATEMAN, R.P.; CAREY, M.; MOORE, D.; PRIOR, C. 1993. The enhanced infectivity of *Metarhizium flavoviride* in oil formulations to desert locusts at low humidities. *Ann. Appl. Biol.* 122:145-152.
4. BEXTINE, B.; THORVILSON, H.G. 2002. Field Applications of bait-formulated *Beauveria bassiana* alginate pellets for biological control of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae). *Environ. Entomol.* 31(4):746-752.
5. CÁRDENAS M., R. 2000. Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). In: SIMPOSIO Latinoamericano de Caficultura, 19. San José (Costa Rica), Octubre 2-6, 2000. *Memoorias*. San José (Costa Rica), ICAFE-PROMECAFE. p.369-379.
6. DOWD, P.F.; VEGA, F.E. 2003. Autodissemination of *Beauveria bassiana* by sap beetles (Coleoptera: Nitidulidae) to overwintering sites. *Biocontrol Sci. Techn.* 13(1):65-75.
7. DUFOUR, B.P. 2006. Elaboración de un método estándar para la evaluación del trampeo de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferr. *Bol. Promecafé (Costa Rica)*. 109:5-9.
8. FERRON, P. 1978. Biological control of insect pests by entomogenous fungi. *Ann. Rev. Entomol.* 23:409-442.
9. FLÓREZ M., E.; BUSTILLO P., A.E.; MONTOYA R., E.C. 1997. Evaluación de equipos de aspersión para el control de *Hypothenemus hampei* con el hongo *Beauveria bassiana*. *Cenicafé (Colombia)*. 48(2):92-98.
10. GILBERT, J.; WOODS, S.M.; KROMER, U. 2008. Germination of ascospores of *Gibberella zeae* after exposure to various levels of relative humidity and temperature. *Phytopathology*. 98:504-508.
11. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. 2003. El clima en la sede principal del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Caldas. *Cenicafé (Colombia)* 54(2):110-133.
12. HIDALGO, E.; MOORE, D.; LE PATOUREL, G. 1998. The effect of different formulation of *Beauveria bassiana* on *Sitophilus zeamais* in stored maize. *J. Stored Prod. Res.* 34(2-3):171-179.
13. HOSSAIN, M.S.; WILLIAMS, D.G.; HOSSAIN, M.A.B.M.; NORNG, S. 2007. Comparison of trap designs for use with aggregation pheromone and synthetic co-attractant in a user-friendly attract and kill system to control *Carpophilus* spp. (Coleoptera: Nitidulidae). *Austral. J. Entomol.* 46: 244-250.
14. INGLIS, G.D.; GOETTEL, M.S.; JOHNSON, D.L. 1993. Persistence of the entomopathogenic

- fungus, *Beauveria bassiana*, on phylloplanes of crested wheatgrass and alfalfa. *Biol. Control*. 3:258-270.
15. INGLIS, G.D.; JOHNSON, D.L.; GOETTEL, M.S. 1995. Influence of ultraviolet light protectants on persistence of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *Biol. Control*. 5:581-590.
16. INGLIS, G.D.; JOHNSON, D.L.; GOETTEL, M.S. 1996. Effect of bait substrate and formulation on infection of grasshopper nymphs by *Beauveria bassiana*. *Biocontrol Sci. Techn.* 6:35-50.
17. KAPONGO, J.P.; SHIPP, L.; KEVAN, P.; BROADBENT, B. 2008. Optimal concentration of *Beauveria bassiana* vectored by bumble bees in relation to pest and bee mortality in greenhouse tomato and sweet pepper. *Biol. Control*. 53(5):797-812.
18. KLEIN, M.G.; LACEY, L.A. 1999. An attractant trap for autodissemination of entomopathogenic fungi into population of the Japanese beetles *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Biocontrol Sci. Techn.* 9:151-158.
19. KOLLER, R.; JUNG, K.; SCHEU, S.; ZIMMERMANN, G.; RÜTHER, J. 2005. Biocontrol of the forest cockchafer (*Melolontha chafer hippocastani*): Experiments on the applicability of the "Catch and Infect"- Technique using a combination of attractant traps with the entomopathogenic fungus *Beauveria brongniartii*. *IOBC/wprs Bull.* 28(2):37-44.
20. LACAYO, L.; BARRIOS, M.; JIMÉNEZ, C.; SANDINO, V. 1994. Uso de hongos entomopatógenos para el manejo de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Nicaragua. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Nicaragua, MAG Proyecto CATIE – INTA / MIP. 5p.
21. LISANSKY, S.G.; COOMBS, J. 1994. Developments in the market for biopesticides. Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases. 1:1049-1054.
22. MANIANIA, N.K. 2002. A low-cost contamination device for infecting adult Tsetse Flies, *Glossina* spp., with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* in the Field. *Biocontrol Sci. Techn.* 12:59- 66.
23. MARQUEZ, E.J.; ALVES, S.B. 1996. Optimization of formulations on the preservation of conidia of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorok. under different conditions of storage. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*. 39:861-877.
24. MCCOY, C.W.; SAMSON, R.A.; BOUCIAS, D.G. 1988. Entomogenous fungi. p. 151-236. In: IGNOFFO, C.M. Ed. Handbook of Natural Pesticides, Vol. 5, Microbial Insecticides, Part A, Entomopathogenic Protozoa and Fungi. CRC Press, Boca Raton, Florida. 243p.
25. MOORE, D.; BRIDGE, P.D.; HIGGINS, P.M.; BATEMAN, R.P.; PRIOR, C. 1993. Ultra-violet radiation damage to *Metarhizium flavoviride* conidia and the protection given by vegetable and mineral oils and chemical sunscreens. *Ann. Appl. Biol.* 122:605-616.
26. MOORE, D.; BATEMAN, R.P., CAREY, M.; PRIOR, C. 1995. Long-term storage of *Metarhizium flavoviride* conidia in oil formulations for the control of locusts and grasshoppers. *Biocontrol Sci. Techn.* 5:193-199.
27. NARVÁEZ G., M. del P.; GONZÁLEZ G., M.T.; BUSTILLO P., A.E.; CHAVES C., B.; MONTOYA R., E.C. 1997. Producción de esporas de los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* cultivados en arroz y sobre la broca del café. *Rev. Col. Entomol.* 23(2-3):125-131.
28. PÉREZ, J.; INFANTE, F.; VEGA, F.E.; HOLGUÍN, F.; MACÍAS, J.; VALLE, J.; NIETO, G.; PETERSON, S.W.; KURTZMAN, C.P.; O'DONNELL, K. 2003. Mycobiota associated with the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Mexico. *Mycol. Res.* 107:879-887.
29. PETERSON, A. 1959. Entomological techniques. How to work with insects. Ed. Edwards Brothères. Michigan.435p.

30. POSADA F., F.J.; MARÍN M., P.; PÉREZ S., M. 1998. *Paecilomyces lilacinus*, enemigo natural de adultos de *Hypothenemus hampei*. Cenicafé (Colombia). 49(1):72-77.
31. POSADA F., F.J.; OSORIO, V.E.; VELÁZQUEZ S., E.T. 2002. Evaluación de la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café empleando el método de aspersión foliar. Rev. Col. Entomol. 28(2):139-144.
32. POSADA, F.; VEGA, F. 2005. A new method to evaluate the biocontrol potential of single spore isolates of fungal entomopathogens. 10p. J. Insect Science. 5:37. Disponible desde Internet en: [insectscience.org/5.37](http://insectscience.org/5.37) (con acceso el 09/10/09).
33. SAS, INSTITUTE. 2003. SAS/Stat. User's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1028p.
34. SHAFIR, S.; DAG, A.; BILU, A.; ABU-TOAMY, M.; ELAD, Y. 2006. Honey bee dispersal of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* T39: effectiveness in suppressing *Botrytis cinerea* on strawberry under field conditions. Europ. J. Plant Pathology. 116(2):119-128.
35. SMITH, S.M.; MOORE, D.; KARANJA, L.W.; CHANDI, E.A. 1999. Formulation of vegetable fat pellets with pheromone and *Beauveria bassiana* to control the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn.). Pest. Sci. 55:711-718.
36. SPONAGEL, K.W. 1994. La broca del café *Hypothenemus hampei* en plantaciones de café robusta en la Amazonía Ecuatoriana. Wissenschaftlicher Fachverlag. Giessen. Alemania. 185p.
37. TINZAARA, W.; GOLD, C.S.; DICKE, M.; VAN HUIS, A.; NANKINGA, C.M.; KAGEZI, G.H.; RAGAMA, P. 2007. The use of aggregation pheromone to enhance dissemination of *Beauveria bassiana* for the control of the banana weevil in Uganda. Biocontrol Sci. Techn. 17(2):111-124.
38. UGINE, T.A.; WRAIGHT, S.P.; BROWNBRIDGE, M.; SANDERSON, J.P. 2005. Development of a novel bioassay for estimation of median lethal concentrations (LC50) and doses (LD50) of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*, against western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. J. Invertebr. Path. 89:210-218.
39. VEGA, F.E.; DOWD, P.F.; BARTELT, R.J. 1995. Dissemination of microbial agents using an auto-inoculating device and several insect species as vectors. Biol. Contr. 5:545-552.
40. VÉLEZ A., P.E. 1997. Evaluación de formulaciones en aceite y agua del hongo *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin en campo. Rev. Col. Entomol. 23(1-2):137-142.
41. VÉLEZ A., P.E.; MONTOYA R., E.C. 1993. Supervivencia del hongo *Beauveria bassiana* bajo radiación solar en condiciones de laboratorio y campo. Cenicafé (Colombia). 44(3):111-122.
42. VÉLEZ A., P.E.; POSADA F., F.J.; MARÍN, P.; BUSTILLO P., A.E.; GONZALES G., M.T.; OSORIO, E. 1997. Técnicas para el control de calidad de formulaciones de hongos entomopatógenos. Boletín Técnico, N° 17. Cenicafé (Colombia). 37p.
43. WALLER, J.M.; BIGGER, M.; HILLOCKS, R.J. 2007. Coffee pests, diseases and their management. Wallingford (Inglaterra), CAB. 434p.

Recibido: Agosto 27 de 2009

Aceptado: Febrero 19 de 2010

# EFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE CACHAZA EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*)

## EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF FRESH FILTER CAKE IN THE CORN CROP (*Zea mays*)

Fabio Emilio Forero<sup>1</sup>, Juan Pablo Fernández<sup>2</sup>, Javier Giovanni Álvarez-Herrera<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Profesor Tiempo Completo. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Av. Central del Norte km 0 vía Paipa. Tunja, Colombia. e-mail: fabio.forero@uptc.edu.co <sup>2</sup> I.A. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Av. Central del Norte km 0 vía Paipa. Tunja, Colombia. e-mail: jpfero@gmail.com. <sup>3</sup> Profesor asistente. Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Av. Central del Norte Km 0 vía Paipa. Tunja, Colombia. e-mail: jgalvarezh@gmail.com.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 77-86, 2010

### RESUMEN

La cachaza puede ser utilizada en la agricultura como corrector del suelo o enmienda, pero su potencial no ha sido explorado hasta ahora. Esta investigación, realizada en Chitaraque (Boyacá), evaluó en un cultivo de maíz, el efecto de diferentes dosis de esta enmienda, en comparación con un testigo comercial y maíz sin tratamientos. Cada UE estaba compuesta de 96 plantas, con un total de 2.304 para el experimento. Las variables fisiológicas, se analizaron y se midieron al final de la cosecha, seleccionando ocho plantas del centro de cada UE y fueron: número de granos por mazorca, peso de 100 granos, altura de planta, diámetro del tallo a 50 y 100cm de altura de la planta, área foliar, materia fresca y materia seca. La mayor producción se obtuvo con la aplicación de 7,5t.ha<sup>-1</sup> de cachaza. El empleo de 5,8t.ha<sup>-1</sup> originó un mayor peso de los granos y la mayor altura de la planta resultó de la aplicación de 15t.ha<sup>-1</sup> de cachaza fresca; la misma dosis causó los tallos más gruesos. La mayor cantidad de materia follaje fresco, se logró con la dosis de 12,5t.ha<sup>-1</sup>. La materia seca no mostró diferencias significativas entre las variadas aplicaciones de cachaza. La aplicación de cachaza generó mayor masa fresca y la dosis de 8t.ha<sup>-1</sup> aumentó el número de granos por mazorca, por lo que el empleo de esta

enmienda orgánica ayudó a aumentar la producción del cultivo de maíz y puede suplir, en este caso, la fertilización química.

Palabras clave: Enmienda, panela, biomasa, área foliar, fertilizante.

### SUMMARY

Filter cake can be used in agriculture as soil corrective or fertilizer, but its potential is unexplored until now. This research, carried out at Chitaraque/Boyacá, aimed to evaluate the effect of different doses of soil corrective (fresh filter cake), compared with a commercial fertilizer and maize without treatments. Each experimental unit (EU) was composed of 96 plants for a total of 2,304 for the experiment. The physiological variables analyzed were measured at harvest time, selecting eight plants of the center of each EU, and were: kernel number per cob, weight of 100 kernels, plant height (cm), stalk diameter at 50 and 100cm of plant height, leaf area (cm<sup>2</sup>), fresh matter (g) and dry matter (g). The higher kernel production was obtained with the application 7.5t. ha<sup>-1</sup> of fresh filter cake. The doses of 5.8t.ha<sup>-1</sup> resulted in the highest production of dry kernels and the greatest height was founded with 15t.ha<sup>-1</sup> of fresh filter cake;

the same dosage originated the thickest diameter. The greatest amount of foliage and fresh matter were found with 12.5t.ha<sup>-1</sup>. Dry matter, on the other hand, didn't show statistically significant differences between the various doses of fresh filter cake. The use of fresh filter cake showed higher fresh mass and the dose of 8t.ha<sup>-1</sup> increased the kernel number, since the application of this organic amendment helped to improve corn yield and can supply, in this case, the chemical fertilization.

Key words: Ameliorating material, brown sugar, biomass, leaf area, fertilizer.

## INTRODUCCIÓN

La cachaza, subproducto de la industria panelera, puede ser empleada en la agricultura como enmienda o fertilizante, pero todavía no se ha aprovechado este potencial. Actualmente, se está empleando 47% de este material como alimento para animales domésticos y el 53% restante que corresponde, aproximadamente, a 21,812t por año, se abandona al aire libre (Rodríguez & Gottret, 2006), generando problemas de contaminación ambiental en las unidades de producción agrícola panelera.

De acuerdo a Zérega (1993), las principales limitaciones de la cachaza para usos agronómicos son el alto contenido de humedad (75-80%) que presenta en estado fresco, lo cual, encarece los costos de transporte y su alta relación carbono/nitrógeno (C/N), que ocasiona retraso en el crecimiento de los cultivos, cuando es incorporada en el momento de la siembra; aún así, estas limitaciones pueden ser solventadas si la cachaza es deshidratada y enriquecida con nitrógeno, previo a su aplicación, pudiéndose producir con este tratamiento gas metano para combustible.

En varios países cañameleros, como Cuba, Puerto Rico, Colombia, Brasil, Trinidad e India, la cachaza es utilizada como fertilizante, en la mejora de algunas propiedades físicas del suelo, para elevar el pH y/o en el manejo de suelos afectados por sales (Zérega, 1993).

Según Castilla (2000), la aplicación de grandes cantidades de enmiendas orgánicas a base de residuos vegetales, residuos orgánicos de animales, compost, entre otros, se ha incrementado, pero su baja eficiencia ha terminado por afectar la rentabilidad de los cultivos,

debido a que la aplicación de enmiendas orgánicas no es acompañada por una fertilización química adecuada (Álvarez *et al.* 2008).

La dosis y el aporte de nutrimento de la cachaza al suelo depende de su composición, que varía con las condiciones agroecológicas de la zona donde se produce la caña, con el cultivar sembrado y método de clarificación de jugos utilizado, entre otros (Zérega, 1993).

En Colombia, el 85% de los cultivos de maíz son de pequeños productores, con extensiones de tierra menores a cinco hectáreas (Comfecampo, 2008). En el país son necesarios 4,5 millones de toneladas al año de maíz, de las cuales, 1,2 millones son abastecidas por la producción nacional y 3,3 millones son importadas, lo que indica que para suplir la demanda interna del país se necesita aumentar el área de siembra, la productividad del cultivo y la disminución de los costos de producción (Fenalce, 2008). Los productores de maíz de la región, habitualmente, no utilizan la cachaza en la actividad agrícola como suplemento fertilizante y desconocen el aporte de nutrientes y el efecto mejorador que ésta tiene sobre las propiedades físicas de los suelos.

Por lo anterior, es necesario valorar la respuesta agroeconómica de la aplicación de cachaza fresca como enmienda y fertilizante en la producción de maíz, con lo cual, se brindaría una alternativa al manejo de dicho residuo y, a su vez, disminuiría la contaminación ambiental que este sub producto genera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo, se desarrolló durante los meses de octubre de 2007 a mayo de 2008, en el Departamento de Boyacá, Municipio de Chitaraque, Vereda Tume Grande, Finca La Florida, con coordenadas: Norte 5° 59' 87" y Oeste 73° 27' 78", a una altura de 1729msnm, con una temperatura máxima de 18°C y una mínima de 13°C, humedad relativa del 80%, precipitación de 660mm al año.

Los análisis físicos y químicos de suelos, se realizaron en el laboratorio de Docencia de Suelos y los análisis químicos de la cachaza en el Laboratorio de Nutrición Animal, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja.



Se usó un diseño de bloques al azar, con ocho tratamientos, siete conformados por diferentes dosis de cachaza y un testigo tradicional ( $0t \cdot ha^{-1}$ ,  $2,5t \cdot ha^{-1}$ ,  $5t \cdot ha^{-1}$ ,  $7,5t \cdot ha^{-1}$ ,  $10t \cdot ha^{-1}$ ,  $12,5t \cdot ha^{-1}$ ,  $15t \cdot ha^{-1}$ , fertilización tradicional). Cada tratamiento tuvo tres réplicas, para un total de 24 unidades experimentales (UE). Cada UE correspondió a una parcela de 6m de ancho por 4m de largo, separadas entre sí, a 0,5m. Las propiedades químicas y físicas del suelo del estudio, se presentan en la tabla 1.

Se sembró maíz ICA V-305, que presenta las siguientes características: adaptación entre 0 y 1.800 msnm; días de cosecha, entre 100 y 110, en choclo o mazorca (grano pastoso); con rendimiento promedio de  $10t \cdot ha^{-1}$ ; distancia de siembra de 0,90m, entre surcos y 0,45m, entre plantas; altura promedio de la planta de 2,34m, altura de inserción de la mazorca de 1,26m; longitud de la mazorca de 19cm; diámetro de la mazorca de 4,8cm; número de hileras 14 a 16; número de granos por hilera de 42 y densidad de siembra de 40.000 a 50.000 plantas  $ha^{-1}$ .

Tabla 1. Propiedades químicas y físicas del suelo estudiado en el experimento.

| Propiedad                               | Valor          |
|---|----------------|
| pH                                      | 4,6            |
| CO (%)                                  | 4,12           |
| P Bray II (ppm)                         | 8,5            |
| Ca ( $cmol_c \cdot kg^{-1}$ )           | 3,41           |
| Mg ( $cmol_c \cdot kg^{-1}$ )           | 0,56           |
| K ( $cmol_c \cdot kg^{-1}$ )            | 0,41           |
| Na ( $cmol_c \cdot kg^{-1}$ )           | 0,46           |
| Fe (ppm)                                | 97,7           |
| Cu (ppm)                                | 2,43           |
| Zn (ppm)                                | 3,00           |
| Mn(ppm)                                 | 1,93           |
| $Al^{+3} \text{ } cmol_c \cdot kg^{-1}$ | 5,1            |
| H $cmol_c \cdot kg^{-1}$                | 0,1            |
| CICe ( $cmol_c \cdot kg^{-1}$ )         | 10,04          |
| Saturación Ca (%)                       | 33,96          |
| Saturación Mg (%)                       | 5,57           |
| Saturación K (%)                        | 4,08           |
| Saturación Na (%)                       | 4,58           |
| Saturación Al (%)                       | 50,79          |
| Relación Ca/Mg                          | 6,08           |
| Relación Mg/K                           | 1,36           |
| Relación Ca/K                           | 8,31           |
| Relación Ca+Mg/K                        | 968            |
| Profundidad                             | 0 – 36cm       |
| Arena (%)                               | 42,88          |
| Arcilla (%)                             | 29,12          |
| Limo (%)                                | 28             |
| Textura                                 | Franco arenosa |
| CE ( $dS \cdot m^{-1}$ )                | 0,70           |

La fertilización tradicional estuvo compuesta por úrea, superfosfato triple y cloruro de calcio, en mezcla física (10-31-6) y Micronfos (N 80g·kg<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 52g·kg<sup>-1</sup>, CaO 150g·kg<sup>-1</sup>, MgO 50g·kg<sup>-1</sup>, S 15g·kg<sup>-1</sup>, Fe 50g·kg<sup>-1</sup>, Cu 7,5g·kg<sup>-1</sup>, Zn 22g·kg<sup>-1</sup>, B 10g·kg<sup>-1</sup>, Mn 3g·kg<sup>-1</sup> y MoO<sub>3</sub> 1g·kg<sup>-1</sup>) y cachaza como enmienda orgánica, cuyas propiedades se presentan en la tabla 2.

La cachaza fresca, se aplicó al voleo y se incorporó con azadón; la siembra, se realizó 20 días después. Para la fertilización tradicional, el fertilizante se suministró a los 20 días después de la emergencia (dde).

Cada UE estuvo compuesta por 96 plantas, para un total de 2.304. Las UE estaban separadas entre sí por 90cm, entre surcos y 45cm, entre hileras y tenían un efecto de borde de 30cm. Las variables fisiológicas analizadas, se midieron al momento de la cosecha, escogiendo ocho plantas del centro de cada UE. estas fueron: número de granos por mazorca, en ocho mazorcas por parcela, que se desgranaron y se cuantificaron manualmente; peso de 100 granos de mazorca, en la balanza de precisión BJ-410C; altura de planta (cm) desde el cuello de la raíz hasta la punta de la espiga, con flexómetro; diámetro del tallo a 50cm y 100cm de altura, con un medidor comercial marca Stayles; área foliar (cm<sup>2</sup>), que se determinó directamente con el equipo CI-202 Leaf Area Meter, a los 110 días de sembrado el cultivo.

El peso fresco final (g) de toda la planta, se determinó mediante balanza electrónica de precisión BJ-410C, a ocho plantas de maíz, a los 110 días después de sembrado; el peso seco final (g), se determinó después de dejar las plantas en estufa, a 75 C, durante 48 horas.

Se utilizó un modelo de análisis de regresión, con el fin de determinar el comportamiento de la aplicación de las diferentes dosis de cachaza. Se calcularon los valores máximos derivando la ecuación que mejor se ajustaba a los datos medidos. Además, se realizó un análisis de varianza (Anova) para todas las variables y se aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan, con una confiabilidad del 95%, para determinar las diferencias entre tratamientos. Para el análisis de los datos, se utilizó el paquete estadístico SAS v.8e (Cary N.C.). Las variables que no cumplieron con el supuesto de normalidad, se transformaron; estas fueron número de granos, diámetro del tallo a 50cm y biomasa fresca. La transformación usada fue basada en la función de Box- Cox que tiene la forma:

$$\text{Transformación} \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \ln(x) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases}$$

Para ello, los valores de lambda aplicados por variable fueron -1,727; 0,336 y -0,724, respectivamente.

Tabla 2. Aporte de nutrientes por tonelada de la cachaza fresca aplicada.

| Propiedad | Valor (kg·t <sup>-1</sup> ) |
|-----------|-----------------------------|
| M.O.      | 211                         |
| C.O.      | 122,3                       |
| N         | 11,5                        |
| Ca        | 65,2                        |
| Mg        | 6,6                         |
| K         | 7,35                        |
| Na        | 3                           |
| P         | 0,74                        |
| Cu        | 0,5                         |
| Zn        | 0,755                       |
| Mn        | 0,57                        |
| Fe        | 0,465                       |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Número de granos por mazorca:** Presentó ajuste a un modelo cuadrático, en el cual, la mayor producción de granos al obtener el máximo en la ecuación, se obtuvo con la aplicación de  $8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de cachaza superior, significativamente, al tratamiento sin aplicación (Figura 1A). Esto indica, que el cultivo de maíz llega a un punto en el que la mayor tasa de materia orgánica aplicada no incrementa la producción de granos de maíz por mazorca y, las aplicaciones en exceso, disminuyen el número de granos. La fertilización tradicional presentó un comportamiento similar a la dosis de  $10\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de cachaza, siendo estas dos aplicaciones las que mostraron la menor producción.

Arrieché & Mora (2005) evaluaron el efecto de la cachaza frente a estiércol de pollo compostados en el rendimiento del maíz y encontraron mayor rendimiento con la aplicación de la cachaza. El efecto consistente de la cachaza concuerda con los resultados de Matheus (2004), en maíz, quien observó un aumento en el rendimiento del cultivo con la mezcla de biofertilizante a base de cachaza y fertilizante químico, sin diferencias sobre la fertilización comercial, pero sí sobre la aplicación únicamente del biofertilizante, encontrando disminución en el rendimiento en función de la reducción de la dosis de biofertilizante ( $4, 6$  y  $8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Uhart & Andrade (1995) afirman que el número de granos está asociado a la

tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en el momento de la floración y que esta puede ser modificada por la disponibilidad de nitrógeno, con lo cual, el N aplicado a través de la cachaza, durante el periodo comprendido entre prefloración y posfloración, puede llegar a determinar el número de granos por mazorca.

**Peso de 100 granos de mazorca:** Se ajustó a un modelo cuadrático y presentó un máximo, cuando se aplicó  $5,8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de cachaza. Se presentaron diferencias entre los distintos tratamientos, siendo las dosis de  $2,5$  y  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  las que promediaron los mayores pesos (Figura 1B). Al aplicar  $15\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , se presentó un comportamiento similar al visto en el número de granos, en los cuales, se obtuvo los valores más bajos, generando menor producción, tanto de granos como de peso.

El mayor peso de 100 granos de maíz hace pensar que las plantas pueden producir mayor cantidad de fotoasimilados, debido a una menor competencia por luz y recursos del suelo sobre los componentes del rendimiento y la estructura fotosintética (Vélez *et al.* 2007).

Una menor cantidad de N reduce el rendimiento en grano, afectando tanto el número de granos como el peso de los granos. Las deficiencias de N reducen el rendimiento en grano, a través de la disminución de la materia seca total y a la caída en la partición de fotoasimilados que

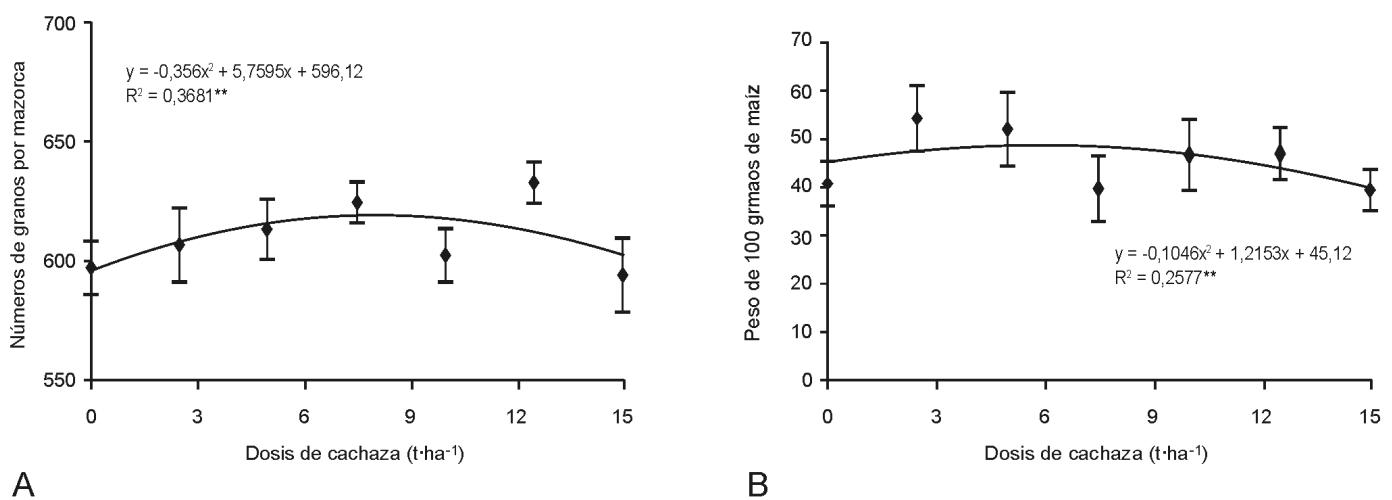


Figura 1. A. Número de granos por mazorca bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). B. Peso seco de 100 granos de mazorca bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz. \*\* El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

llega al grano directamente (Uhart & Andrade, 1995). Por otro lado, cuando las aplicaciones de N son excesivas, el crecimiento vegetativo se incrementa y la partición de fotoasimilados hacia el grano también se ve disminuida (Marschner, 2002).

En caña de azúcar, la cachaza tiene alto potencial, pues cuando se aplicó en dosis de  $5t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$  el rendimiento se incrementó substancialmente, así como las propiedades físicas y químicas de la caña, pues se aumentó el número de tallos de 87.654 a 116.049 y la altura de los mismos pasando de 2,31 a 2,68m, al igual que el contenido de sacarosa (Epstein, 1997).

**Altura de planta:** A medida que aumentó la aplicación de cachaza, la altura de la planta fue mayor y este comportamiento se ajustó a un modelo cuadrático, cuyo máximo se presentó en  $15,7t \cdot ha^{-1}$  de cachaza (Figura 2A). Al analizar el Anova, éste mostró diferencias estadísticas entre dosis de la enmienda orgánica. A pesar de conseguir mayor altura con las dosis más altas de nitrógeno, las producciones no necesariamente son altas, pues una altura reducida de la planta y una menor área foliar son consideradas deseables en el maíz tropical, ya que las plantas que son generalmente altas, tienen mucho follaje y un bajo índice de cosecha (Johnson *et al.* 1986).

Similares resultados fueron encontrados por Cuenya *et al.* (2007), quienes a pesar de no hallar diferencias significativas en la altura de plantas de caña con la adición de cachaza, determinaron un aumento en la altura en función del incremento de la cachaza aplicada. Así mismo, Betancourt *et al.* (1998) observaron en plantas de maíz diferencias de entre 13 y hasta 28cm, para diferentes fechas de muestreo, cuando se aplicaron  $80kg \cdot ha^{-1}$  de N y se compararon con el testigo.

Según el análisis realizado a la cachaza, las dosis más altas contienen más nitrógeno, característica propia de este material orgánico (Tabla 2), generando mayor altura, debido a que la mayor parte del nitrógeno se concentra en el tejido vegetal de la planta como proteína enzimática en los cloroplastos y en las proteínas de las semillas. La principal función es estimular el crecimiento de la planta, especialmente, en la etapa inicial de crecimiento vegetativo, generando un alto índice de área foliar y prolongando el período útil de las diferentes partes de la planta a través del tiempo (Castro, 1998).

**Área Foliar (cm<sup>2</sup>):** Mostró un comportamiento lineal, en donde a mayor dosis de cachaza aplicada se presentó mayor área foliar en las plantas de maíz. La mayor cantidad de follaje fue ocasionada por la aplicación de  $12,5t \cdot ha^{-1}$  de cachaza, arrojando diferencias altamente

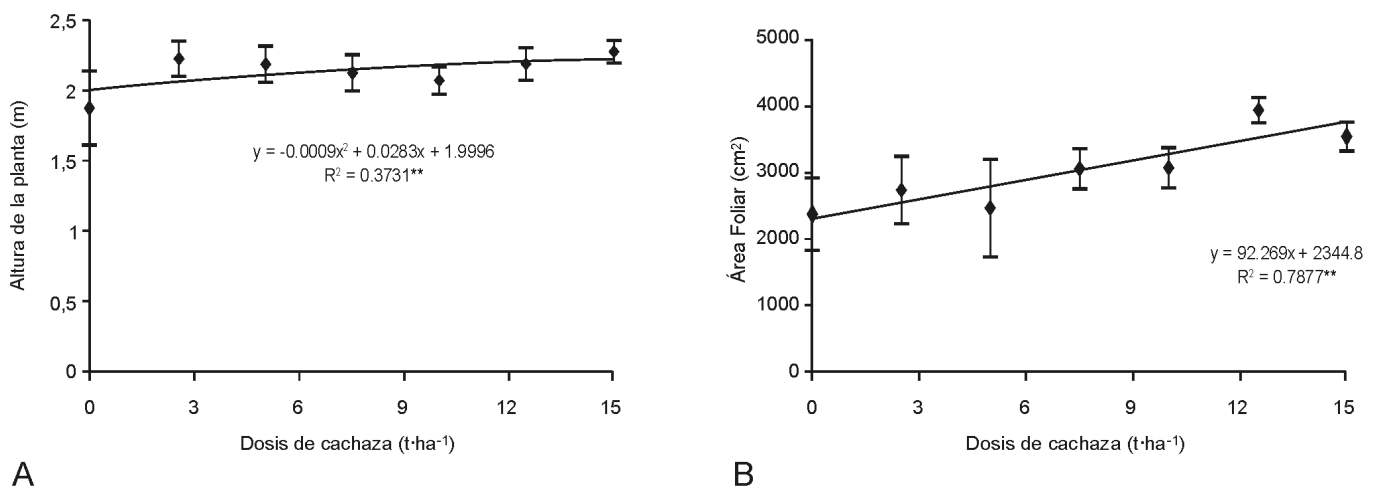


Figura 2. A. Altura de las plantas bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). B. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de plantas de maíz bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz. \*\* El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

significativas con respecto al testigo absoluto, el cual resultó con la menor área foliar (Figura 2B).

La mayor disponibilidad de nitrógeno, calcio, potasio y elementos menores conforme, se incrementó la dosis de cachaza en el experimento, pone de manifiesto el efecto positivo de este material orgánico sobre el aumento del área foliar de las plantas de maíz, principalmente, por el aporte de nitrógeno, que se caracteriza por aumentar el follaje (Triboi-Blondel, 1988). Esto concuerda con estudios realizados mediante la adición de compost, donde la cantidad de follaje aumenta al incrementarse la aplicación de este material orgánico (De Grazia *et al.* 2007).

El N puede afectar las tasas de aparición y expansión foliar modificando el área foliar y la interceptación de radiación solar por el cultivo. Cantidades bajas de N conducen a un menor número de hojas por planta y reduce, principalmente, la tasa de expansión foliar, con un leve impacto sobre la tasa de aparición foliar (Uhart & Andrade, 1995).

**Diámetro del tallo medido a 50 y 100cm del suelo:** El diámetro del tallo de las plantas de maíz, medido a 50cm del suelo, se ajustó a un modelo lineal, este fue mayor conforme, se incrementó la dosis de cachaza aplicada (Figura 3). Las plantas sometidas a la aplicación de cachaza en dosis de  $15\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  expresaron mayor diámetro,

lo que implica mayor rigidez, con el fin de evitar el vuelco, mientras que sin aplicación alguna (testigo absoluto), se obtuvieron tallos muy delgados, generándose, de esta forma, diferencias altamente significativas entre estos dos tratamientos. Es probable que los niveles altos de calcio que presenta la cachaza (Tabla 2), se acumulen en el tallo e incrementen el diámetro y la resistencia del mismo (Marschner, 2002).

De igual forma, el diámetro del tallo, medido a 100cm del suelo, mostró una tendencia lineal y reflejó los mayores valores con diferencias significativas, cuando se aplicaron  $15\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respecto al testigo absoluto. La aplicación de ésta dosis de cachaza favoreció el mayor diámetro del tallo, mientras que el testigo fue el de menor diámetro y evidenció tallos más delgados (Figura 3). Del mismo modo, Betancourt *et al.* (1998) encontraron que con las mayores dosis de N, se presentaron diámetros en un 21% superiores a los del testigo.

Matheus (2004) evaluó el efecto de cuatro dosis de biofertilizante a base de cachaza y bagazo ( $4, 6$  y  $8\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), de fertilización química convencional ( $159\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  N,  $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ ) y una mezcla de  $2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de biofertilizante +  $\frac{1}{2}$  dosis del fertilizante químico, en el cultivo de maíz. En relación al diámetro de tallo, éste aumentó cuando se incrementó el nivel de aplicación del biofertilizante. Por tanto, concluyó que estos tratamientos suplieron en mayor grado y oportunamente

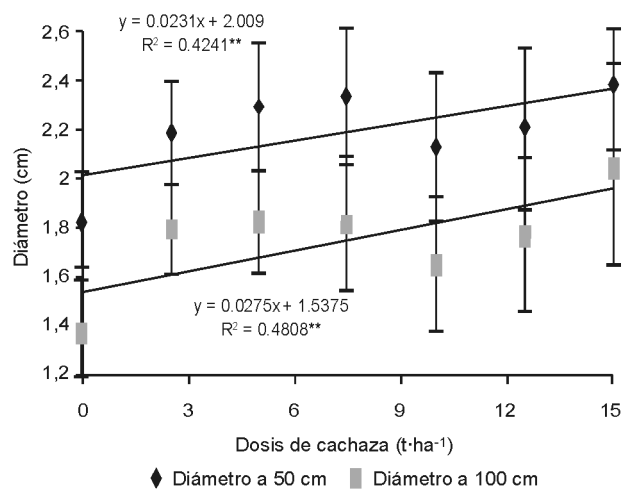


Figura 3. Diámetro de las plantas de mazorca medido a 50 y a 100cm del suelo bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). \*\* El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

los requerimientos nutritivos del cultivo, lo cual, se reflejó fundamentalmente en la altura de la planta y el diámetro del tallo. Esta respuesta, probablemente, fue determinada por la disponibilidad inmediata de nutrientes, en particular N, que es un elemento estrechamente vinculado a la producción de biomasa (Mogollón, 2000).

La variación en el crecimiento y el desarrollo de las diversas partes de las plantas es debida a cambios en las condiciones ambientales, lo que denota un cambio progresivo en su composición química, en este caso, en el contenido de nitrógeno, al que se le atribuye cambios en las proporciones de los materiales de construcción de las fases vegetativas; éste manifiesta disponibilidad mediática para estimular el crecimiento y la producción de sustancias de almacenamiento (Caloin & Yu, 1984).

**Biomasa:** Presentó un comportamiento lineal en donde a mayor dosis de cachaza aplicada mayor masa se generó. La dosis de 12,5t·ha<sup>-1</sup> mostró los valores más altos de biomasa fresca en el cultivo de maíz (Figura 4).

En relación con la masa seca, ésta se ajustó a un modelo lineal, en el cual, la pendiente no fue significativa, por lo que no se presentaron diferencias significativas entre las distintas dosis de cachaza. Esto implica que la cachaza no influye en un aumento de la absorción de nutrientes ni de la fijación de esqueletos de carbono, a través de la fotosíntesis (Marschner, 2002); no obstante, los resultados más altos en producción de masa seca se generaron con la dosis de 10t·ha<sup>-1</sup> (Figura 4). Trapán

*et al.* (1999) en plantas de maíz encontraron resultados similares, en donde el suministro de nitrógeno no tiene un efecto definido sobre los fotosistemas de las plantas. De igual manera, se ha evidenciado una disminución en la actividad fotosintética de las plantas que crecen a altos niveles de nitrógeno, indicando que la tasa de asimilación por unidad de clorofila, se puede inhibir con un aumento en el suplemento de nitrógeno (Tóth *et al.* 2002).

Resultados disímiles a los hallados en este estudio fueron reportados por Morgado *et al.* (2000), quienes determinaron que un sustrato a base de cachaza y bagazo (30% y 70%, respectivamente), favoreció la acumulación de biomasa seca total en la producción de plantas de *Saccharum* spp. Por el contrario, Coutinho *et al.* (2006) observaron que la cachaza indujo menor crecimiento y producción de biomasa seca en el crecimiento de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers., pero proporcionó mayores contenidos de N, P y K en comparación con otros sustratos orgánicos, debido a que como aparece en la tabla 2, la cachaza posee grandes cantidades de estos nutrientes, los cuales, son absorbidos en mayor proporción y durante mayores periodos de tiempo, cuando se ha añadido cachaza al suelo (Navarro, 1978).

No obstante, en plantas de caña de azúcar, se demostró que la aplicación de la mayor dosis de cachaza fresca aumentó el peso de la materia seca de la parte aérea y tuvo un marcado efecto sobre el rendimiento, debido, principalmente, a una mayor producción de tallos y de macollas, con lo que se deduce que la cachaza posee

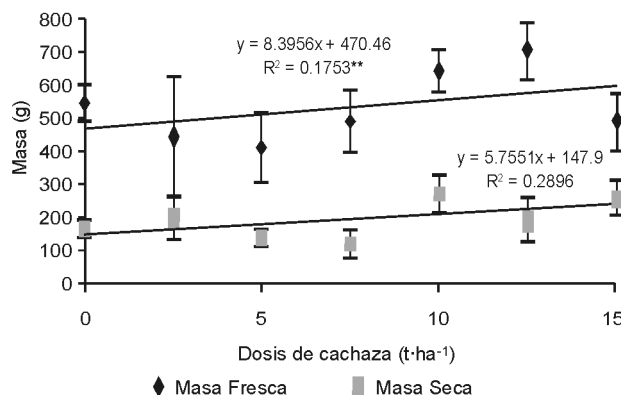


Figura 4. Masa fresca y seca final bajo el efecto de diferentes dosis de cachaza, aplicadas a un cultivo de maíz (*Zea mays*). \*\* El modelo presenta diferencias altamente significativas entre las dosis evaluadas.

un efecto estimulante en la producción de biomasa (Roth, 1971).

La concentración de nitrógeno de las plantas disminuye a medida que crecen y es más pronunciada para los cultivos sembrados en altas densidades. La explicación común a esto es la relación entre la disminución de la biomasa metabólicamente activa y la biomasa de apoyo, donde la primera de ellas está asociada a niveles bajos de radiación solar (Seginer, 2004). Debido a esto es importante la incorporación de un compuesto orgánico en dosis adecuadas, en este caso, la cachaza, pues ayuda a aumentar los niveles de nitrógeno disponible en el suelo para las plantas.

Las mayores aplicaciones de cachaza arrojaron los mejores resultados y rendimientos en el peso de 100 granos de maíz, número de granos, diámetro a 50 y 100cm del suelo, área foliar, biomasa. Se encontró que el cultivo de maíz presenta tasas de crecimiento y desarrollo diferentes en cada uno de sus órganos. La cachaza sirve como fertilizante orgánico o enmienda para el suelo, por aportar una gran cantidad de nitrógeno al suelo, lo que favorece el desarrollo de las plantas de maíz, y sustituye en parte la fertilización química.

Conflictos de intereses: El presente artículo de investigación no presenta ningún conflicto de interés que afecte su publicación, pues todos los autores participaron integralmente en el desarrollo de la investigación y del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARRIECHE, I.; MORA, O. 2005. Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo del maíz en suelos agrícolas del estado de Yaracuy, Venezuela. *Rev. Bioagro (Venezuela)*. 17(3):155-159.
- ÁLVAREZ H., J.G.; DAZA, M.C.; MENDOZA, C. 2008. Aplicación de un fertilizante enriquecido con silicio y materia orgánica en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en Ibagué y el Guamo (Tolima). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín (Colombia)*. 61(6):4620-4633.
- BETANCOURT Y., P.; GONZÁLEZ R., J.; FIGUEROA S., B.; GONZÁLEZ C., F. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. *Terra Latinoamericana. (México)*. 16(003):231-237.
- CALOIN, M.; YU, O. 1984. Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. *Ann. Botany, Oxford Journals (Reino Unido)*. 54(1):69-76.
- CASTILLA, L.A. 2000. Factores que afectan la eficiencia de la fertilización en el cultivo del arroz. En: Castilla, L.A. ed. *Fundamentos técnicos de los fertilizantes y la fertilización en el cultivo del arroz*. Fedearroz. Fondo Nacional del Arroz. Ibagué (Colombia). p.7-24.
- CASTRO F., H.E. 1998. *Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas*. Produmedios. Tunja (Colombia). p.271-273.
- CONFECAMPO. 2008. Estudio de mercado del maíz en Colombia. Confed. Empres. del Campo de Colombia. Disponible desde Internet en: <http://www.confecampo.com/estadisticas/cooagrocampo--maiz.ppt> (con acceso 05/04/09).
- COUTINHO, M.P.; CARNEIRO, J.G.; GUERRA, D., RODRIGUES, L.A.; SIQUEIRA, J. 2006. Substrato de cavas de extração de argila enriquecido com subprodutos agroindustriais e urbanos para produção de mudas de sesbânia. *Rev. Árvore (Brasil)*. 30(1):147-153.
- CUENYA, M.I.; GARCÍA, M.B.; DÍAZ, C.; ROMERO, E.R.; CHAVANNE, E.R. 2007. Efecto del agregado de cachaza y de diferentes densidades de plantación en la capacidad productiva de un semillero saneado de la variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Rev. Ind. Agríc. Tucumán (Argentina)*. 84(1):1-8.
- DE GRAZIA, J.; TITTONELL, P.A.; CHIESA, Á. 2007. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Cienc. Inv. Agr. (Chile)* 34(3):195-204.
- EPSTEIN, E. 1997. *The Science of composting*. Technomic Publishing. Pennsylvania (EUA). 483p.

12. FENALCE. 2008. Programa de producción de maíz en zona cafetera. Medellín. Disponible desde Internet en: <http://www.agro.unalmed.edu.co/congre-inagri/orales/programa%20de%20produccion%20de%20maiz%20en%20zona%20cafetera%20napoleon%20viv.pdf> (con acceso 10/04/09).
13. JOHNSON, E.C.; FISCHER, K.S.; EDMEADES, G.O.; PALMER, A.F.E. 1986. Recurrent selection for reduced plant height in lowland tropical maize. *Crop Sci. (EEUU)*. 26:253-260.
14. MARSCHNER, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2ª Ed. Academic Press (London). 889p.
15. MATHEUS, J. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo del maíz (*Zea mays* L). *Revista Bioagro*. 16(3):219-224.
16. MOGOLLÓN, L. 2000. Uso eficiente de los fertilizantes. En: Lobo, D. (ed.). Manejo de la Fertilidad de los Suelos. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay (Venezuela). p.25-36.
17. MORGADO, I.F.; CARNEIRO, J.G. DE A.; LELES, P.S. DOS S.; BARROSO, G.D. 2000. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. *Sci. Agric. (Brasil)*. 57(4):709-712.
18. NAVARRO, R.O. 1978. Conversión of filter cake into high-grade organic fertilizer. *Proc. Philippine Sug. Technol. Ass.* 52:131-136.
19. RODRÍGUEZ, G.; GOTTRET, M. 2006. Aprendiendo del pasado para proyectarnos hacia el futuro e impacto de la tecnología de la panela en la Hoya del Río Suárez y Cundinamarca. CORPOICA. CIAT. Informe técnico. (Colombia). 61p.
20. ROTH, G. 1971. The effects of filter cake on soil fertility and yield of sugarcane. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. (Sudafrica)*. 45:142-148.
21. SEGINER, I. 2004. Plant spacing effect on the nitrogen concentration of a crop. *European J. Agronomy (Francia)*. 21(3):369-377.
22. TÓTH, V.R.; MÉSZÁROS, I.; VERES, S.; NAGY, J. 2002. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. *J. Plant Physiology (Germany)*. 159:627-634.
23. TRAPÁNI, N.; HALL, A.J.; WEBER, M. 1999. Effects of constant and variable nitrogen supply on sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaf cell number and size. *Ann. Botany. (England)*. 84:599-606.
24. TRIBOI-BLONDEL, A.M. 1988. Azote, croissance, rendement et qualité de la graine chez le colza d'hiver. En: *Physiologie et élaboration du rendement du colza d'hiver*. Centre Technique Interprofessionnel des Oleagineux Metropolitains (CETIOM). (France). p.134-139.
25. UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci. (USA)* 35:1376-1383.
26. VÉLEZ, L.D.; CLAVIJO, J.; LIGARRETO, G.A. 2007. Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) – frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. (Colombia)* 60(2):3965-3984.
27. ZÉREGA, L. 1993. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de Azúcar (Venezuela)*. 11(2):71-92.

Recibido: Septiembre 25 de 2009

Aceptado: Marzo 1 de 2010



# VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS EN UN ENTISOL

## SPATIAL VARIABILITY OF SOME CHEMICAL PROPERTIES IN AN ENTISOL

Carlos Andrés Garzón Gutiérrez<sup>1</sup>, César Andrés Cortés<sup>2</sup>, Jesús Hernán Camacho-Tamayo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, egresado de la Universidad de Cundinamarca. E-mail: granathilas@hotmail.com; <sup>2</sup> Ingeniero Agrícola, M.Sc. Facultad de Ing. Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A E-mail: cescortes@udca.edu.co; <sup>3</sup> Ingeniero Agrícola, M.Sc. Profesor Asistente. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia. Cra. 45 No. 45 – 03, Bogotá, Colombia. E-mail: jhcamachot@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 87-95, 2010

### RESUMEN

El desarrollo y la aplicación de tecnologías para establecer el comportamiento espacial de los suelos permite optimizar el uso de los diferentes recursos agrícolas, con el fin de mejorar la sostenibilidad y la competitividad, reduciendo el riesgo de degradación ambiental y mejorando su rentabilidad. El objetivo del presente estudio fue evaluar la variabilidad espacial y la relación de algunas propiedades químicas del suelo, mediante diferentes técnicas estadísticas. El trabajo fue realizado en el municipio de Pasca (Cundinamarca), en área productora de *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn., en un Entisol. Se tomaron 64 muestras en una malla regular, con distancias perpendiculares entre puntos de 25 x 12,5m, a una profundidad de 0,20m, determinando carbono orgánico, pH, Ca, Mg, K, suma de bases y la relación Ca:Mg. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, análisis multivariado, geoestadística e interpolación por kriging. Los atributos manifestaron variabilidad baja o media, donde el K fue el único atributo que no presentó dependencia espacial. Se observó una fuerte relación entre los cationes, así como una estrecha relación entre el Ca y la suma de bases. Los mapas de contorno confirmaron la variabilidad espacial de las propiedades, lo que indica la conveniencia de la aplicación de insumos agrícolas mediante tasa variada. Con la adaptación de esta metodología, se puede mejorar el diseño experimental

de futuras investigaciones, además de ser la base para el establecimiento de cultivos, bajo la concepción de agricultura de precisión.

Palabras clave: Geoestadística, análisis multivariado, kriging, semivariograma.

### SUMMARY

Development and application of technologies for establishing the spatial behavior of soils, allow to optimize the use of different agricultural resources in order to improve the sustainability and competitiveness, reducing the risk of environmental degradation and improving its profitability. The aim of this study was to evaluate the spatial variability and the relationships of some soil chemical properties, using different statistical techniques. The research was carried out in the municipality of Pasca (Cundinamarca) in a *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn. production area, in an Entisol. On a regular grid, 64 samples were taken, with perpendicular distances between points 25 x 12.5m, at 0.20m of depth, evaluating organic carbon, pH, Ca, Mg, K, sum of bases and Ca:Mg relation. The data were analyzed using descriptive statistics, multivariate analysis, geostatistics and interpolation by kriging. The attributes showed low to medium variability, where the K was the only attribute that showed no spatial dependence. There was a strong relationship between cations, and

a close relationship between Ca and the sum of bases. The contour maps confirmed the spatial variability of the properties, indicating the appropriateness of the agricultural inputs application at a variable rate. By adapting this methodology it is possible to improve the experimental design of future research, besides being the basis for the establishment of crops under precision agriculture concepts.

Key words: Geostatistics, multivariate analysis, kriging, semivariogram.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna, se debe orientar a mejorar la sostenibilidad y la competitividad, reduciendo el riesgo de degradación ambiental y mejorando su rentabilidad (Molin *et al.* 2008). Por esto, el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías, como los sistemas de posicionamiento global (GNSS), de información geográfica (SIG) y técnicas geoestadísticas, permiten identificar el comportamiento espacial de los suelos, con el fin de optimizar el uso de los diferentes recursos agrícolas y maximizar la producción de cultivos, vitales para la sostenibilidad agrícola y ambiental. Estas tecnologías permiten valorar y entender el comportamiento espacial y las diferentes relaciones entre las variables del suelo, la productividad de las plantas, así como de plagas y de enfermedades (Castrignano *et al.* 2002), comportamiento que ocurre a diferentes escalas, como resultado de procesos dinámicos del clima y las labores agrícolas (Molin *et al.* 2008).

Uno de los factores que incide acentuadamente en la dosis de fertilizantes requerido por el cultivo es la disponibilidad efectiva de nutrientes en el suelo o la capacidad que tiene el suelo para suministrar elementos nutritivos a las plantas. La evaluación de la capacidad de los suelos para suministrar nutrientes a los cultivos, se realiza, usualmente, mediante el análisis químico, para obtener información sobre cómo están dispersos los nutrientes.

Existen diferentes herramientas estadísticas y matemáticas para identificar el comportamiento espacial de los atributos del suelo, además de su cuantificación y caracterización. Entre las técnicas más utilizadas, se encuentran la geoestadística y el interpolador kriging, herramientas útiles para la construcción de mapas y

la comprensión de la variabilidad de las propiedades del suelo, en un área determinada. Estos instrumentos pueden ser aplicados a diferentes escalas en relación a datos puntuales, dependiendo de la resolución deseada en el estudio (Webster, 2008).

Los métodos geoestadísticos, a partir de muestreos sistemáticos, son adecuados para determinar la variabilidad espacial (Goovaerts, 1998), que se representa por medio de la correlación espacial, determinada por el semivariograma, siempre que el intervalo de muestreo constituye la variación en el nivel de interés (Kerry & Oliver, 2004). De esta forma, se verifica si una variable guarda relación entre puntos cercanos (Goovaerts, 1998), para generar información de zonas no muestreadas, mediante kriging (Vieira, 2000) y generar información sobre condiciones específicas del suelo, mediante mapas de contorno, lo cual, representa un importante principio en agricultura de precisión (Borůvka *et al.* 2002).

Desde el punto de vista del manejo de fertilidad de suelos y nutrición de cultivos, la implementación de esta metodología ofrece la posibilidad de realizar aplicaciones de dosis variables de fertilizantes, a partir de las condiciones del suelo y de las necesidades del cultivo, para alcanzar mayor eficiencia en la distribución de abonos. Al trabajar con dosis variables, se busca que el suelo brinde condiciones homogéneas para el desarrollo adecuado del cultivo, que repercutan en el desarrollo, en el crecimiento y en la producción.

Considerando la relevancia de las propiedades químicas del suelo en la producción de cultivos, se propuso esta investigación, con el objetivo de evaluar la variabilidad de algunas propiedades químicas y la relación existente en éstas, en un Entisol, cultivado con tomate de árbol, mediante técnicas de estadística univariada, multivariada, geoestadística y kriging.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Caracterización del área de estudio:** El estudio se realizó en una área comercial de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn., en la finca La Pradera, Vereda Alto del Molino, en el municipio de Pasca (Cundinamarca), ubicada en las coordenadas geográficas 4°18'38,83" de latitud Norte, 74°18'9,28" de longitud Oeste y altitud de 2058m. La zona presenta precipitación media anual de 1800mm, con periodos

marcados entre marzo a mayo y septiembre a noviembre, temperatura media de 16°C y humedad relativa media de 85%, con máximos mensuales de 93% y mínimos de 74%. El suelo predominante a nivel de Orden para esa zona es Entisol. El paisaje es de montaña, con material parental de depósitos clásticos hidrogravigénicos, en sectores con mantos de ceniza volcánica. Previamente al establecimiento del cultivo, se realizó labranza convencional, con arado de cuchillas rotativas e incorporación de gallinaza y cal.

**Muestreo y análisis de laboratorio:** El muestreo del suelo, a una profundidad entre 0 y 20 cm, a mediados del ciclo del cultivo, mediante el diseño de una malla rectangular, con distancias perpendiculares entre puntos de 25 x 12,5 m, tomando 64 muestras, en un área de 1,53 ha. Las propiedades determinadas para cada muestra fueron el contenido de carbono orgánico (CO), a través del método modificado de Walkley Black; pH medido con potenciómetro en relación suelo agua 1:1; contenidos de Ca, Mg y K, por medio de extracción con acetato de amonio pH 7,0 y lectura en equipo de absorción atómica. Con estos resultados, también se estimó la suma de bases (SB) y la relación Ca:Mg.

**Análisis estadístico:** Inicialmente, se llevó a cabo un análisis a través de la estadística descriptiva para todas las variables en estudio, con el fin de establecer el comportamiento, la dispersión, la tendencia y la distribución de los datos, mediante la media, mediana, coeficiente de variación, mínimo, máximo, asimetría, curtosis y la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. De esta manera, se evaluó el precepto de normalidad para cada propiedad, la cual, no es indispensable, pero proporciona mejores predicciones cuando se asocia a técnicas geoestadísticas (Diggle & Ribeiro, 2000). Para el análisis del CV, se tuvo en cuenta la clasificación de Warrick & Nielsen (1980), que considera una variabilidad baja para CV menores del 12%, variabilidad media para CV entre 12 y 60% y variabilidad alta para valores mayores a 60%.

Posteriormente, se realizó el análisis multivariado, ejecutando análisis de factores por componentes principales (AFCP) y de agrupamiento jerárquico (AAJ), con el fin de identificar la relación entre las propiedades químicas. Para la construcción de estos análisis, los datos fueron previamente estandarizados, con media 0 y varianza 1. En el AAJ, se utilizó el algoritmo Ward

y la distancia euclidiana para separar un conjunto de atributos en grupos. Los resultados del AAJ, se representaron en forma gráfica (dendograma), buscando facilitar la identificación de los grupos formados por las propiedades analizadas. En el AFCP, se aplicó la rotación de Varimax. Los análisis de la estadística descriptiva y multivariada fueron practicados con el programa SPSS v. 12 (2003).

Para establecer el comportamiento espacial de las variables, se realizó el ajuste de los modelos teóricos de semivariogramas. La función del semivariograma experimental  $\gamma(h)$  está definida como por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

siendo  $Z(x_i)$ , los valores muestrales en los puntos  $x_i$ , en los que se tiene datos tanto en  $x_i$  como en  $x_i + h$ ;  $N(h)$  el número de pares de datos, separados, una distancia  $h$ . El semivariograma mide el promedio de la no semejanza entre los datos separados ( $Z(x_i) - Z(x_i + h)$ ) por un vector  $h$ , es decir, es calculado como la media de la diferencia del promedio cuadrado entre los componentes de las parejas de datos (Goovaerts, 1998).

Para el presente estudio, se efectuaron ajustes a modelos acotados (esférico, exponencial y gaussiano). Viera (2000) presenta una discusión respecto a las características y las condiciones que éstos deben cumplir. Estos modelos poseen tres parámetros comunes, que son el efecto pepita ( $C_0$ ), la meseta ( $C_0 + C$ ) y el rango o alcance ( $A$ ). El efecto pepita indica la discontinuidad entre las muestras, es decir, la variabilidad espacial no detectada durante el proceso de muestreo; la meseta es el valor de la semi varianza, donde el modelo se estabiliza, exhibiendo un valor constante y el rango representa la distancia hasta donde existe correlación espacial, indicando que ya no existe correlación entre las muestras.

El modelo esférico es definido por  $\gamma(h) = C_0 + C * [1,5 * (h/a) - 0,5 * (h/a)^3]$  para  $0 < h < a$  y  $\gamma(h) = C_0 + C$  para  $h > a$ ; el modelo exponencial es definido por  $\gamma(h) = C_0 + C * [1 - e^{-(3h/a)}]$  para  $0 < h < d$ , siendo  $d$ , la máxima distancia, en la que el semivariograma esta precisado y el modelo gaussiano es definido por  $\gamma(h) = C_0 + C * [1 - e^{-(3h^2/a^2)}]$ . Estos modelos fueron estimados con

el programa GS+ (Robertson, 1998), que adopta como criterios, para la selección del modelo, el mayor valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), la menor suma de cuadrados de los residuos (SQR) y el valor más próximo de uno del coeficiente de correlación, obtenido por el método de validación cruzada (VC).

Una vez establecido el modelo teórico de cada propiedad, se verificó el grado de dependencia espacial (GDE), mediante la relación entre el efecto pepita y la meseta ( $C/C_0 + C$ ). El GDE es clasificado como fuerte, si es superior al 75%; moderado para GDE, entre 25% y 75% y débil con GDE, inferior al 25% (Cambardella *et al.* 1994). Se debe resaltar que es deseable que el efecto pepita no supere el 50% del valor de la meseta, para que el modelo de correlación espacial describa, adecuadamente, la realidad (Cressie, 1993). Cuando el GDE es próximo de cero, el modelo ajustado al semivariograma experimental, se denomina efecto pepita puro (Goovaerts, 1998) y se define por  $\gamma(h) = C_0$ , para  $h > 0$ , denotando una distribución espacial aleatoria de la propiedad.

Una vez estimados los modelos teóricos de semivariograma, se aplicó la técnica kriging ordinario (Diggle & Ribeiro, 2000) para hacer predicción en sitios no muestreados y se construyeron mapas de contorno para cada propiedad, utilizando el programa Surfer (Golden Software Inc., 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las propiedades analizadas presentaron una distribución simétrica, lo cual, se evidencia por lo valores próximos de la media y la mediana de cada una de las variables en estudio (Tabla 1). Esta simetría, se confirma por los valores próximos de cero de los coeficientes de asimetría y curtosis, así como por la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual, fue no significativa para todas las propiedades. Este comportamiento normal de propiedades químicas es reportado por diferentes autores, en estudios realizados en diferentes tipos de suelos, bajo producción agrícola (Camacho-Tamayo *et al.* 2008; Outeiro *et al.* 2008). De acuerdo con Cressie (1993), más importante que la normalidad, es conveniente verificar que la distribución normal no presente colas muy largas para no comprometer los resultados, especialmente, cuando se realiza kriging, donde las estimaciones son basadas en valores medios (Warrick & Nielsen, 1980). Otro hecho importante es la ocurrencia del efecto proporcional entre la media y la varianza de los datos a lo largo de una superficie, que permite estimar mesetas bien definidas, en los modelos de semivariogramas.

El catión predominante es el Ca, denotando la reciente distribución de cal en el área de estudio. Los cationes, en su conjunto, fueron los que mostraron mayor variabilidad, con valores de CV superiores al 29%, con variabilidad

Tabla 1. Estadística descriptiva de Ca, Mg, K, pH, carbono orgánico (CO), suma de bases (SB) y relación Ca:Mg.

| Propiedad    | Media | Mediana | CV, % | Mínimo | Máximo | Asimetría | Curtosis | K-S |
|--------------|-------|---------|-------|--------|--------|-----------|----------|-----|
| Ca, meq/100g | 11,04 | 10,88   | 37,99 | 3,02   | 20,41  | 0,36      | -0,40    | ns  |
| Mg, meq/100g | 0,95  | 0,93    | 29,64 | 0,36   | 1,74   | 0,22      | -0,14    | ns  |
| K, meq/100g  | 0,70  | 0,71    | 48,07 | 0,14   | 1,70   | 0,36      | 0,12     | ns  |
| pH           | 5,59  | 5,59    | 4,81  | 4,93   | 6,15   | -0,15     | -0,41    | ns  |
| CO, %        | 6,41  | 6,40    | 11,78 | 4,20   | 8,40   | -0,21     | 0,58     | ns  |
| SB, meq/100g | 12,75 | 12,49   | 36,03 | 3,67   | 23,47  | 0,38      | -0,15    | ns  |
| Ca:Mg        | 11,21 | 11,03   | 30,54 | 5,54   | 19,14  | 0,54      | -0,15    | ns  |

CV: coeficiente de variación; K-S: estadística del test de Kolmogorov-Smirnov ( $p=0,05$ ). ns: no significativo

media, comportamiento común para estos elementos en suelos, bajo producción agrícola (Carvalho *et al.* 2002; Oliveira *et al.* 2009). Por otra parte, Souza *et al.* (1997) afirman que los contenidos de K en el suelo es una de las propiedades más afectadas por el manejo antrópico, en términos de variabilidad. El pH registró la menor variabilidad, comportamiento que es comúnmente observado para esta propiedad, en diferentes tipos de suelos, a diferentes profundidades (Carvalho *et al.* 2002; Camacho-Tamayo *et al.* 2008; Hurtado *et al.* 2009). La SB y la relación Ca:Mg también manifestaron una variabilidad alta, resultados esperados, dado que estas propiedades son obtenidas a partir de los cationes.

El AAJ permitió identificar dos grupos bien definidos (Figura 1A). El primero, relacionado, principalmente, con la presencia de cationes, formado por el K, Mg, Ca y SB y el segundo grupo, se encuentra compuesto por propiedades que ayudan a describir la acidez del suelo, conformado por el CO, la relación Ca:Mg y pH. La semejanza resultante entre SB y Ca, se debe a que

el Ca es el catión predominante y representa más del 80% del valor de SB.

En el AFPC, se observó que las propiedades formaron dos grupos definidos, concordando con los resultados obtenidos en el AAJ, cuando se analizaron los primeros dos componentes principales (Figura 1B), así como CP1 y CP3 (Figura 1C), mostrando la fuerte relación entre los cationes y SB. El contenido de CO, el pH y la relación Ca:Mg, se presentan alejados de los cationes, indicando un relación inversa.

Para el AFPC, se consideraron los tres primeros componentes, con autovalores superiores de uno, que en el presente estudio manifestaron un intervalo aceptable (Kaiser & Rice, 1974), siendo que CP1, CP2 y CP3 explican el 84,20% de la varianza total (Tabla 2). Se observó que los valores de la comunalidad del CO y del pH fueron los menores, indicando que estas propiedades son poco representativas en los componentes principales analizados.

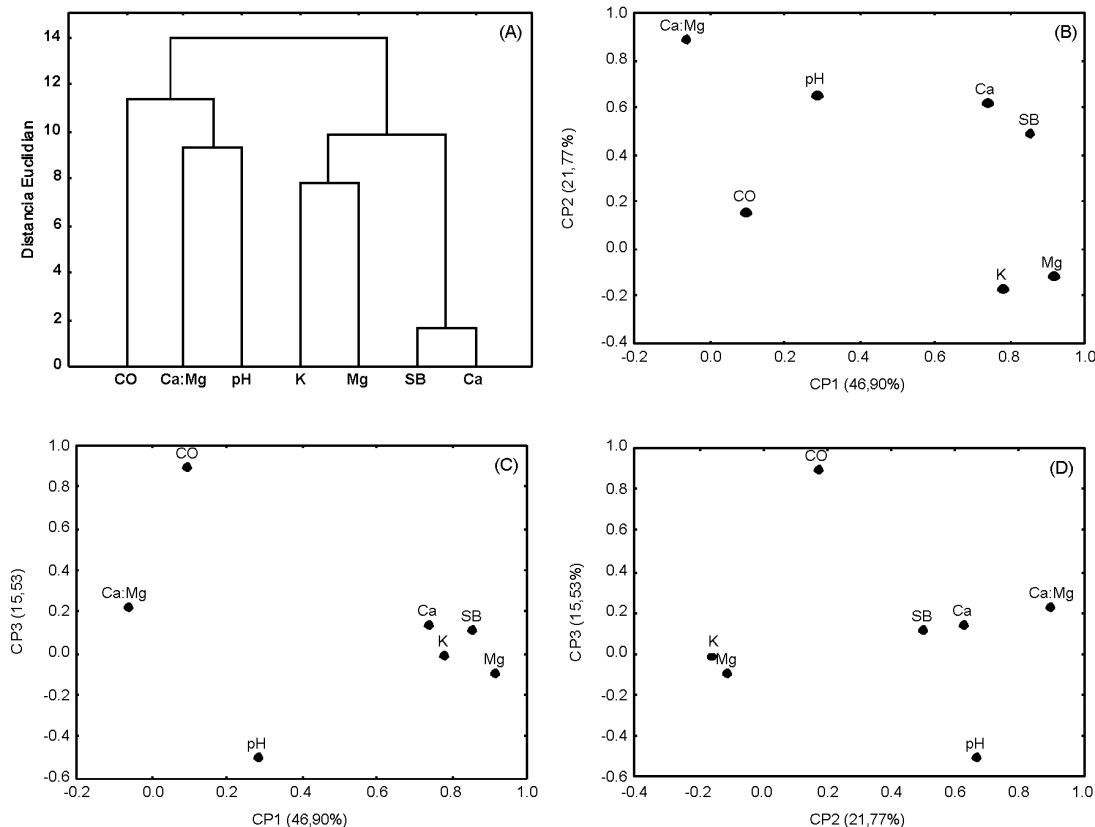


Figura 1. Dendrograma resultante del análisis de agrupamiento jerárquico (A) y análisis de factores de componentes principales de las propiedades químicas, mediante rotación de Varimax (B, C y D).

Tabla 2. Coeficientes de los tres primeros componentes para Ca, Mg, K, pH, carbono orgánico (CO), suma de bases (SB) y relación Ca:Mg.

| Propiedad      | CP1             | CP2             | CP3             | Comunalidad |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Ca             | <b>0,736772</b> | 0,625904        | 0,144349        | 1,00        |
| Mg             | <b>0,914281</b> | -0,111712       | -0,090013       | 1,00        |
| K              | <b>0,778154</b> | -0,159112       | -0,008638       | 1,00        |
| pH             | 0,281942        | 0,661312        | -0,495401       | 0,37        |
| CO             | 0,092508        | 0,169818        | <b>0,898231</b> | 0,21        |
| SB             | <b>0,849039</b> | 0,494831        | 0,114872        | 1,00        |
| Ca:Mg          | -0,069209       | <b>0,898505</b> | 0,231285        | 0,88        |
| Autovalor      | 3,28            | 1,52            | 1,09            |             |
| Vari. Total, % | 46,90           | 21,77           | 15,53           |             |
| Var. Acum., %  | 46,90           | 68,67           | 84,20           |             |

Valores superiores de 0,7 (valor absoluto) son presentados en negrilla.

El CP1 representa el 46,90% de la varianza total, influenciado por los contenidos de Ca, Mg, K y SB, confirmando la relación directa que presentan estas propiedades. El CP2 representa 21,77% de la varianza total, revelando una mayor influencia de la relación Ca:Mg, propiedad que está correlacionado inversamente con Mg y K, como se observa en la Figuras 1B, 1C y 1D. El CP3, con 15,53% de la varianza total, es explicado, esencialmente, por el CO, propiedad que mostró una correlación inversa con Mg, K y el pH.

Los modelos teóricos de semivariogramas isotrópicos predominantes fueron el exponencial y el esférico (Tabla 3). El K fue la única propiedad que no presentó dependencia espacial definida, es decir, la distribución espacial de K en el suelo es aleatoria, exhibiendo efecto pepita puro (EPP). El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) siempre fue superior a 0,60 para las propiedades con dependencia espacial, siendo la relación Ca:Mg la de mejor ajuste. Estos valores del  $R^2$ , junto a los valores próximos de uno del coeficiente de validación cruzada (CVC) para todas las propiedades, indican una confiabilidad adecuada de los datos. Estudios desarrollados por diferentes autores obtuvieron ajustes a modelos teóricos de semivariogramas, para diferentes propiedades químicas (Carvalho *et al.* 2002; Camacho-Tamayo *et al.* 2008; Outeiro *et al.* 2008; Hurtado *et al.* 2009).

Los menores alcances se obtuvieron para el pH, el SB y la relación Ca:Mg, con valores de 43,50, 42,20 y 64,20m, respectivamente, propiedades que presentaron los mayores valores del grado de dependencia espacial (GDE), clasificados como fuerte. Por otra parte, las propiedades Ca, Mg y CO mostraron los mayores alcances, con GDE moderados, teniendo en común que estas propiedades registraron también los menores valores del  $R^2$ , es decir, para el presente estudio, se observó que un mayor alcance corresponde, razonablemente, con un menor  $R^2$  y un menor GDE.

Los mapas de contorno confirman la variabilidad espacial de las propiedades (Figura 2), lo que indica, la conveniencia de la aplicación de insumos agrícolas, mediante técnicas de tasa variada, de acuerdo a los requerimientos del cultivo, para mejorar su uso, buscando disminuir costos de producción y el impacto ambiental, debido a excesos o deficiencias que se pueden presentar en diferentes zonas, en la distribución de fertilizantes o correctivos, cuando se realiza una distribución homogénea (Molin *et al.* 2008).

Estos mapas también corroboran la relación existente entre las diferentes propiedades, como se encontró en el AAJ y en el AFCP. La incorporación de cal en la zona de estudio influyó en la semejanza de los mapas de

Tabla 3. Parámetros de los modelos ajustados de semivariogramas para Ca, Mg, K, pH, carbono orgánico (CO), suma de bases (SB) y relación Ca:Mg.

| Propiedad | Modelo      | Co   | Co+C  | A, m   | C/Co+C | R <sup>2</sup> | CVC  |
|-----------|-------------|------|-------|--------|--------|----------------|------|
| Ca        | Exponencial | 4,76 | 15,36 | 78,30  | 0,69   | 0,65           | 0,87 |
| Mg        | Esférico    | 0,05 | 0,14  | 112,00 | 0,64   | 0,64           | 0,88 |
| K         | EPP         | 0,09 | 0,09  |        |        |                |      |
| pH        | Exponencial | 0,01 | 0,05  | 43,50  | 0,90   | 0,73           | 0,98 |
| CO        | Esférico    | 0,17 | 0,41  | 102,40 | 0,59   | 0,64           | 0,89 |
| SB        | Esférico    | 3,04 | 24,09 | 42,20  | 0,87   | 0,70           | 0,87 |
| Ca:Mg     | Exponencial | 1,31 | 8,92  | 64,20  | 0,85   | 0,82           | 0,88 |

EPP: Efecto pepita puro; CVC: coeficiente da validación cruzada

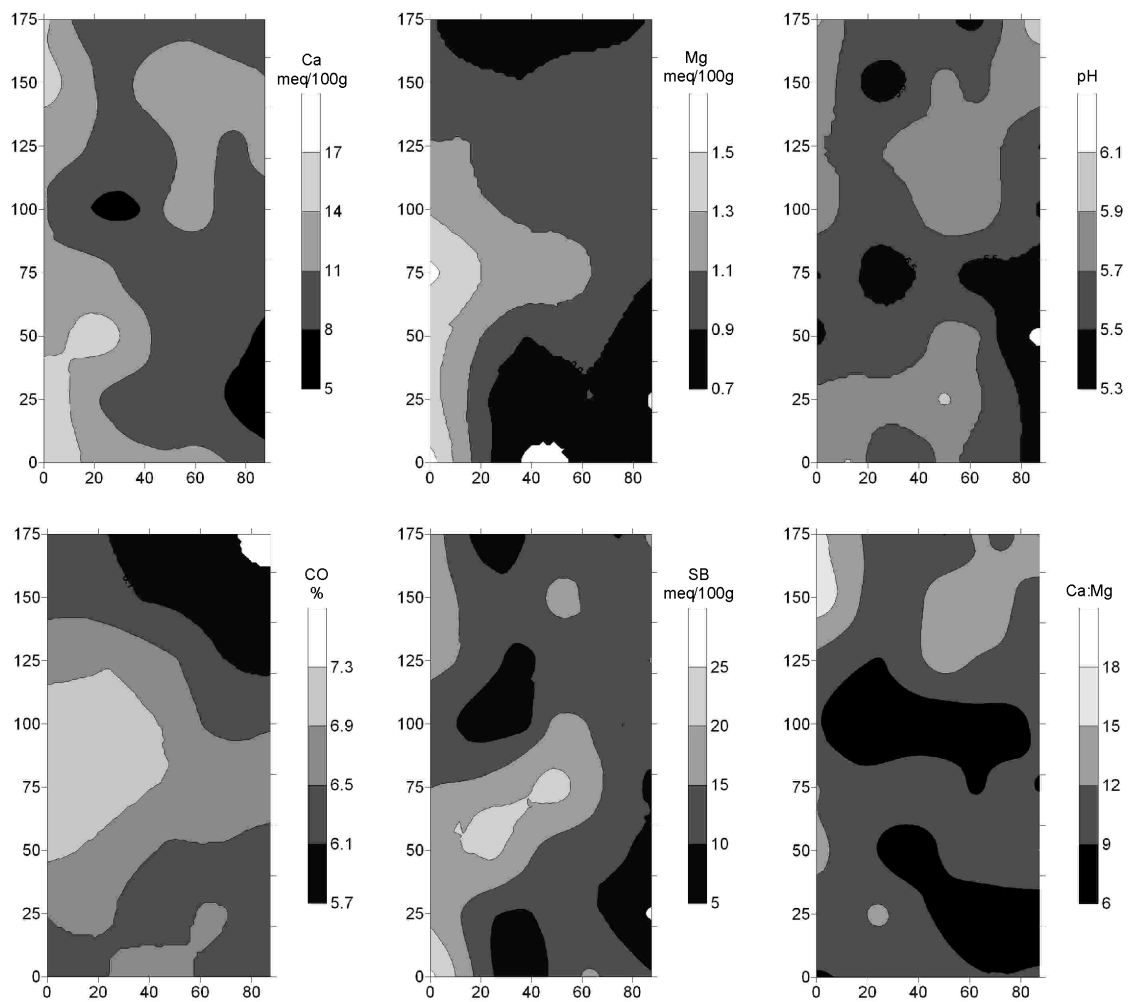


Figura 2. Mapas de contorno obtenidos mediante kriging para Ca, Mg, K, pH, carbono orgánico (CO), suma de bases (SB) y relación Ca:Mg.

contorno de Ca y Mg, donde zonas de alto contenido de Ca corresponden, razonablemente, a zonas de alto contenido de Mg y viceversa. También, se confirma la influencia del Ca en la SB, por la similitud de los mapas de estas propiedades. El mapa de contorno del CO no permitió identificar relaciones espaciales definidas con los mapas obtenidos para las otras propiedades.

Estos resultados, analizados mediante diferentes técnicas estadísticas, permitieron identificar y caracterizar el comportamiento de las diferentes propiedades del suelo, así como las relaciones existentes entre ellas. Mediante la aplicación de esta metodología, se puede mejorar el diseño experimental de futuras investigaciones, además de ser la base para el establecimiento de cultivos, bajo la concepción de agricultura de precisión, dado que permiten identificar zonas de manejo y establecer redes de muestreo, que disminuyan los costos de los análisis de suelos.

Conflictos de interés: La investigación y el manuscrito se realizaron con la colaboración de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BORČVKA, L., DONÁTOVÁ, H.; NĚMEČEK, K.. 2002. Spatial distribution and correlation of soil properties in a field: a case study. *Rostlinná Výroba*. 48(10):425-432.
2. CAMACHO-TAMAYO, J.H.; LUENGAS, C.A.; LEIVA, F.R. 2008. Effect of agricultural intervention on the spatial variability of some chemical properties of soils in the Eastern Planes of Colombia. *Chilean J. Agr. Res.* 68(1):42-55.
3. CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58(5):1501-1511.
4. CARVALHO, J.R.P. de; SILVEIRA, P.M. da; VIEIRA, S.R. 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropec. Brás.* 37(8):1151-1159.
5. CASTRIGNANO, A.; MAIORANA, M.; FORNARO, F.; LOPEZ, N. 2002. 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in Southern Italy. *Soil & Tillage Res.* 65(1):95-108.
6. CRESSIE, N. 1993. *Statistics for spatial data*, John Wiley & Sons, New York. 928p.
7. DIGGLE, P.J.; RIBEIRO, J.R. 2000. *Model Based Geostatistics*. 1ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística. 129p.
8. GOLDEN SOFTWARE. 1999. *Surface mapping system Inc. Surfer. Surfer version 7.00*. Golden Software, Inc. Colorado. 619p.
9. GOOVAERTS, P. 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biol. Fert. Soils*. 27(4):315-334.
10. HURTADO, S.M.C.; SILVA, C.A.; RESENDE, A.V. DE; VON PINHO, R.G.; INÁCIO, E.S.B.; HIGASHIKAWA, F.S. 2009. Spatial variability of soil acidity attributes and the spatialization of liming requirement for corn. *Ciência e Agrotecn.* 33(5):1351-1359.
11. KAISER, H.F.; RICE, J. 1974. Little Jiffy Mark IV. *Educ. Psychol. Measurement*. 34(1):111-117.
12. KERRY, R.; OLIVER, M. 2004. Average variograms to guide soil sampling. *International J. Appl. Earth Obs. Geoinform.* 5(4):307-325.
13. MOLIN, J.P.; LEIVA, F.R.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. 2008. Tecnología de la agricultura de precisión en el contexto de la sostenibilidad. En: Leiva, F.R. Ed.. *Agricultura de precisión en cultivos transitorios*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. p.13-41.
14. OLIVEIRA, P.C.G.; FARIAS, P.R.S.; LIMA, H.V.; FERNANDES, A.R.; OLIVEIRA, F.A.; PITA, J.D. 2009. Variabilidade espacial de propriedades químicas



- do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. Rev. Brás. Engenharia Agr. Amb. 13(6):708-715.
15. OUTEIRO, L.; ASPERÓ, F.; ÚBEDA, X. 2008. Geostatistical methods to study spatial variability of soil cations after a prescribed fire and rainfall. *Catena*. 74(3):310-320.
16. ROBERTSON, G.P. 1998. *GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software. 152p.
17. SPSS Inc. 2003. *SPSS statistical software*. Version 12.0. Illinois.
18. SOUZA, L.S.; COGO, N.; VIEIRA, S.R. 1997. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. Rev. Brás. Ciencia do Solo. 21(3):367-372.
19. VIEIRA, S.R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, P.F.; Álvarez, V.H.; Schaefer, C.E.G.R eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Soc. Bras. Ciência Solo. 1:1-54.
20. WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. En: Hillel, D. (Ed). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press. p.319-344.
21. WEBSTER, R. 2008. Soil science and geostatistics. In: Krasilnikov, P; Carrey, F; L. Montanarella, L. eds. *Soil geography and geostatistics - concepts and applications*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. p.1-11.

Recibido: Noviembre 3 de 2009

Aceptado: Marzo 11 de 2010

# EVALUACIÓN DE LA MELAZA DE CAÑA COMO SUSTRATO PARA EL CRECIMIENTO DE *Lactobacillus plantarum*

## EVALUATION OF CANE MOLASSES AS SUBSTRATE FOR *Lactobacillus plantarum* GROWTH

Juliana Andrea Ossa<sup>1</sup>, María Consuelo Vanegas<sup>2</sup>, Ángela María Badillo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Microbióloga Agrícola y Veterinaria. Estudiante de Maestría de Ciencias Biológicas de la Universidad de Los Andes, Laboratorio de Ecología Microbiana y de Alimentos, LEMA. <sup>2</sup> Microbióloga M.Sc. Profesora asociada, Directora del Laboratorio de Ecología Microbiana y de Alimentos, LEMA, Universidad de Los Andes. mvanegas@uniandes.edu.co.

<sup>3</sup> Microbióloga. Laboratorio de Ecología Microbiana y de Alimentos, LEMA, Universidad de Los Andes. Carrera 1 N° 18A 10J-209. Bogotá-Cundinamarca, Colombia. Correspondencia: ja.ossa907@uniandes.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 97-104, 2010

### RESUMEN

La importancia de bacterias ácido lácticas (BAL), como los *Lactobacillus* sp. en Colombia y en el mundo, hace necesario encontrar métodos óptimos para su crecimiento, utilizando sustratos diferentes para su desarrollo. Se empleó melaza de caña como sustrato iniciador para el incremento de *L. plantarum*. Se evaluaron condiciones y variables que afectan el crecimiento microbiano. Se manejó como cepa control *L. plantarum* WS417 y se inocularon diferentes concentraciones de melaza estéril a diferentes valores de pH, temperatura y agitación. El crecimiento, se determinó con microbiología tradicional utilizando recuentos directos en placa, con agar MRS. La interpretación de resultados, se realizó con un análisis de varianza factorial, observando interacciones de las variables, respecto al recuento microbiológico. Las condiciones óptimas para el crecimiento de *L. plantarum* fueron 20% concentración,  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 24 horas,  $5,2 \pm 0,1$  (pH) y 100rpm, donde se obtuvo un recuento de  $43 \times 10^9$  UFC/mL. Se concluyó que la melaza de caña podría ser usada como sustrato para el desarrollo de *Lactobacillus* sp.

Palabras clave: Melaza de caña, sustrato, bacterias ácido lácticas.

### SUMMARY

Due the importance of lactic acid bacteria (LAB) in Colombia and worldwide, it has been necessary to optimize the culture conditions using different kind of substrates to increase growth. In this research, cane molasses was exploited as an indicator substrate to determinate *Lactobacillus plantarum* growth. Different conditions and variables that affect the microbial development were evaluated. *L. plantarum* (WS417) was used as a control strain, inoculating diverse sterile molasses concentrations at different pH values, temperature and agitation. The strain growth was evaluated by traditional microbiology, direct bacteria count, seeded in MRS agar plates. Relationships between biomass and effectiveness of different culture conditions were estimated by factorial variance analysis, showing the results as optimal growth conditions the content of 20% cane molasses,  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  for 24 hours,  $5,2 \pm 0,1$ , and 100rpm with counts of  $43 \times 10^9$  UFC/mL. It was concluded that cane molasses could be employed as growth substrate for *Lactobacillus* sp.

Key words: Cane molasses, substrate, lactic acid bacteria.

## INTRODUCCIÓN

Los *Lactobacillus* spp. son bacterias ácido lácticas (BAL) que se caracterizan por los diferentes usos e importancia a nivel industrial y, en ocasiones, utilizadas como fermentadores de alimentos cárnicos, lácteos y vegetales, además del uso en biopreservación, para incrementar la vida útil de los productos o como potencial probiótico en la industria. Desde el siglo pasado estos microorganismos han demostrado múltiples efectos positivas en la salud de animales y del hombre (Silveira *et al.* 2003; Cabeza, 2006; Vásquez *et al.* 2009; Gálvez *et al.* 2007; Castellano *et al.* 2008; Fiorentini *et al.* 2001).

Los probióticos tienen diferentes efectos en el ser humano, es así que modifican la microflora intestinal, influyen directa e indirectamente en el estado de la salud, a través de producción de vitaminas y ácidos grasos de cadena corta, colaboran con la degradación de sustancias alimenticias no digeridas, estimulan la respuesta inmune y dan protección frente a microorganismos enteropatógenos (Lee & Salminen, 1995; Holzapfel, 2001).

Según, Vargas *et al.* (2004), cerca del 65% de los alimentos que participan en el mercado mundial son productos con probióticos y los *Lactobacillus* son una de las bacterias más empleados en el mercado nacional. Las cepas mundiales consideradas como probióticos y utilizadas como ingredientes del producto, son las siguientes: *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *L. lactis*, *L. casei*, *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *L. reuteri*, *L. paracasei*, *L. fermentum*, *L. helveticus*, *Bifidobacterium*, *B. adolescentis*, *B. angulatum*, *B. bifidum*, *B. breve*, *B. catenulatum*, *B. dentium*, *B. infantis*, *B. longum*, *B. pseudocatenulatum*, *B. infantis*, *L. acidophilus* NCFM (Rhodia, EE.UU.) *L. acidophilus* NCFB 1748. *L. acidophilus* LA1 (al cual se lo renombró como *L. johnsonii* LJ1 -comercializado por Nestlé, Suiza). *L. casei* Shirota (Yakult, Japón). *L. casei* CRL431 (Chr. Hansen, EE.UU.). *L. fermentum* RC-14 (Urex, Canadá). *L. casei* DN114 (Danone, Francia). *L. crispatus* CTV05 (Gynelogix, EE.UU.). *L. reuteri* MM53 (BioGaia, Suecia). *L. rhamnosus* GG (Valio, Finlandia). *L. rhamnosus* GR-1 (Urex, Canadá). *L. plantarum* 299V (producto de Probi, Suecia) (Shah & Lankaputhra, 2002; Mantello, 2007).

En Colombia, las bacterias que se manejan para productos probióticos son cepas importadas de países

Europeos y Japón, lo que implica costos de adquisición. Adicionalmente, si las empresas comercializadoras de alimentos fermentados (95%) del mercado nacional, trabajaran con la búsqueda de cultivos y condiciones que proporcionen la obtención de mayores densidades del microorganismo ( $> 10^7$  UFC/g), generaría un mayor impacto en el desarrollo de estas bacterias, a partir de un medio no láctico para ampliar sus aplicaciones a otros alimentos (Vargas *et al.* 2004), ya sea para consumo humano o animal, biopreservación, probióticos, entre otros, con la correspondiente reducción de costos para los consumidores, lo cual sería un gran aporte a la industria nacional en la producción de bacterias ácido lácticas.

Actualmente, en Colombia la industria de lácteos es la que más utiliza probióticos (Vargas *et al.* 2004). La venta de productos probióticos importados es distribuida a un grupo de industrias limitado, debido al costo y al valor comercial, tales como Alpina, Parmalat, Corpoica, entre otras (Castro & Rodríguez, 2005; www.alpina.com.co). Entre los años 2000 y 2005, se ha incrementado el dinamismo del sector lácteo en un 8,1% de leche y de un 7,3% de otros productos lácteos (DANE-Agrocadenas, 2006).

El mercado de alimentos que aprovecha BAL continúa creciendo mundialmente y en Colombia es necesario contar con sistemas de producción, de métodos y de medios de cultivos adecuados para dicho objetivo; se genera la búsqueda de condiciones y factores que permitan la producción de BAL, como una necesidad de la industria colombiana, para así poder producir microorganismos iniciadores de alimentos fermentados como cárnicos, yogures, quesos, entre otros, sino, también para ser utilizados como ingredientes o aditivos prebióticos, para aumentar los beneficios del cliente por consumo de dichos productos y, de esta manera dotarles de un valor agregado.

Estudios anteriores muestran que el MRS (Man, Rogosa y Sharpe) es un medio de cultivo adecuado para la recuperación de *Lactobacillus* sp. en condiciones de laboratorio, y su costo se hace elevado para el uso industrial en grandes cantidades (Vargas *et al.* 2004). En la industria se han evaluado diferentes sustratos para el crecimiento de BAL, como el medio de cultivo agar leche y leche descremada, que favorece el aislamiento de *Lactobacillus* sp. (Cogan *et al.* 1997; Simova *et al.* 2002). Poca es la información disponible de sustratos

utilizados para el cultivo de bacterias ácido lácticas, a nivel industrial, pero tradicionalmente, se ha utilizado la miel o melaza “blackstrap”, que es un líquido denso, viscoso de color oscuro y que contiene sales y otros compuestos solubles en álcali; es un producto final de la fabricación o refinación de la sacarosa, glucosa y fructosa procedente de la caña de azúcar; además, contienen sustancias no fermentables y melanoidinas (a base de nitrógeno), derivados a partir de la condensación del azúcar y aminocompuestos (Honig, 1974; Swan & Karalazos, 1990). Este subproducto es comúnmente destinado para la producción de alimentos concentrados de animales y como suplemento alimenticio para el hombre, a pesar que, en la actualidad su costo depende de otros factores, como el tema de biocombustibles, por ejemplo. Ello hace necesario analizar las condiciones que suministra el sustrato a estos microorganismos (Leeson & Summers, 2000; ICONTEC, 1994).

Es así, como se debe explorar alternativas con otras materias primas, como la melaza de caña, que contiene componentes esenciales que favorecen el crecimiento de las BAL y proporcionan alternativas de relación costo-beneficio, a nivel de producción y de rentabilidad, incrementando la proliferación del microorganismo rápidamente, valiéndose de sustratos disponibles para su uso; aunque pueden existir otros sustratos más económicos, un primer acercamiento a evaluar las condiciones favorables para el incremento de *L. plantarum* en melaza de caña puede generar nuevas iniciativas de alcance para producción (Vargas *et al.* 2004; Ortiz *et al.* 2008).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar las condiciones óptimas, bajo las circunstancias de la investigación actual, de crecimiento de *L. plantarum* en melaza de caña, como sustrato.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Conservación de la cepa:** La cepa de *Lactobacillus plantarum* WS417, donada por el Instituto Zentralinstitut für Ernährung und Lebensmittelforschung (Ziel), de la Universidad München, Freising (Alemania), fue sembrada en agar Man Rogosa y Sharpe (MRS) (Sharlau, España) e incubada a  $30\pm 0,1$ , por 48 horas sin agitación y en aerobiosis. La cepa fue conservada en tubos inclinados de MRS a  $4\pm 1^\circ\text{C}$  y en caldo MRS, con 30% de glicerol a  $-80^\circ\text{C}$ .

**Evaluación del crecimiento microbiano a diferentes concentraciones de sustrato:** Según el protocolo con modificaciones de Ortiz *et al.* (2008), se utilizó un Erlenmeyer de 250mL con 50mL de melaza estéril a diferentes concentraciones (5%, 10%, 20%, 25% y 30% p/v) pH  $5,2\pm 0,1$ , los cuales, fueron inoculados con 1mL de un cultivo overnight de *L. plantarum* WS417 e incubados a  $30\pm 1^\circ\text{C}$  a 100rpm, durante 24 horas. La concentración inicial del inóculo en los erlenmeyer fue de  $10^2$  UFC/mL. Para cada ensayo, el crecimiento fue determinada realizando recuentos de Unidades Formadoras de Colonia (UFC) en superficie, a las 48 horas.

**Evaluación del crecimiento a diferentes pH:** Para cada concentración de melaza (20% y 25%, 30%, p/v), se ajustó el pH de los erlenmeyer a  $5,2\pm 0,1$ ,  $6,0\pm 0,1$  con KOH y HCl al 40%, los cuales, fueron inoculados con 1mL de un cultivo overnight de *L. plantarum* WS417 ( $10^2$  UFC/mL) en cada tratamiento. Se incubaron a  $30\pm 1^\circ\text{C}$  a 100rpm durante 24 horas y se determinó el crecimiento, por medio de recuentos en placa.

**Evaluación del crecimiento a diferentes temperaturas:** El crecimiento fue evaluado mediante recuentos celulares en placa, sometiendo los tratamientos (diferentes concentraciones de sustrato a diferentes pH), a temperaturas de  $25\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $30\pm 1^\circ\text{C}$  y  $35\pm 1^\circ\text{C}$ , por 24 horas, en agitación constante (100rpm).

**Análisis estadísticos:** Cada uno de los ensayos fue realizado por duplicado (Tabla 1). Los datos se analizaron usando modelos lineales, como el análisis de varianza factorial, con el programa de Statistix 8,0 (1985-2003 Analytical Software), para observar interacciones de las variables respecto al recuento microbiológico en placa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Crecimiento en diferentes concentraciones de sustrato:** Respecto al crecimiento evaluado con diferentes concentraciones, se observó que el crecimiento de *L. plantarum* fue de  $10^9$  en 20% y 25% y se obtuvo recuentos más bajos de  $10^6$  y  $10^7$ , con las demás concentraciones (5%, 10%, 30%). Se debe tener en cuenta que la concentración inicial del inóculo estaba en  $10^2$  UFC/mL. Los recuentos finales de los tratamientos al ser incubados presentaban exponentes de  $10^9$ , lo que indica, que se incrementaba siete unidades el crecimiento bacteriano, en 24 horas, inoculando la melaza de caña al 20% y 25% (Tabla 1, Figura 1 y 2).

Tabla 1. Tratamientos utilizados para evaluar concentraciones de sustrato (melaza de caña), pH inicial de la melaza (5,2±0,1), temperatura (30°C) y tiempo de incubación (24h) y agitación (100rpm).

| Tratamientos | pH inicial | Temperatura °C | Concentración sustrato %p/v | Tiempo (horas) |
|--------------|------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| 1            | 5,32       | 30±1           | 20                          | 24             |
| 2            | 4,52       | 30±1           | 20                          | 24             |
| 3            | 5,31       | 25±1           | 20                          | 24             |
| 4            | 4,48       | 25±1           | 20                          | 24             |
| 5            | 5,30       | 30±1           | 25                          | 24             |
| 6            | 4,49       | 30±1           | 25                          | 24             |
| 7            | 5,31       | 25±1           | 25                          | 24             |
| 8            | 4,50       | 25±1           | 25                          | 24             |
| 9            | 5,20       | 30±1           | 30                          | 24             |
| 10           | 4,49       | 30±1           | 30                          | 24             |

Lo anterior puede ser atribuido a la transformación de la sacarosa a monómeros de azúcar (glucosa y fructosa) por la enzima *invertasa*, que puede disminuir su actividad a concentraciones altas de sustrato, a determinadas temperaturas y pH, permitiendo el aumento de la velocidad de crecimiento (Kazuhiko & Kozo, 1995). En contraste, se obtuvo que a bajas concentraciones de melaza (5%, 10%) hay una deficiencia de carbono, que se refleja en la disminución de los recuentos (Ortiz *et al.* 2008).

A concentraciones de melaza más elevadas (30%), las bacterias alcanzan la fase estacionaria más rápido, antes de consumir todo el sustrato, lo que hace que el microorganismo no produzca más biomasa, por el estado de saturación del sustrato, respecto a la concentración microbiana.

**Crecimiento a diferentes pH.** Se demostró que empleando un pH de 4,5±0,1 y 6,0±0,1, los recuentos

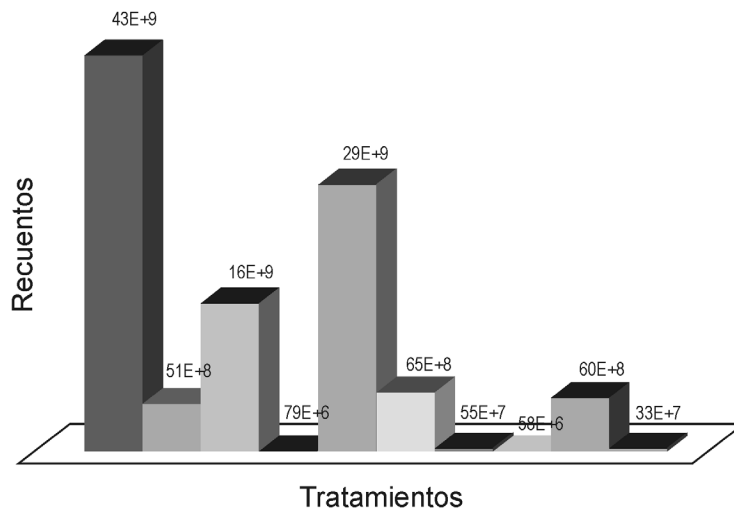


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre el recuento directo en placa de agar MRS.

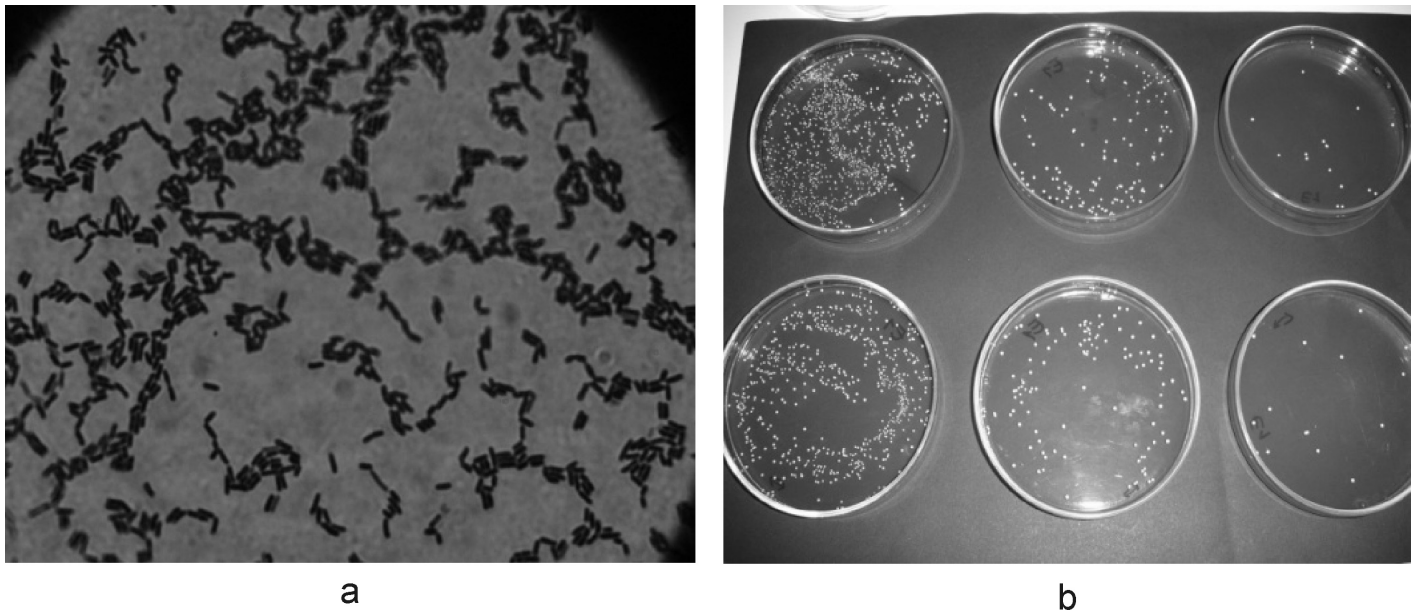


Figura 2. a) *Lactobacillus plantarum* con tinción de Gram, donde se observan bacilos cortos Gram positivos, posterior a la inoculación de los Erlenmeyer con melaza, además de la confirmación y pureza del cultivo, determinada por la apariencia microscópica. b) recuentos (48h) en placa en superficie en agar MRS de *L. plantarum*, en tratamiento de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , 20%, 100rpm, pH inicial 5,2, 24 horas post-inoculación en el Erlenmeyer, en diluciones  $10^7$ ,  $10^8$ ,  $10^9$ .

se disminuían respecto a un pH inicial de  $5,2 \pm 1$  (pH inicial de la melaza), entre una o dos unidades logarítmicas, dependiendo de la concentración del sustrato. La agitación demostró mejorar el crecimiento bacteriano respecto a tratamientos que se evaluaron sin exponer los erlenmeyer en shaker termostataado (Ortiz *et al.* 2008).

Por otro lado, se midió el pH final de los Erlenmeyer inoculadas de los diferentes tratamientos y se observó una disminución de, aproximadamente, una unidad en el rango de acidez, presentando valores del pH final en  $4 \pm 0,1$ , cuando se trabajaba con pH inicial de  $5,0 \pm 0,1$ , lo cual, evidenció la actividad metabólica de la bacteria.

Las bacterias ácido lácticas crecen adecuadamente bajo condiciones microaerófilas con cantidades de oxígeno, entre un 2 y 10%; además, en pH, donde los medios son ligeramente ácidos, en un rango de 4,5 a 6,4, bajo condiciones de temperatura entre 30 y  $40^\circ\text{C}$ . Cuando un medio de cultivo alcanza la alcalinidad o neutralidad, el crecimiento de las bacterias tiende a disminuir (Ortiz *et al.* 2008).

Por otro lado, la agitación incrementó la velocidad de transferencia de nutrientes del medio a las células,

mejoró la homogenización de nutrientes y aumentó la velocidad de transferencia de productos metabólicos de las células hacia el medio. Se registró un aumento en el recuento de tres unidades logarítmicas, cuando los tratamientos eran sometidos a agitación constante ( $10^9$ ), respecto a los que no recibieron el tratamiento ( $10^6$ ).

**Crecimiento a diferentes temperaturas:** En placa para la determinación del crecimiento en los diferentes tratamientos mostraron que a temperaturas de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ , los recuentos de las BAL fueron menores que a  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , en cualquiera de las condiciones evaluadas. El consumo de los sustratos de la melaza, como son azúcares, fósforo, nitratos, se consumen más rápido a temperaturas altas, pero se evidencia incremento de los recuentos a temperaturas menores ( $30 \pm 1^\circ\text{C}$ ) (Ortiz *et al.* 2008).

Por lo anterior, se podría afirmar que se lleva a cabo el proceso conocido como inversión de la sacarosa; la presencia de esta enzima depende de las concentraciones de glucosa, de la temperatura de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , donde se evidencia mayor actividad de la enzima *invertasa* (Ortiz *et al.* 2008), que está directamente relacionada con la

actividad metabólica, debido a que la enzima se encuentra cerca de la superficie de la célula y puede actuar mejor a estas condiciones (Zech & Gorish, 1995).

**Análisis estadístico:** En promedio, el crecimiento de *L. plantarum* evaluado con melaza de caña al 20% fue mayor que en la del 5% y 10%. Además, se evidenció que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ) en el recuento promedio, evaluado con las concentraciones de melaza del 20 y 30%. Por lo tanto, se seleccionó la concentración de melaza de caña del 20% (p/v), que permite la reducción de costos y el crecimiento óptimo del microorganismo (Ortiz *et al.* 2008). El tratamiento al 20%,  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  de incubación durante 24 horas, rango de pH de  $5,2 \pm 0,1$  y 100rpm, obtuvo un recuento de  $43 \times 10^9$  UFC/mL.

Se observó una relación entre el aumento de la concentración de melaza con el recuento, por su valor beta positivo; sin embargo, la variación no es estadísticamente significativa por un valor  $p=0,082$ , resultado que concuerda con estudios previos, según Ortiz *et al.* (2008), en donde han utilizado esta concentración para el incremento de levaduras, ya que en sustratos del 30% o más, la cantidad de sólidos disueltos contribuyen con el estrés osmótico de las células en cultivo.

Por otro lado, para los microorganismos, el crecimiento es la respuesta principal a las condiciones físico-químicas del medio en el que se encuentran, de tal forma que el crecimiento es el resultado, tanto de la replicación como de los cambios, en el tamaño de la célula microbiana, debido a la extracción de los nutrientes proveídos por el medio y, posteriormente, convertidos en compuestos biológicos, usados para la producción de energía y para la síntesis o la formación de productos. Cuando se transfiere el inóculo al medio de fermentación, los microorganismos toman los nutrientes necesarios para su metabolismo y los transforman en biomasa, aunque este proceso puede durar de minutos a horas. Se debe tener en cuenta que diversos factores, como la temperatura, el pH y la concentración de sustrato, afectan significativamente los patrones de crecimiento y la formación de productos asociados con el metabolismo del microorganismo, por eso, es necesario que el sustrato a evaluar sea uno de los factores determinantes al realizar un estudio comparativo de diferentes condiciones.

Finalmente, en la industria láctea y cárnica colombiana podría existir una gran aceptación de nuevas alternativas y propuestas para el crecimiento de bacterias ácido lácticas de uso comercial, debido a que se incrementaría el rendimiento y la calidad de la producción animal, la prevención de enfermedades y el uso indiscriminado de antibióticos y se mejoraría el aprovechamiento de los recursos agrícolas y la tecnología disponibles en el país; además, el contenido nutricional de alimentos de consumo masivo estarían mejor suplementados con cepas probióticas, se ampliaría la gama de aplicaciones de los probióticos a otros alimentos, ya sea para consumo humano o animal y, finalmente, sería benéfico para el consumidor, ya que los valores de los productos se disminuirían por el ahorro en los costos de importación de los probióticos (Vargas *et al.* 2004).

Se concluye, que esta investigación permitió evaluar algunos aspectos relacionados con las condiciones óptimas de crecimiento de *L. plantarum*, en las condiciones del estudio, utilizando un subproducto de la industria azucarera, la melaza de caña, con la cual, se logró incrementar el desarrollo microbiano de bacterias ácido lácticas, a partir de medios no lácticos. Los resultados hallados indican que el tratamiento que permitió el máximo crecimiento del microorganismo e incrementó los recuentos siete unidades logarítmicas a las 24 horas fue empleando sustrato al 20%. Se recomienda la melaza de caña, como sustrato, para realizar más investigaciones a nivel de laboratorio y, posteriormente, poseer herramientas de acercamiento a planta piloto, para lograr proponer este sustrato, como un medio de trabajo pertinente, que optimice la propagación de las bacterias ácido lácticas a nivel industrial.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen al Comité de Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas y al Laboratorio de Ecología Microbiana y de Alimentos LEMA, de la Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia, por el apoyo y financiación para la realización de esta investigación. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad de Los Andes, Comité de Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Ecología Microbiana y de Alimentos LEMA.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALPINA. Disponible desde Internet en: [www.alpina.com.co](http://www.alpina.com.co) (con acceso 04/02/10).
2. CABEZA, H.E.A. 2006. Bacterias ácido lácticas (BAL): aplicaciones como cultivos estarter para la industria láctea y cárnica. 1-12. (Colombia). Disponible desde Internet en [http://enalcahe.googlepages.com/Bacteriascido-lcticas\\_BAL\\_\\_aplicacio.pdf](http://enalcahe.googlepages.com/Bacteriascido-lcticas_BAL__aplicacio.pdf) (con acceso 04/02/10).
3. CASTELLANO, P.; BELFIORE, C.; FADDA, S.; VIGNOLO, G. 2008. A review of bacteriocinogenic lactic acid bacteria used as bioprotective cultures in fresh meat produced in Argentina. *Meat Sci.* 79(3):483-499.
4. CASTRO, M.; RODRÍGUEZ, F. 2005. Levaduras: probióticos y prebióticos que mejoran la producción animal. *Rev. Corpoica.* (Colombia) 6(1):1-27.
5. COGAN, T.; BARBOSA, M.; BEUVIER, E.; BIANCHI-SALVADORI, B.; COCCONCELLI, P.; FERNANDES, I.; GÓMEZ, J. 1997. Characterization of the lactic acid bacteria in artisanal dairy products. *J. Dairy Res.* 64:409-421.
6. DANE. 2006. Observatorio Agrocadenas Segundo informe de coyuntura de 2006. p.1-35 (Colombia). Disponible desde internet en: <http://www.redlactea.org/documentos/Inf%20coy%202%202006.pdf> (con acceso 04/02/10).
7. FIORENTINI ÂNGELA, M.; SANT'ANNA ER-NANI, S.; PORTO ANNA, C.S.; MAZO JACIARA, Z.; FRANCO BERNADETTE, D.G.M. 2001. Influence of bacteriocins produced by *Lactobacillus plantarum* in the shelf-life of refrigerated bovine meat. *Brazilian J. Microbiol.* 32:42-46.
8. GÁLVEZ, A.; ABRIOUEL, H.; LUCAS LÓPEZ, R.; BEN OMAR, N. 2007. Bacteriocin based strategies for food biopreservation. *Internal. J. Food Microbiol.* 120:51-70.
9. HOLZAPFEL, W. 2001. Introduction to pre and probiotic. *Food Res. Internal.* p.963-969.
10. HONIG, P. 1974. Principios de Tecnología Azucarrera. 2ª ed. Compañía Edit. Continental. (México). p.23-54.
11. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC. 1994. Industrias alimentarias e industriales de bebidas. Melaza de caña NTC.587.
12. KAZUHIKO, T.; KOZO, T. 1995. Factors affecting the ethanol productivity of yeast in molasses. *J. Ferment. Bioeng.* 79(5):449-452.
13. LEE, Y.J.; SALMINEN, S. 1995. The coming age of probiotic. *Trends in Food Sci. Techn.* 6:241-245.
14. LEESON, S.; SUMMERS, J. 2000. Nutrición Aviar Comercial. Editorial Le´Print Club Express Ltda. (Colombia). p.43-45.
15. MANTELLO, R.S. 2007. Materias primas: Yogurt: El yogurt y los alimentos probióticos. (Argentina). Disponible desde internet en: <http://www.mundohelado.com/materiasprimas/yogurt/yogurt12.htm> (con acceso 04/02/10).
16. ORTIZ, A.; REUTO, J.; FAJARDO, E.; SARMIENTO, S.; AGUIRRE, A.; ARBELÁEZ, G.; GÓMEZ, D.; QUEVEDO, H.B. 2008. Evaluación de la capacidad probiótica "in vitro" de una cepa nativa de *Saccharomyces cerevisiae*. *Universitas Scientiarum.* (Colombia). 13(2):138-148.
17. SHAH, N.P., LANKAPUTHRA, E.V. 2002. Improving viability of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. in yogurt. *Internal Dairy J.* 7:349-356.
18. SIMOVA, E.; BESHKOVA, D.; ANGELOV, A. 2002. Lactic acid bacteria and yeasts in kefir grains and kefir made from them. *J. Indust. Microbiol. & Biotechn.* 28:1-6.
19. SILVEIRA RODRÍGUEZ, M.B.; MONEREO MEGIAS, S.; MOLINA BAENA, B. 2003. Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos? *Rev. Española de Salud Pública.* 77(3):317-331.
20. STATISTIX 8,0. Analytical Software (1985-2003).



21. SWAN, H.; KARALAZOS, A. 1990. Las melazas y sus derivados. Rev. Tecn. Geplacea. (España).19:78-82.
22. VARGAS, E.M.; GÓMEZ, J.C.; PARRA, M.E.; ROMERO, M.A. 2004. Obtención de Microorganismos Probióticos en un medio no láctico. 166-175 (Colombia). Disponible desde internet en: <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rev1917.pdf?ri=821d8c5b0c8193719707a9a8131daacc> (con acceso 04/02/10).
23. VÁSQUEZ, M.S.M.; SUÁREZ, M.H.; ZAPATA, B.S. 2009. Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. Rev. Chil. Nutr. 36(1):64-71.
24. ZECH, M.; GORISCH, H. 1995. Invertase from *Saccharomyces cerevisiae*: Reversible inactivation by component of industrial molasses media. Enzyme Microbial and Technology. 17:41-46

Recibido: Marzo 26 de 2009

Aceptado: Marzo 8 de 2010

# ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE RÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ, BAJO DOS CONDICIONES AMBIENTALES

## GROWTH ANALYSIS OF ARUGULA (*Eruca sativa* Mill.) IN THE SABANA OF BOGOTA UNDER TWO ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Fernando Colorado<sup>1</sup>, Dolly Rodríguez<sup>2</sup>, Jairo Cortés<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Profesor titular. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A fcolorad@udca.edu.co; <sup>2</sup> Ingeniera Agrónoma dpanchis@hotmail.com; <sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo, dongortes@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 105-113, 2010

### RESUMEN

La rúgula es una hortaliza que ha empezado a despertar interés como producto gourmet, por sus porciones comestibles en fresco, las hojas jóvenes; sin embargo, falta desarrollar tecnología para su producción y conocer sus características de crecimiento y desarrollo en nuestro medio. Se buscó, por lo tanto, establecer los índices de crecimiento de la especie, tales como área foliar, peso fresco y peso seco; elaborar las tasas de crecimiento para dos ambientes, es decir, tasa de crecimiento relativo, tasa de crecimiento del cultivo, tasa de asimilación neta e índice de área foliar; elaborar las curvas de crecimiento y establecer las ecuaciones matemáticas que mejor ajustarán la relación entre índices y condiciones ambientales. Se sembraron 972 plantas de *Eruca sativa* Mill. en invernadero y a libre exposición durante dos ciclos, en el segundo semestre de 2006, en la Unidad Docente Investigativa de la U.D.C.A. Se tomaron muestras destructivas cada 15 días sobre plantas en competencia completa, para obtener la información de los índices de crecimiento y muestras de seguimiento, para elaborar las tasas de crecimiento. Se obtuvo la información ambiental, para construir las ecuaciones matemáticas. La información recolectada se sometió a una prueba de "t", utilizando el SAS, para determinar posibles diferencias en las variables. Los resultados dieron un mejor comportamiento de la

rúgula bajo invernadero, ya que las principales tasas de crecimiento presentaron un mejor desempeño. Las condiciones ambientales ejercieron una influencia importante en el crecimiento vegetal. Se recomienda sembrar rúgula bajo invernadero, por las mejores condiciones para su crecimiento.

Palabras clave: Rúgula, gourmet, tasas de crecimiento, invernadero, libre exposición.

### SUMMARY

Arugula is a horticultural species that has provoked interest as a gourmet product, being the edible portions the fresh young leaves. The development of its production technology, the knowledge of its growth and development for tropical conditions are lacking. According to these aspects, the following objectives were proposed: establishment of the growth indices, the leaf area, the fresh and dry weight; determination of growth rates for both environments: relative growth rate, rate of crop growth, net assimilation rate, leaf area index; ascertainment of growth curves and the mathematical equations that best fit the relationship between growth rates and environmental conditions. 972 plants of *Eruca sativa* Mill. were placed under greenhouse and free exposure conditions, during two cultivation cycles, during the second term of 2006 at

the U.D.C.A,s Teaching-Research area. For the growth indices data, each 15 days destructive samples were taken from plants in complete competition; equally, to obtain information on the growth rates, continuous samples were obtained. Environmental information was captured to construct the mathematical equations. The collected information to determine possible differences in the growth variables was submitted to a "t" test, using SAS. The results showed a better performance of arugula under greenhouse conditions, since the main achieved growth rates were enhanced. Environmental conditions had a major influence on plant growth. Greenhouse conditions are recommended for planting arugula, since they represent optimal growth conditions.

Key words: Arugula, gourmet, growth rates, greenhouse, outdoors.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos 15 años, se ha presentado un cambio en las tendencias de consumo de frutas y de hortalizas en el mundo occidental, básicamente, por motivaciones de salud y de bienestar. Hoy en día, se consumen en fresco, sin procesamiento, adicionando, a la dieta, especias y plantas medicinales. En Colombia, se producen todas ellas en diferentes regiones del país, debido a su diversidad de ambientes. Se consumen diferentes hortalizas, como brócoli, lechuga, tomate, cebollas, ajo, acelga, producidas principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y el oriente antioqueño.

El sector hortofrutícola nacional se está preparando para afrontar los retos comerciales del momento y para ello, se está implementando el plan frutícola y hortícola, que buscan mejorar la competitividad del país en estos sectores. Por ejemplo, en Estados Unidos, se cultivan dentro de diversas especies hortícolas la rúgula en pequeña escala y en el estado de California, su comercialización se realiza como cultivo orgánico, en supermercados especializados (Evans *et al.* 2001). Igualmente, en Brasil, Cavallaro *et al.* (2009), reportan producción en el Estado de Sao Pablo.

La rúgula es una especie nueva en el país, poco se conoce acerca de su consumo y de su producción, adaptada a las condiciones de la Sabana de Bogotá, ya sea a libre exposición o bajo invernadero. Filgueira (2000), citado por Grangeiro *et al.* (2005), afirma que

se desarrolla bien en clima medio, ya que en ambientes cálidos tiende a florecer, rápidamente emitiendo, un pedúnculo floral. Las porciones comestibles de la planta en fresco son las hojas jóvenes, de consumo crudo o cocinado. Existen formas domesticadas, de las cuales, se extrae un aceite de sus semillas, con altos contenidos de ácido erúgico, para la industria (Bennett *et al.* 2007). Las hojas poseen un sabor picante característico, debido a su contenido de glucosianatos dependiendo de la diversidad genética y de las condiciones ambientales (Morales *et al.* 2006). Se han reportado altos contenidos de vitamina C y propiedades medicinales, entre las que se incluyen: anti-inflamatorias, diuréticas y sobre la buena circulación sanguínea (Bennett *et al.* 2007).

Dependiendo del manejo al cultivo varía su ciclo en campo, puesto que se puede trabajar por cortes, los cuales, se pueden realizar hasta tres por ciclo o una sola cosecha por siembra. Muchos cultivadores realizan el corte de la hoja dos o tres veces durante el tiempo de desarrollo, permitiendo realizar varias cosechas (Evans *et al.* 2001); dicho procedimiento, se lleva a cabo mediante cortes de la lámina foliar y el pecíolo a nivel del suelo. Carneiro *et al.* (2008) afirman que la producción de rúgula se puede desarrollar en ambientes protegidos utilizando sistemas NFT (Nutrient Film Technique), aunque su costo es elevado. Morales & Janick (2002), sostienen que la cosecha se puede iniciar entre los 20 y 27 días después de transplante, para continuar cosechar secuencialmente.

Matheron *et al.* (2001), en estudios llevados a cabo en la Universidad de Arizona, registraron el uso de la rúgula como repelente de algunas plagas y enfermedades, entre las que se destacan *Epitrix cucumeris*, *Liriomyza sp.*, *Plutella xylostella*, *Trichoplusia ni*, *Spodoptera exigua*, *Peronospora parasítica* y *Xanthomonas campestris*.

Hace falta desarrollar un paquete tecnológico para la producción de rúgula, bajo las condiciones de la Sabana de Bogotá, empezando por conocer sus características de crecimiento y desarrollo, manejo agronómico de la especie, aspectos de producción y productividad y, de forma paralela, todo lo relacionado con comercialización y aspectos de aceptación en el mercado.

De acuerdo a lo anterior, esta investigación planteó establecer los índices y tasas de crecimiento para la especie, elaborar las curvas de crecimiento y determinar

las ecuaciones matemáticas que mejor ajusten la relación entre índices de crecimiento y condiciones ambientales, temperatura y humedad relativa, en dos ambientes de la Sabana de Bogotá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se llevó a cabo en la unidad El Remanso, de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, en el segundo semestre de 2006, ubicada en la localidad de Suba, en Bogotá D.C, a una altitud de 2540msnm. La zona pertenece a un bosque seco montano bajo, según la clasificación de Holdridge. El lote de trabajo fue de 60m<sup>2</sup> a libre exposición e igual área bajo invernadero. Se realizaron dos ciclos de siembra en cada uno de los ambientes, con una duración de ocho semanas desde el transplante; ciclos comprendidos entre agosto y finales de diciembre.

Para conocer las condiciones físicas y químicas del suelo del trabajo y diagnosticar su posible influencia en el crecimiento vegetal, se tomó una muestra de suelo al iniciar el primer ciclo en ambos ambientes; las muestras, se rotularon y se enviaron al laboratorio, para el análisis correspondiente y la determinación de elementos mayores y menores.

Las plántulas fueron adquiridas en el C. I. de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Se sembraron 972 plántulas utilizando una plantilla para manejar las distancias de 22cm entre plantas y entre hileras, para una densidad de siembra de 17 plantas por m<sup>2</sup>. Se repusieron plantas para no interferir con la densidad, una vez cosechadas las plantas de muestreo destructivo. Para ello, se sembraron plantas en un lote anexo al lugar de investigación, con las mismas condiciones anteriores. El ensayo, se manejó agrónomicamente efectuando labores de deshierbas, riegos y aporque. No se aplicaron sustancias orgánicas o químicas para la protección fitosanitaria.

El trabajo evaluó variables directas de crecimiento: peso fresco y peso seco total, peso de raíces y de la parte aérea, longitud de la parte aérea, número de hojas y área foliar y variables indirectas de crecimiento: tasa de crecimiento absoluto (TCA), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), índice de área foliar (IAF), duración de área foliar (DAF).

Con la información anterior, se construyeron curvas de crecimiento relacionadas con las variables de estudio y se determinaron las ecuaciones matemáticas, que mejor ajustaron la relación entre variables.

Buscando correlacionar los índices de crecimiento obtenidos con las condiciones de ambiente presentes durante el ensayo, como posibles variables influyentes en el crecimiento vegetal, se tomó la siguiente información diariamente: temperatura y humedad relativa bajo invernadero, con el empleo de un higrotermómetro, colocado a 2m de altura del suelo; los datos a libre exposición, temperatura y precipitación, se tomaron de la estación experimental de la finca Inversiones Morcote, empresa de flores aledaña al sitio de experimentación.

Para tomar la información correspondiente de las variables de estudio, se identificó un número determinado de plantas en campo, de forma aleatoria, para tener dos tipos de muestreo, uno de seguimiento y otro destructivo.

Con el muestreo de seguimiento, se registró información de las siguientes variables: área foliar, longitud de la parte aérea y número de hojas. Con el muestreo destructivo, se consignó información de peso fresco y peso seco. La lectura de las variables a evaluar, se hizo semanalmente a cada una de las plantas seleccionadas, para posteriormente trabajar con los promedios resultantes de los muestreos semanales. Una vez cosechada la planta con una balanza analítica marca Ohaus, se anotó el peso fresco total, hojas y raíces. Después de tomado este dato de cada una de las estructuras de la planta (raíz y parte aérea), el material vegetal se depositó en bolsas de papel, para ser secado en una estufa de 400kg de capacidad, a de 70°C, durante 48 horas, de acuerdo a metodología aplicada por Cabezas (2001).

El área foliar, se determinó empleando la metodología del cm<sup>2</sup>, que consiste en tomar un centímetro cuadrado de hoja, pesarlo y extrapolar al peso total de las hojas (Cabezas, 2001). La longitud de la parte aérea, se midió en cm utilizando una regla, desde la base hasta el ápice de la planta; el número de hojas, se obtuvo mediante conteo manual de hojas verdaderas. Con la información de campo, se construyeron los índices desde la semana uno, después de transplante, hasta la semana ocho del cultivo.

Para los muestreos destructivos se tomaron 20 plantas al azar, semanalmente, para un total de 160 plantas por ciclo, sobre la población total, para cada uno de los ambientes (16% de la población); el muestreo se realizó en las horas de la mañana; una vez efectuada la lectura, se repuso la planta. Para los muestreos de seguimiento, se identificaron aleatoriamente 50 plantas en cada uno de los ambientes (5% la población); las lecturas, se realizaron también en las horas de la mañana.

La información recolectada de las diferentes variables de estudio, en los dos ciclos de siembra y en ambos ambientes, se sometió a una prueba de "t", con un nivel de confianza del 95%, para determinar posibles diferencias en las variables de crecimiento; lo anterior utilizando el paquete estadístico SAS. Se establecieron curvas y ecuaciones de crecimiento buscando la relación entre las variables de crecimiento y las condiciones ambientales.

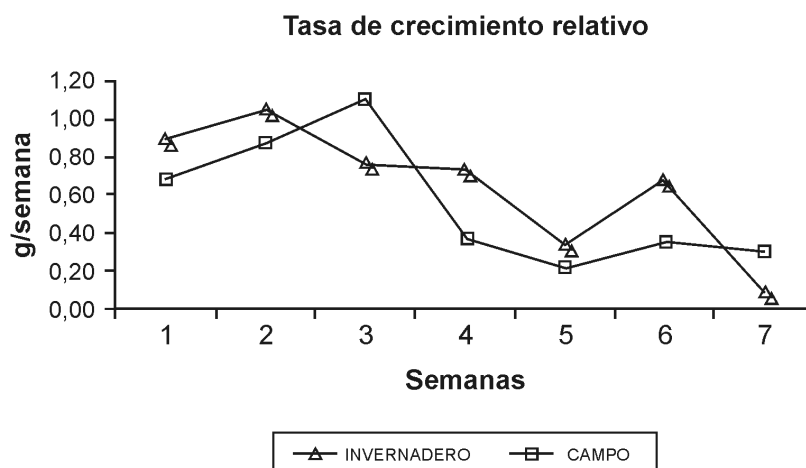
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Peso fresco total y peso seco total:** El análisis estadístico determinó diferencias significativas al 5% entre ambientes, para las variables peso fresco total y peso seco total; la planta acumula más materia seca bajo condiciones de invernadero que a libre exposición. Se observó que el mayor peso fresco total se presentó bajo condiciones de invernadero, marcando la diferencia a partir de la tercera semana y obedece a que, bajo condiciones de invernadero, los procesos metabólicos se aceleran por incremento de la temperatura dándose

una mayor velocidad en las reacciones metabólicas; las reacciones bioquímicas se aceleran al aumentar la temperatura, por la acumulación de grados día a lo largo del ciclo de desarrollo, así como las oscilaciones de temperatura que se pueden dar en períodos cortos de tiempo, afectando la fuerza de fosa (vertedero) (Dogliotti, s.f). Bajo las condiciones de la investigación, se pudo determinar el porcentaje de humedad de la especie, que osciló entre el 85 y 91%. Siendo la rúgula una especie que se vende en fresco, la información es útil para el manejo poscosecha, la comercialización, la fijación de pecios e incluso la transformación a la hora de deshidratar el producto y darle valor agregado.

**Área foliar:** No hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambientes y entre ciclos; sin embargo, se observó cambios a lo largo del ciclo, que se marcan a partir de la semana tres y siguiendo la tendencia de las anteriores variables, traduciéndose en un mejor desempeño de las tasas de crecimiento, por una mejor eficiencia fotosintética, como se verá más adelante y como argumentan Jarma *et al.* (2006) en un estudio con *Stevia rebaudiana*, en función de la radiación en el caribe colombiano, donde se midió variaciones de la radiación solar y su influencia sobre el crecimiento de la planta, dando como resultado que a mayor tejido foliar la planta es más eficiente en captación de luz.

**Tasa de crecimiento relativo (TCR):** Es el incremento de biomasa por unidad de biomasa y tiempo. La gráfica 1 indica los resultados obtenidos promedio de dos ciclos



Gráfica 1. Tasa de crecimiento relativo del cultivo de rúgula bajo dos ambientes, promedio de dos ciclos de cultivo.

de cultivo para esta tasa, en ambos ambientes. A libre exposición, se presentó la mayor TCR en la semana tres con 1,0g/g semana, dada en incremento en biomasa por unidad de biomasa y tiempo.

En invernadero, se obtuvo la mayor TCR en la semana dos, con 1,05g/g semana; a partir de esa semana, la TCR empieza a disminuir hasta la semana cinco, acorde al desarrollo del cultivo. Lo anterior, se entiende porque a medida que la planta crece su incremento en fitomasa es cada vez menor. Resultados obtenidos por Jarma *et al.* (1999) en habichuela, variando radiación incidente, llegaron a la misma conclusión.

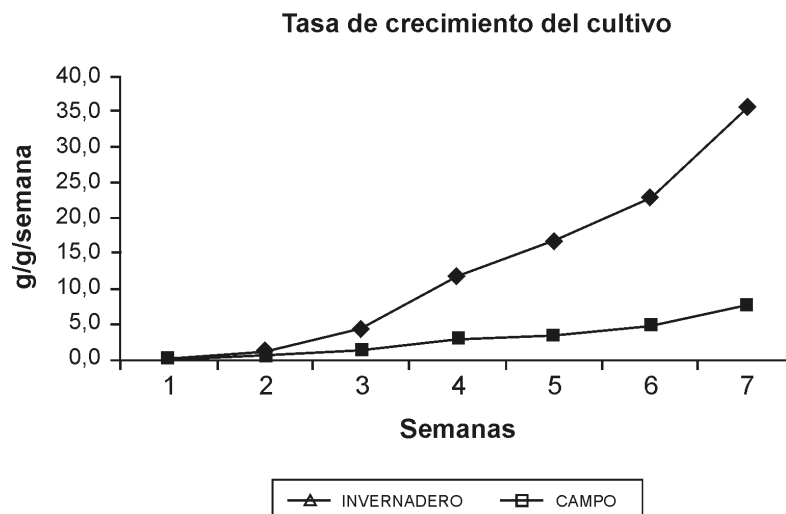
En la gráfica anterior, de igual manera se observa el comportamiento normal de la tasa, en ambos ambientes; sin embargo, es de anotar la diferencia en la pendiente entre las curvas. El decrecimiento fue gradual en invernadero, mientras que, a libre exposición, se acentuó, de la semana tres a la cinco, posiblemente, porque en ese tiempo la planta empezó su proceso de floración, etapa del cultivo que se inició bajo invernadero en la semana seis. Barraza *et al.* (2004), trabajando en tomate, reportaron resultados similares, mostrando una disminución en la TCR, en el período comprendido entre los 45 y 60 días, después del trasplante, en el cual, se presentó el proceso de floración. Los resultados anteriores, se debieron, posiblemente, a que las hojas se convirtieron en fuentes que atendían la demanda de

foto asimilados hacia los nuevos órganos, las flores. Finalmente, esta tasa se puede ver influenciada por la distribución de materia seca o de asimilados, que hace la planta en cada fase de desarrollo.

**Tasa de crecimiento del cultivo (TCC):** La tasa de crecimiento del cultivo es el índice de productividad biológica cuyos valores más altos se reflejan en mayor producción de los órganos de interés para la cosecha; en el caso de la rúgula, teniendo en cuenta que el producto comercial son las hojas, la TCC está ligada al número y tamaño de hojas y está relacionada con el índice de cosecha, contribuyendo a un mayor rendimiento.

La gráfica 2 muestra los resultados obtenidos promedio de dos ciclos de cultivo, para esta tasa, en ambas condiciones del ensayo. Para invernadero, se obtuvo la mayor TCC en la séptima semana, con 9,41g/m<sup>2</sup>/semana y, a libre exposición, también en la séptima semana, con 43,81g/m<sup>2</sup>/semana. La mayor eficiencia productiva de biomasa por unidad de superficie del suelo se presentó bajo invernadero, posiblemente, a que bajo ambientes controlados, la planta de rúgula es más productiva.

El suministro de nutrientes para el cultivo es un factor determinante a la hora de evaluar el desempeño fisiológico y productivo del mismo. Aunque es una variable no cuantificada en el presente trabajo, sí se puede decir que, de acuerdo a los análisis de tejido, el aporte de nutrientes



Gráfica 2. Tasa de crecimiento del cultivo de rúgula bajo dos ambientes, promedio de dos ciclos de cultivo.

del suelo hacia la planta y sus diferentes órganos fue el adecuado, ya que, por ejemplo, la concentración de la mayoría de los elementos se mantuvo constante de la semana cuatro a la semana ocho del segundo ciclo de cosecha, siendo ésta una variable que favoreció el resultado de las tasas de crecimiento.

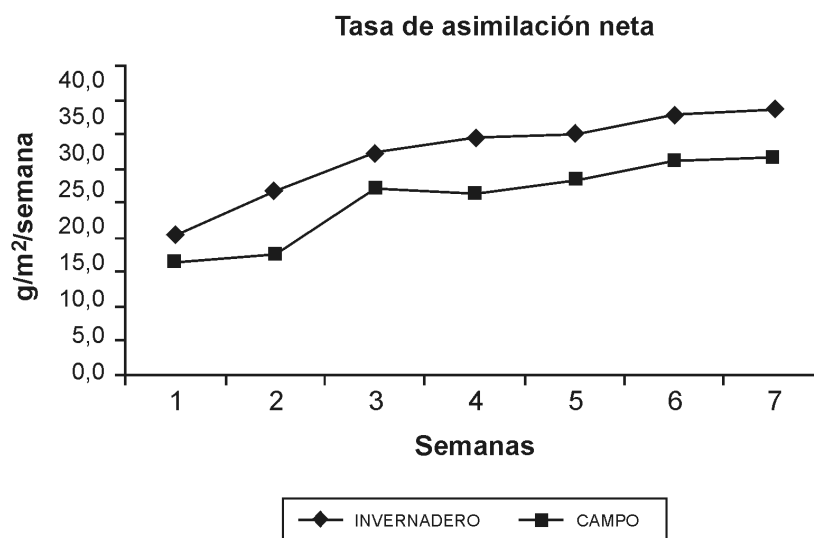
La TCC no presenta una fase descendente en este estudio, debido a que la evaluación solo abarcó hasta el período de floración y no el ciclo completo, puesto que después de la floración, se pierde valor comercial de las hojas cosechadas.

**Tasa de Asimilación Neta (TAN):** Es la tasa de incremento en el peso de la planta por unidad de área foliar. La gráfica 3 registra los resultados obtenidos promedio de dos ciclos para esta tasa, en ambos ambientes. Para invernadero, se obtuvo la mayor TAN en la semana siete, con 7,81g/m<sup>2</sup>/semana y, a libre exposición, de igual manera en la misma semana, con 6,3g/m<sup>2</sup>/semana. Tasa de crecimiento influenciada por el área foliar, ya que la información lograda de área foliar, se correlaciona bien con los resultados de la TAN, en ambos ambientes, a mayor área foliar mayor TAN. Nuevamente, las condiciones ambientales más favorables bajo invernadero marcan la diferencia, mejorando el resultado de la TAN en este ambiente, ya que durante el tiempo de realización del ensayo, se presentó mayor temperatura y humedad relativa en invernadero que a libre exposición.

Gómez *et al.* (1999) definen la TAN, como un indicador de la eficiencia fotosintética de la planta y, en ese sentido, se observa una mayor eficiencia fotosintética en ambos ambientes en estas semanas. Factores como número de hojas, área foliar, nutrición, entre otros, contribuyeron, posiblemente, al desempeño del cultivo. Un factor morfológico de la planta de rúgula es la disposición postrada de sus hojas que favorece la incidencia de la radiación, como lo reporta Dogliotti (s.f), en un trabajo con tomate, realizado en Uruguay, caracterizando el crecimiento y el desarrollo del cultivo.

**Índice de Área foliar (IAF):** Expresa el rendimiento de los cultivos por unidad de área foliar y por unidad de área de suelo ocupada por el cultivo (Gómez *et al.* 1999). Para invernadero, se obtuvo el mayor IAF en la semana siete, con 5,6 y, a libre exposición, también en la semana siete, con 1,5.

El comportamiento del IAF fue lineal en ambos ambientes hasta la semana tres, presentando mayores valores bajo condiciones de invernadero; de ahí en adelante, hasta la semana siete, el crecimiento fue de tipo exponencial, especialmente, en invernadero, lo cual, se manifiesta, fisiológicamente, en una mayor tasa de translocación de foto asimilados hacia los puntos de demanda que para el caso del cultivo de rúgula son principalmente hojas; esto se encuentra de acuerdo con lo manifestado por Gómez *et al.* (1999) y Barraza *et al.* (2004). Por otra



Gráfica 3. Tasa de asimilación neta del cultivo de rúgula bajo dos ambientes, promedio de dos ciclos de cultivo.

parte, a libre exposición, el índice es menor porque se presentan condiciones menos favorables para el incremento foliar con respecto al invernadero, como por ejemplo, temperatura más baja. El número de hojas, se correlaciona bien con el índice de área foliar, a mayor número de hojas mayor IAF, traduciéndose en una mejor TAN; aunque Barraza *et al.* (2004) afirman que los valores altos de este índice en algunas ocasiones no están relacionados necesariamente con una mayor cantidad de fotosíntesis, ya que el IAF es un concepto que representa, para todo cultivo, un promedio de los estratos de follaje que están expandidos, situación que se ve afectada por el hecho que las hojas no se despliegan sin dejar de encontrarse unas con otras, sino que lo hacen en diferentes ángulos que varían con la morfología de las especies y de las condiciones ambientales en que estén creciendo.

Relación matemática entre la TAN y la temperatura: Las variaciones de temperatura entre la máxima y la mínima registrada semanalmente fluctuaron entre los 27°C y 32°C para invernadero (Gráfica 4), presentándose una temperatura máxima de 42,29°C y una mínima de 6,14°C.

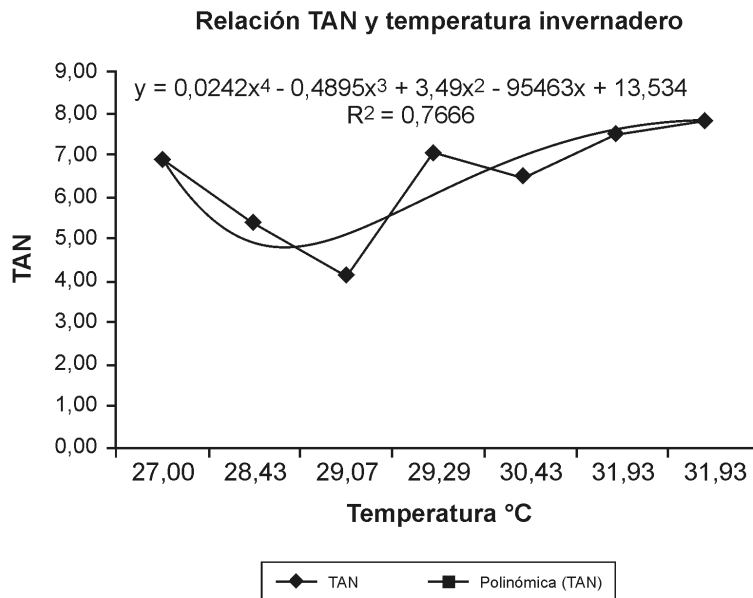
La gráfica 4 muestra la relación entre las variaciones de temperatura dadas durante el ensayo y el incremento

en el peso de la planta por unidad de área foliar (TAN); en ella, se observa que la ganancia de materia seca de la planta estuvo entre los 4,047g/m<sup>2</sup>/semana y los 7,81g/m<sup>2</sup>/semana. La ecuación matemática descrita en esta gráfica sirve para estimar la TAN del cultivo, cuando se presentan los rangos de temperatura, dados anteriormente, con un grado de confiabilidad del 76%.

Las variaciones de temperatura entre la máxima y la mínima registrada semanalmente fluctuaron entre los 18,9°C y 21,9°C a libre exposición, indicando una temperatura máxima de 32,71°C y una mínima de 6,0°C. Los datos de la ecuación (Gráfica 5) sugieren que cuando hay una variación de temperatura de, por ejemplo, 29°C, la tasa de asimilación neta de la planta será de 5,54g/m<sup>2</sup>/semana, con un grado de confiabilidad de 0,78, bajo las condiciones de la investigación.

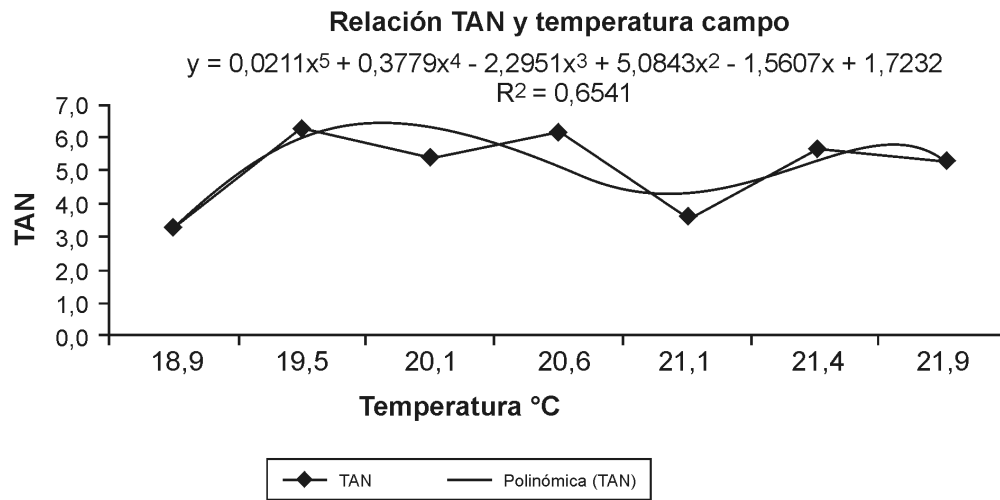
La gráfica 5 señala la relación entre las variaciones de temperatura dados durante el ensayo y el incremento en el peso de la planta por unidad de área foliar (TAN), a libre exposición; en ella, se nota que la ganancia de materia seca de la planta estuvo entre los 3,25g/m<sup>2</sup>/semana y los 6,3g/m<sup>2</sup>/semana.

Los datos de la ecuación en la gráfica 5 sugieren que al existir una variación de temperatura de, por ejemplo,



Gráfica 4. Relación matemática entre TAN de rúgula y variación de temperatura en invernadero.





Gráfica 5. Relación matemática entre TAN de rúgula y la variación de temperatura a libre exposición.

20,5°C, la tasa de asimilación neta de la planta será de 5,57g/m<sup>2</sup>/semana, con un grado de confiabilidad de 0,98, bajo las condiciones del ensayo.

Aparentemente, no existe influencia de la temperatura sobre la TAN en ambos ambientes, ya que la variación de temperatura osciló en 5°C y 3°C, bajo invernadero y libre exposición, respectivamente; sin embargo, en las curvas, se observa que a mayor temperatura mayor TAN, posiblemente, por factores asociados al crecimiento, como suministro adecuado de nutrientes, asignación de asimilados hacia las hojas, las reacciones bioquímicas se aceleran al aumentar la temperatura y el número de hojas por planta.

A continuación, se enumeran las conclusiones del trabajo:

1. La planta acumula más materia seca bajo condiciones de invernadero que a libre exposición, posiblemente, por la mayor actividad metabólica a la que está expuesta en este ambiente.
2. Bajo las condiciones del ensayo, el mejor desempeño de las tasas de crecimiento e índices evaluados en este trabajo, se presentaron entre las semanas seis y siete después de trasplante, exceptuando, la tasa de crecimiento relativo.
3. A libre exposición, la planta de rúgula se somete a un mayor estrés ambiental, dando como resultado

un mayor gasto de energía inicial (distribución de asimilados hacia la raíz), para adaptarse al medio y reflejándose en un menor comportamiento de las tasas de crecimiento.

4. La floración prematura de la planta de rúgula a libre exposición, se debió a las condiciones adversas que tuvo durante su ciclo de crecimiento.
5. Las condiciones ambientales bajo invernadero durante el ensayo fueron favorables para el desarrollo de la planta de rúgula, como se observó en cada una de las tasas de crecimiento.
6. Se presentó un efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa sobre el crecimiento de la planta.

Conflictos de intereses: El trabajo fue preparado y revisado por el primer autor y el aval de los otros dos, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BARRAZA, F.; FISCHER, G.; CARDONA, C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Valle del Sinú medio colombiano. Agr. Colombiana. 22(1):81-90.

2. BENNETT, R.; CARVALHO, R.; MELLON, F.; EAGLES, J.; ROSA, E.A. 2007. Identification and quantification of glucosinolates in sprouts derived from seeds of wild *Eruca sativa* L. (Salad Rocket) and *Diplotaxis tenuifolia* L. (Wild Rocket) from diverse geographical locations. *J. Agric. and Food Chemistry*. 55:67-74. Disponible desde Internet en: <http://Journalofagriculturalandfoodchemistry.pdf> (con acceso 10/10/07).
3. CABEZAS, M. 2001. Guías de Laboratorio y campo de ecofisiología. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. Facultad de Ingenierías. Bogotá. 25p.
4. CARNEIRO, O.L.; PURQUEIRO, L.F.V.; TIVELLI, S.W.; SANCHES, J.; CIA, P. 2008. É possível produzir *baby leaf* de rúcula em bandejas com diferentes volumes de células? *Hort. Bras.* 26:6295-6300.
5. CAVALLARO, M.; ESPÍNDOLA, P.; PASSOS, F.; KUHN, J.; WILSON, S. 2009. Produtividade de rúcula e tomate em função da adubação N e P orgânica e mineral. *Bragantia (Brasil)*. 68(2):347-356.
6. DOGLIOTTI, S. Sin fecha. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) material de apoyo al módulo hortícola. Universidad de la República de Uruguay - Facultad de Agronomía. Disponible desde Internet en [www.fagro.edu.uy](http://www.fagro.edu.uy). (con acceso 25/06/06).
7. EVANS, L.; MATHERON, M.; OLSEN, M.; PALUMBO, J.; UMEDA, K. 2001. Crop Profile for Arugula in Arizona, University of Arizona, Tucson, Arizona. EEUU. Disponible desde Internet en <http://Ag.Arizona.Edu/aes/yac/veginfo/bracken.htm> (con acceso 05/05/06).
8. GÓMEZ, C.; BUITRAGO, M.; HUERTAS, B. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para el consumo fresco y para la industria. *Revista COMALFI (Colombia)*. 26:1-3.
9. GRANGEIRO, L.C.; BARROS, A.; BEZERRA, F.; DE NEGREIROS, M.; DE OLIVEIRA, J.; ESCOSSIA, P. 2005. Cultivo de rúcula em túneis baixos de tecido não-tecido. *Revista Jaboticabal (Brasil)*. 33(2):218-221.
10. JARMA, A.; RENGIFO, T.; ARAMÉNDIZ, H. 2006. Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. *Agr. Colombiana*. 24(1):38-47.
11. JARMA, A.; BUITRAGO, C.; GUTIÉRREZ, S. 1999. Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista COMALFI (Colombia)*. 26:62-73.
12. MATHERON, M.; EVANS, L.; OLSEN, M.; PALUMBO, J.; UMEDA, K. 2001. Crop Profile for Arugula in Arizona. Disponible desde Internet en [www.ProductioninArizona2/ProductioninArizona2.htm](http://www.ProductioninArizona2/ProductioninArizona2.htm) (con acceso 05/05/06).
13. MORALES, M.; JANICK, J. 2002. Arugula: A promising specialty leaf vegetable. p.418-423. In: Janick, J.; Whipkey, A. eds. Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA. Disponible desde Internet en [www.oregonstate.edu/Dept/NWREC/aruQ.htm](http://www.oregonstate.edu/Dept/NWREC/aruQ.htm) (con acceso 05/05/06).
14. MORALES, M.; JANICK, J.; MAYNARD, E. 2006. "Adagio": A slow-bolting arugula. *HortScience*. 41(6):1507-1510.

Recibido: Julio 4 de 2008

Aceptado: Marzo 9 de 2010

# ANÁLISIS DE SENDERO EN BERENJENA (*Solanum melongena* L.)

## PATH ANALYSIS IN EGGPLANT (*Solanum melongena* L.)

Hermes Aramendiz-Tatis<sup>1</sup>, Miguel Espítia<sup>2</sup>, Carlos Cardona<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería. haramendiz@sinu.unicordoba.edu.co - Ciudad Universitaria Carrera 6 No. 76-103. Código Postal: 354. Montería - Colombia; <sup>2</sup>Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería. mespítia@sinu.unicordoba.edu.co <sup>3</sup>Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería. ccardona@sinu.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 13 (1): 115-123, 2010

### RESUMEN

La berenjena es de gran importancia en el Caribe colombiano, por seguridad alimentaria, generación de ingresos y empleo, beneficios en salud y grandes posibilidades de exportación; sin embargo, la casi totalidad de los genotipos que se siembran son criollos y poco mejorados. En Colombia, no se han reportado estudios sobre análisis de sendero para maximizar el progreso, por selección en el mejoramiento de esta especie. Veinticuatro genotipos de berenjena de diferente origen geográfico fueron estudiados en el Centro de Investigación Turipaná de Corpoica (Cereté – Colombia), utilizando el diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones, con el objetivo de determinar los efectos directos e indirectos de los componentes del rendimiento sobre la producción de frutos. El análisis de sendero reveló, que en primera instancia, el número de frutos por plantas, seguido del peso de frutos, tienen un efecto directo sobre el rendimiento de frutos. Por lo tanto, el mejoramiento genético simultáneo de berenjena debe considerar estos dos caracteres como un límite fisiológico.

Palabras clave: Mejoramiento, correlaciones, selección individual, rendimiento.

### SUMMARY

Eggplants are of great importance in the Colombian Caribbean Coast for food security, income and employment, health benefits and large export potential,

but most of the genotypes planted are landraces and poorly bred. In Colombia no reports about path analysis to improve selection for eggplant breeding exist. Twenty-four eggplant genotypes from different geographical origin were studied in the Corpoicas Research Center Turipaná (Cereté – Colombia), using a complete randomized block design with three replicates, with the objective to determine the direct and indirect effects of yield components on the fruit production. The path analysis revealed that the number of fruits per plant, followed by fruit weight have a direct significant effect on fruit yield. Therefore, the simultaneous breeding of eggplant must consider these two characters as a physiological limit.

Key words: Breeding, correlations, individual selection, yield.

### INTRODUCCIÓN

La berenjena es una de las hortalizas de gran importancia en el Caribe colombiano y con grandes posibilidades de exportación, por sus beneficios en la salud, por su alto contenido de fenoles, con actividad antioxidante y minerales, como P, K, Ca y Mg; su aporte a la dieta en calorías es reducido, tiene muy bajo contenido en sodio y representa una buena fuente de fibra (Raigon *et al.* 2008; Palomo *et al.* 2009).

En los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar, se cultivan 374ha que representan el 72% de la producción

nacional. El rendimiento de los cultivares regionales alcanza las 16t.ha<sup>-1</sup> y se siembra en superficies que oscilan entre 1000 y 2500m<sup>2</sup>, por productores minifundistas, campesinos sin tierras y jornaleros en actividades agropecuarias (Araméndiz *et al.* 1999; DNP, 2005; Agronet, 2008). En tanto, que el rendimiento de los híbridos frecuentemente supera las 50t.ha<sup>-1</sup> y se caracterizan por ser precoces, uniformes a la cosecha y de mejores características para el almacenamiento (Sekara *et al.* 2007).

Desde la incorporación de la berenjena a la actividad agrícola del departamento de Córdoba, pocos son los esfuerzos en desarrollar cultivares de alto rendimiento, calidad de fruto y adaptabilidad a las áreas productoras de la costa atlántica, razón por la cual aún se siguen produciendo los cultivares tradicionales, como criolla lila, criolla blanca y criolla morada; sin embargo, estas poblaciones poseen características de interés, como adaptación, color de fruto, altura de planta, tolerancia a factores bióticos, tamaño de fruto, resistencia a estrés por sequía, que son importantes en un programa de mejoramiento.

Los métodos modernos de mejoramiento genético existentes hoy en día permiten obtener variedades e híbridos de alto rendimiento, que posean otros atributos agronómicos, favorables al productor y al consumidor (Hatipoğlu, 1993; Martínez & Torregroza, 1988). El rendimiento es una característica poligénica compleja que depende directa o indirectamente de otras características conocidas como componentes del rendimiento.

Los coeficientes de correlación representan un indicativo de la asociación entre el rendimiento y sus componentes; su estimación ayuda al mejorador a entender su relación con estos, pero no destaca con claridad la contribución directa e indirecta de cada una de las características con el rendimiento (Bhatt, 1973). En este sentido, es interesante que el fitomejorador conozca las relaciones entre el rendimiento y los caracteres necesarios en la producción de un nuevo genotipo, siguiendo un método de selección en el que intervengan, simultáneamente, dos o más factores de importancia agronómica (Martínez & Torregroza, 1988). Por tal razón, es de mucha relevancia conocer la importancia relativa de cada uno de las características que afectan el rendimiento, a través del análisis de sendero.

El análisis de sendero es importante, porque permite descomponer las correlaciones de las variables independientes respecto a variables dependientes, como el rendimiento en sus respectivos efectos directos e indirectos. Así mismo, es de ayuda para el fitomejorador en la identificación de caracteres que pueden ser usados como criterio de selección, en un programa de mejoramiento de berenjena (Espitia *et al.* 2008a; Habib *et al.* 2007). Este tipo de análisis ha sido aplicado en ají (Legesse *et al.* 1999; Tavares *et al.* 1999; De Carvalho *et al.* 1999); berenjena (Ingale & Patil, 1995) y en melón (Krishna *et al.* 2007).

El estudio tuvo como propósito generar información básica sobre efectos directos e indirectos entre los componentes primarios del rendimiento y el rendimiento total de frutos de berenjena, para su aplicación en el programa de mejoramiento genético de esta especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Veinticuatro genotipos de berenjena originarias de Brasil, Colombia, Japón, Taiwán y Estados Unidos fueron cultivadas en Corpoica, en el C.I. Turipaná de Cereté (Córdoba – Colombia) durante el primer semestre de 2008 (Tabla 1). Sus coordenadas geográficas corresponden a los 8° 31' 16" de latitud norte y 75° 58' 11" de longitud oeste. El área pertenece a la zona climática cálido-moderada, a la formación Bosque Seco Tropical (BS-T), zona agroecológica C<sub>3</sub>; el suelo del área experimental es de textura franco arcillosa, con densidad aparente de 1,12g cm<sup>3</sup> y estructura moderadamente estable, clasificado taxonómicamente como Fluvaquentic endoaquept franco con promedios de 2,2% de materia orgánica y pH de 5,9 (Palencia *et al.* 2006).

Los genotipos fueron evaluados utilizando el diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones (bloques). El factor de bloqueo fue la pendiente. Cada unidad experimental fue constituida por un surco de 10m de longitud, con distancia entre plantas y surcos de 1m, para una población de once plantas. El manejo agronómico, a nivel de semillero y campo, se realizó aplicando las recomendaciones dadas por Aramendiz *et al.* (2008), para el cultivo de la berenjena en el valle del Sinú.

Las variables de respuesta consideradas en el estudio corresponden a longitud del fruto (Lonfru), número de frutos por planta (Nufrupta), peso de fruto (Pefru),

resistencia del fruto a la penetración (Resfru), altura de planta (Alpta) y rendimiento de frutos (Renfru) y fueron medidas en tres plantas por repetición, tomadas al azar, en cada una de las variedades. El rendimiento, se obtuvo sobre todas las plantas del surco.

El análisis de varianza y de covarianza para los seis caracteres, al igual que las correlaciones fenotípicas, ambientales y genotípicas y análisis de sendero, se llevaron a cabo mediante el uso de programa computacional Genes versión Window (2004.2.1), desarrollado por Cruz (2004).

El programa aplica las fórmulas clásicas de correlación:

1. Correlación fenotípica ( $rF(xy)$ );  $rF(xy) = COVF(xy) / SF(x).SF(y)$
2. Correlación genética ( $rG(XY)$ );  $rG(XY) = COVG(XY) / SG(x). SG(y)$
3. Correlación ambiental ( $rE (XY)$ );  $rE (XY) = COVE(XY) / SE(x). SE (y)$

En donde:  $r (XY)$  y  $COV (XY)$  son las correlaciones y covarianzas fenotípicas, genéticas y ambientales,

Tabla 1. Genotipos y procedencia de los cultivares de berenjena utilizados en el estudio.

| Código* | Genotipos           | Procedencia                   |
|---------|---------------------|-------------------------------|
| BR01    | Broxa               | TOPSEED-Brasil                |
| BR02    | Berenjena cica      | EMBRAPA –Brasil               |
| BR03    | Linea tradicional   | FELTRIN – Brasil              |
| CC01    | B. Long purple      | FERCON - Colombia             |
| CC02    | Black Bell          | MIGUEL SAEN Y CIA. - Colombia |
| CC03    | Berenjena Barcelona | IMPULSEMILLAS - Colombia      |
| CC04    | Berenjena N° 5      | IMPULSEMILLAS - Colombia      |
| CC06    | B. Long purple      | ARROYAVE - Colombia           |
| CC08    | B. roxa             | SEMICOL - Colombia            |
| JP01    | B. Japonesa SENRYO  | JAPÓN                         |
| TW01    | S. CHAOYAN TAIWAN   | TAIWAN                        |
| TW03    | BRINJAL MEBH-11     | TAIWAN                        |
| TW04    | MANDHARI SEEDS      | TAIWAN                        |
| TW06    | SHUANGFEENG G.13    | TAIWAN                        |
| EU01    | Black beauty        | ESTADOS UNIDOS                |
| EU02    | Long purple         | ESTADOS UNIDOS                |
| C002    | Lila                | CERETÉ, CÓRDOBA, COLOMBIA     |
| C003    | Lila pompa          | CERETÉ, CÓRDOBA, COLOMBIA     |
| C009    | Morada              | SAN CARLOS, CÓRDOBA, COLOMBIA |
| C016    | Lila                | CERETÉ, CÓRDOBA, COLOMBIA     |
| C023    | Berenjena Palanca   | CERETÉ, CÓRDOBA, COLOMBIA     |
| C025    | Roja calabaza       | CERETÉ, CÓRDOBA, COLOMBIA     |
| C033    | Morada con espina   | LORICA; CÓRDOBA, COLOMBIA     |
| C043    | Negra larga         | MONTERÍA, CÓRDOBA, COLOMBIA   |

\* Los dos primeros caracteres del código del genotipo hacen referencia al origen de los mismos:  
CC: casa comercial Colombia; BR: Brasil; EU: Estados Unidos; JP: Japón; TW: Taiwán; C0: Córdoba-Colombia.

entre los caracteres X e Y, respectivamente; S(x) y S(y) son la desviaciones estándar fenotípicas, genéticas y ambientales de X e Y, respectivamente.

Una vez estimados los coeficientes de correlación, se confirmó la significancia estadística para cada “r”, planteando la hipótesis nula: Ho: r = 0, versus la hipótesis alterna: Ha: r ≠ 0, mediante una prueba de T, dada por la siguiente fórmula:

$$T_c = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

La “T” calculada (Tc), se comparó con una T tabla (Tt), al nivel de significancia seleccionado 0.05 y 0.01 y con (n - 2) grados de libertad. La regla de decisión fue sí Tc ≥ Tt, entonces el valor de “r” es estadísticamente diferente de cero.

Se realizaron dos análisis de sendero para el sistema: Renfru, como variable efecto (Y), en función de las variables causas: Lonfru (X<sub>1</sub>), Nufrupta (X<sub>2</sub>), Pefru (X<sub>3</sub>) y Alpta (X<sub>4</sub>). Los dos análisis de sendero, se originan del uso de las correlaciones fenotípicas y genotípicas entre tales variables. Ambas matrices las genera, de manera automática, el programa GENES, en el análisis de varianza.

Para estimar los efectos directos en cada uno de los análisis de sendero, GENES utiliza una matriz de correlación (fenotípica o genética, dependiendo del interés), la descompone y la organiza en el siguiente sistema de matrices: P = A<sup>-1</sup>. R; en donde: A<sup>-1</sup> es la inversa de la matriz de correlaciones (entre cada una de las variables causas), R es el vector de coeficientes de correlaciones entre las variables causas con la variable efecto y P es el vector coeficientes de sendero.

La descomposición de los coeficientes de correlación de cada una de las variables causa con la variable efecto (r<sub>x<sub>i</sub>y</sub>), en sus componentes efecto directo (P<sub>i</sub>) y el efecto indirecto (E<sub>i</sub>), permite, mediante el despeje de las siguientes ecuaciones, estimar los respectivos efectos indirectos de cada variable causa (E<sub>i</sub>):

$$\begin{aligned} r_{x_1y} &= P_1 + E_1 : \text{para con Lonfru} \\ r_{x_2y} &= P_2 + E_2 : \text{para con Nufrupta} \\ r_{x_3y} &= P_3 + E_3 : \text{para con Pefru} \\ r_{x_4y} &= P_4 + E_4 : \text{para con Alpta} \end{aligned}$$

El coeficiente de sendero, debido a los efectos residuales o a otras variables no consideradas en el estudio (h), la estima mediante la siguiente ecuación:

$$h = \left[ 1 - (P_1 \cdot r_{x_1y}) - (P_2 \cdot r_{x_2y}) - (P_3 \cdot r_{x_3y}) - (P_4 \cdot r_{x_4y}) \right]^{1/2}$$

Tabla 2. Análisis de varianza para seis caracteres de interés agronómico en berenjena (*Solanum melongena* L.).

| F de V    | Gl | Cuadrados medios |              |           |                |            |                               |
|-----------|----|------------------|--------------|-----------|----------------|------------|-------------------------------|
|           |    | Lonfru (cm)      | Nufrupta (#) | Pefru (g) | Resfru (newts) | Alpta (cm) | Renfru (kg ha <sup>-1</sup> ) |
| Bloques   | 2  | 0,0904           | 0,023        | 567,79    | 25438,88       | 67,43      | 3,55                          |
| Genotipos | 23 | 38,51**          | 6,76**       | 25208,4** | 5165040,5**    | 1388,48**  | 84,55**                       |
| Error     | 46 | 1,27             | 0,08         | 428,15    | 52013,16       | 26,53      | 1,29                          |
| Total     | 71 | 13,30            | 2,24         | 8459,49   | 3625,90        | 468,87     | 28,42                         |
| C.V.(%)   |    | 6,49             | 10,47        | 9,25      | 6,29           | 6,30       | 9,48                          |

\*\* Altamente significativa (P>0,01)

Lonfru: Longitud de fruto; Nufrupta: Número de frutos por planta; Pefru: Peso de fruto; Resfru: Resistencia de fruto; Alpta: Altura de planta; Renfru: Rendimiento de fruto;

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza individual para todos los caracteres sometidos a estudio reveló diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ), entre los genotipos estudiados (Tabla 2). Estos resultados indican que las diferencias obedecen a la condición genética intrínseca de cada cultivar. Los coeficientes de variación experimental por su bajo valor ( $\leq 10,47\%$ ) revelan la existencia de una alta precisión experimental, lo que permite garantizar la validez de las conclusiones emitidas.

Las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales están consignadas en la tabla 3, donde se aprecia que las correlaciones fenotípicas y genotípicas fueron semejantes y las ambientales muy reducidas, especialmente, en las de mayor magnitud, indicando que las correlaciones fenotípicas fueron poco afectadas por el ambiente y revelan efectos de asociación a nivel genético, como lo señalan Legesse *et al.* (1999); Silva & Vieira (2008); Habib *et al.* (2007); Shivanna *et al.* (2007); Espítia *et al.* (2008a).

Los coeficientes de correlación fenotípica y genotípica entre el rendimiento de frutos y las otras características medidas, señalan que el Renfru acusó ausencia de correlación con Lonfru, Pefru, Resfru y Alpta, en tanto que mostró correlación positiva y altamente significativa respecto al Nufrupta (0,56\*\*). Estos resultados son coincidentes con los anotados por Kruiteva (1985); Vadivel & Bapu (1988a, 1988b); Ingale & Patil (1995); Yadad *et al.* (1997); Lohakare *et al.* (2008) y Bansal & Metha (2008), excepto entre el rendimiento de fruto y peso de fruto que, en este estudio, acusó ausencia de asociación.

La ausencia de correlación significativa entre Renfru y Pefru, al igual que con Lonfru (Tabla 3), ha sido registrado como significativas y positivas por otros investigadores, como Mak & Vijjarungam (1980) en berenjena y con Pefru (De Carvalho *et al.* 1999), en pimentón. Ello, posiblemente obedece a la presencia de efectos indirectos enmascarados que tienen otras variables, sobre el nivel de asociación entre tales pares de caracteres, ya que al realizar el análisis de correlación

Tabla 3. Correlaciones fenotípicas ( $r_F$ ), genéticas ( $r_G$ ) y ambientales ( $r_E$ ) para seis caracteres de berenjena, en el valle del Sinú.

|          | r's   | Nufrupta | Pefru   | Renfru | Resfru  | Alpta  |
|----------|-------|----------|---------|--------|---------|--------|
| Lonfru   | $r_F$ | -0,33    | 0,39    | 0,00   | -0,67** | 0,52** |
|          | $r_G$ | -0,35    | 0,31    | 0,00   | -0,68** | 0,53** |
|          | $r_E$ | 0,22     | -0,07   | 0,10   | 0,04    | 0,14   |
| Nufrupta | $r_F$ |          | -0,63** | 0,56** | -0,02   | -0,47* |
|          | $r_G$ |          | -0,64** | 0,56** | -0,02   | -0,46* |
|          | $r_E$ |          | 0,04    | 0,23   | -0,04   | -0,02  |
| Pefru    | $r_F$ |          |         | 0,04   | -0,06   | 0,74** |
|          | $r_G$ |          |         | 0,04   | -0,06   | 0,75** |
|          | $r_E$ |          |         | 0,17   | -0,08   | -0,17  |
| Renfru   | $r_F$ |          |         |        | -0,03   | 0,03   |
|          | $r_G$ |          |         |        | -0,03   | 0,04   |
|          | $r_E$ |          |         |        | 0,12    | -0,20  |
| Resfru   | $r_F$ |          |         |        |         | -0,14  |
|          | $r_G$ |          |         |        |         | -0,14  |
|          | $r_E$ |          |         |        |         | -0,09  |
| Alpta    |       |          |         |        |         |        |

\*, \*\* Significativa ( $P < 0,05$ ) y Altamente significativa ( $P > 0,01$ )

Lonfru: Longitud de fruto; Nufrupta: Número de frutos por planta; Pefru: Peso de fruto; Renfru: Rendimiento de fruto; Resfru: Resistencia de fruto; Alpta: Altura de planta.

parcial fenotípico (Tabla 4), se encontró correlación positiva y altamente significativa con el Pefru (0,59\*\*), más no con la Lonfru. Lo antes anotado, evidencia que el Nufrupta y Pefru tienen un efecto importante sobre el rendimiento de fruto, como lo sostienen Tavares *et al.* (1999), quienes señalan que la selección simultánea de ambos caracteres no debe ser descartada en selecciones indirectas, puesto que el mayor número de frutos conduce consecuentemente a frutos de menor peso.

Por otra parte, se identificaron correlaciones fenotípicas y genéticas de poco valor entre el Renfru y Resfru, lo que probablemente obedezca a un control genético independiente, dada su carencia de significancia y coeficientes de correlación cercanos a cero, como lo reportaron en maracuyá Espitia *et al.* (2008b).

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de los respectivos análisis de sendero (Tabla 5) fue de 0,60 y 0,62 y la magnitud del efecto residual (h) de 0,61 y 0,63, lo que indica que la variación de los efectos de la variable

básica (Renfru), no es totalmente explicada por las variables explicativas utilizadas en el modelo. Resultados similares han sido reportados por Tavares (1999); De Carvalho *et al.* (1999, 2002) y Espitia *et al.* (2008a, 2008b) y esto se explica, posiblemente, porque otras variables no consideradas en el estudio están influyendo en Renfru, como el número de ramas productivas que es un carácter importante a tener en consideración para mejorar el rendimiento, ya que posee una alta coheredabilidad con el número de frutos y peso de frutos, igualmente moderada heredabilidad como tal, que permite avances genéticos, por la predominancia de la acción genética aditiva (Vadivel & Bapu 1988a, 1988b, 1990; Coimbra *et al.* 1999).

Las magnitudes y los sentidos de los efectos directos e indirectos derivados de la descomposición de las correlaciones fenotípicas y genotípicas para el Renfru en función de Lonfru, Nufrupta, Pefru y Alpta, están contenidas en la Tabla 5.

Tabla 4. Correlaciones parciales ( $r_{FP}$ ) entre seis características agronómicas de berenjena, utilizando las correlaciones fenotípicas ( $r_F$ ).

| Pares de variables | $r_F$   | $r_{FP}$ |
|--------------------|---------|----------|
| Lonfru x Nufrupta  | -0,33   | -0,52*   |
| Lonfru x Pefru     | 0,39    | -0,46*   |
| Lonfru x Renfru    | 0,00    | 0,38ns   |
| Lonfru x Resfru    | -0,67** | -0,77**  |
| Lonfru x Alpta     | 0,52**  | 0,56**   |
| Nufrupta x Pefru   | -0,63** | -0,73**  |
| Nufrupta x Renfru  | 0,56**  | 0,80**   |
| Nufrupta x Resfru  | -0,02   | -0,45*   |
| Nufrupta x Pefru   | -0,47*  | 0,26ns   |
| Pefru x Renfru.    | 0,04    | 0,59**   |
| Pefru x Resfru     | -0,06   | -0,36ns  |
| Pefru x Alpta      | 0,74**  | 0,65**   |
| Renfru x Resfru    | -0,03   | 0,32ns   |
| Renfru x Alpta     | 0,03    | -0,19ns  |
| Resfru x Alpta     | -0,14   | 0,36ns   |

\*, \*\* Significativa ( $P < 0,05$ ) y Altamente significativa ( $P > 0,01$ )

Lonfru: Longitud de fruto; Nufrupta: Número de frutos por planta; Pefru: Peso de fruto; Renfru: Rendimiento de fruto; Resfru: Resistencia de fruto; Alpta: Altura de planta.



Tabla 5. Análisis de los efectos directos (en negrita) e indirectos de la longitud de fruto (Lonfru), número de frutos por planta (Nufrupta), peso de fruto (Pefru) y altura de planta (Alpta) sobre el rendimiento de frutos (Renfru).

| VARIABLES               | CORRELACIONES FENOTÍPICAS |             |             |              | $r_F$         |
|-------------------------|---------------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
|                         | Lonfru                    | Nufrupta    | Pefru       | Alpta        | con Renfru    |
| Lonfru                  | <b>0,17</b>               | -0,34       | 0,21        | -0,04        | <b>-0,01</b>  |
| Nufrupta                | -0,05                     | <b>1,02</b> | -0,44       | 0,04         | <b>0,56**</b> |
| Pefru                   | 0,05                      | -0,64       | <b>0,70</b> | -0,06        | <b>0,04</b>   |
| Alpta                   | 0,09                      | -0,48       | 0,52        | <b>-0,09</b> | <b>0,03</b>   |
| $R^2 = 0,60$ $h = 0,63$ |                           |             |             |              |               |
| VARIABLES               | CORRELACIONES GENOTÍPICAS |             |             |              | $r_G$         |
|                         | Lonfru                    | Nufrupta    | Pefru       | Alpta        | con Renfru    |
| Lonfru                  | <b>0,19</b>               | -0,37       | 0,24        | -0,06        | <b>-0,01</b>  |
| Nufrupta                | -0,06                     | <b>1,05</b> | -0,48       | 0,05         | <b>0,56**</b> |
| Pefru                   | 0,06                      | -0,68       | <b>0,75</b> | -0,09        | <b>0,04</b>   |
| Alpta                   | 0,10                      | -0,51       | 0,57        | <b>-0,12</b> | <b>0,04</b>   |
| $R^2 = 0,62$ $h = 0,61$ |                           |             |             |              |               |

\*\* Significativos al 1% de probabilidad, respectivamente.

El análisis de sendero basado en el Renfru, como variable independiente, revela que los efectos directos (negrilla) del Nufrupta con una contribución de (1,02 y 1,05) y de Pefru, con un aporte de (0,70 y 0,75), explican el nivel de asociación con el Renfru. Estos resultados son coincidentes con los manifestados por De Carvalho *et al.* (1999), en ají y Lohakare *et al.* (2008), en berenjena, quienes cuantificaron efectos directos e indirectos por encima de 0,60, para estas dos variables y resaltan la necesidad de considerarlas en el mejoramiento simultáneo para rendimiento de frutos. El poco efecto del peso de frutos obedece, posiblemente, al hecho de cosechar esta hortaliza de manera temprana (inmaduro), antes de alcanzar su máximo peso, con el fin de atender y de preservar su demanda y calidad de mercado.

La Lonfru registró un efecto directo (negrilla) de 0,17 y 0,19, respecto al Renfru, lo que destaca ausencia de relación causa efecto y, por lo tanto, sugiere que este carácter no es importante para mejorar el rendimiento de fruto, corroborando lo encontrado en la correlación genética y fenotípica (Tabla 2).

El efecto directo (negrilla) de Alpta sobre Renfru fue negativo (-0,09 y -0,12), indicando que pocas ganancias genéticas pueden ser conseguidas en el proceso de selección por plantas de mayor porte, por su baja contribución al rendimiento de frutos, ello concuerda con lo encontrado por Légesse *et al.* (1999) y resaltan que los efectos indirectos, a través del Nufrupta y Pefru, influyen en rendimiento total de fruto, destacando la importancia de estas dos características en el mejoramiento del rendimiento de frutos en berenjena. De igual manera, el efecto residual es apreciable, lo que sugiere que el rendimiento de fruto no es totalmente explicado por los caracteres usados en el análisis de sendero y es muy probable que existan otras causas significativas influyendo sobre el rendimiento total de frutos, como lo indican Ingale & Patil (1995) y Arnhold *et al.* (2006).

Se concluye, que las características número de frutos/planta y peso/fruto son las más importantes para el mejoramiento simultáneo por rendimiento de fruto.

**AGRADECIMIENTOS:** A los productores de berenjena del caribe húmedo (Hortisinú), a Corpoica, a ASOHOFRUCOL, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y a la Universidad de Córdoba, por la financiación para realizar esta investigación. Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGRONET, 2008. Área y producción agrícola y pecuaria. <http://www.agronet.gov.co>. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (con acceso el 26/01/08).
2. ARAMENDIZ, H.; CARDONA, C.; JARMA, A.; ESPITIA, M. 2008. El cultivo de la berenjena (*Solanum melongena* L.). Universidad de Córdoba. Editorial Produmedios (Bogotá), 151p.
3. ARAMENDIZ, H.; HOYOS, F.; GARCÍA, E. 1999. Estimación de la variabilidad genética en una población criolla de berenjena (*Solanum melongena* L.) en el departamento de Córdoba. *Temas Agrarios* (Colombia). 4(8):117-125.
4. ARNHOLD, E.; MORA, F.; DEITOS, A. 2006. Correlaciones genéticas en familias  $S_4$  de maíz (*Zea mays* L.). *Cien. Inv. Agr. (Brasil)*. 32(2):125-131.
5. BANSAL, S.; METHA, A.K. 2008. Genotypic correlation and path analysis in brinjal. *National J. Plant Improvement* (India). 10(1):34-36.
6. BHATT, G.M. 1973. Significance of path coefficient analysis in determining the nature of the carácter association. *Euphytica* (Holanda). 22(2):338-343.
7. COIMBRA, J.; GUIDOLIN, A.; DE CARVALHO, F.; COIMBRA, S.; MARCHIORO, V. 1999. Análise de trilha I: análise do rendimento de grãos e seus componentes. *Ciência Rural* (Brasil). 29(2):213-218.
8. CRUZ, C.D. 2004. Programa GENES. Versao Windows. Aplicativo Computacional em Genética e Estatística. Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet en: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (con acceso el 16/01/05).
9. DE CARVALHO, C.; RODRIGUES, V.; CRUZ, C.; DIAS, V. 1999. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 34(4):603-613.
10. DE CARVALHO, C. ARRABAL, DE TOLEDO, J.; DE OLIVEIRA, M.; VELLO, N. 2002. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 37(3): 311-320.
11. DPN (Departamento Nacional de Planeación). 2005. La pobreza en el departamento de Córdoba. Características por grupo de municipios. Cartagena, junio de 2005. 17p. (Disponible en <http://www.dnp.gov.co>) (con acceso el 28/01/08).
12. ESPITIA, M.; ARAMENDIZ, H.; CADENA, J. 2008a. Correlaciones y análisis de sendero en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el caribe colombiano. *Rev. Fac. Nal. Agronomía* (Colombia). 61(1):4325-4335.
13. ESPITIA, M.; ARAMENDIZ, H.; CARDONA, C. 2008b. Correlaciones para algunas propiedades físicas y químicas del fruto y jugo de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Agronomía Colombiana*. 26(2):292-299.
14. HABIB, H.; SADAQAT, S.; ASHFAQ, M.; AHMAD, R. 2007. Genetic association and path analysis for oil yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Internal J. Agr. & Biology* (Pakistan). 9(2):359-361.
15. HATIPOĞLU, R. 1993. Introduction to biotechnology. Çukurova University. Book of Agriculture Faculty, Adana-Turkey. No. 129:4-5.
16. INGALE, B.V.; PATIL, S.J. 1995. Correlation and path analysis in brinjal. *Indian J. Horticulturae*. 52(1):55-59.
17. KRISHNA, A.N.; MUNSHI, A.; BEHERA, T.; SUREJA, A. 2007. Correlation and path analyses for yield and biochemical characters in snapmelon. *Sabrao J. Breeding and Genetics* (Filipinas). 39(1):65-72.

18. KRUIITEVA, L. 1985. Correlation in eggplant. *Capsicum Newsletter* (Italia) 4:82.
19. LOHAKARE, A.S.; DOD, V.M.; PESHETTIWAR, P.D. 2008. Correlation and path analysis studies in green fruited brinjal. *Asian J. Horticulture* (India). 3(1):173-175.
20. LEGESSE, G.; ZELLEKE, A.; BEJIGA, G. 1999. Character association and path analysis of yield and its components in hot pepper (*Capsicum annum* L.). *Acta Agronómica Hungarica*. 47(4):391-396.
21. MAK, C.; VIJIARUNGAM, A.F. 1980. Variability in bacterial wilt resistance and interrelationships of some characteristics on brinjal (*Solanum melongena* L.). *Sabrao J. Breeding and Genetics*. 12(1):65-75.
22. MARTÍNEZ, O.; TORREGROZA, M. 1988. Análisis de sendero de componentes de rendimiento en ciclos de selección masal divergente por prolificidad en maíz. *Revista ICA* (Colombia) 23(3):200-208.
23. PALENCIA, G.; MERCADO, T.; COMBATT, E. 2006. Estudio agroclimático del departamento de Córdoba. Ed. Gráficas el Caribe, Montería. 126p.
24. PALOMO, I.; GUTIÉRREZ, M.; ASTUDILLO, L.; RIVERA, C.; TORRES, C.; GUZMÁN, L.; MOORE-CARRASCO, R.; CARRASCO, G.; ALARCÓN, M. 2009. Efecto antioxidante de frutas y hortalizas en la zona central de Chile. *Rev. Chilena de Nutrición*. 36(2):152-158.
25. RAIGON, D.M.; PROHENS, J.; MUÑOZ-FALCON, J.; NÚEZ, F. 2008. Comparison of eggplant landraces and comercial varieties for fruit content of phenolics, minerals, dry matter and protein. *J. Food Composition and Analysis*. 21(5):370-376.
26. SEKARA, A.; CEBŪLA, S.; KUNICKI, E. 2007. Cultivated eggplants-origin, breeding objectives and genetics resources a review. *Folia Horticulturae* (Polonia). 19(1):97-114.
27. SHIVANNA, J.; RAVIAND, C.S.; SREERAMU, S. 2007. Character associated and path coefficient analysis among economic traits in Makoi (*Solanum nigrum* L.). *Karnataka J. Agricultura Science* (India). 20(3):575-577.
28. SILVA, G.O.; VIEIRA, J. 2008. Componentes genéticos e fenotípicos para caracteres de importância agrônômica em população de cenoura sob seleção recorrente. *Horticultura Brasileira*. 26(4):481-485.
29. TAVARES, M.; DE MELO, A.; SCIVITTARO, W. 1999. Efeitos diretos e indiretos e correlações para caracteres relacionados com a produção de pimentão. *Bragantia* (Brasil). 58(1):41-47.
30. VADIVEL, E.; BAPU, J.R. 1988a. Correlation studies in *Solanum melongena* L. *Capsicum Newsletter*. 7:84-85.
31. VADIVEL, E.; BAPU, J.R. 1988b. Heritability estimates in segregating generations of eggplant. *Capsicum Newsletter*. 7:86-87.
32. VADIVEL, E.; BAPU, J.R. 1990. Studies on coheritability for yield components in eggplant. *Capsicum Newsletter*. 8-9:66-67.
33. YADAD, D.S.; PRASAD, A.; SINGH, N.D. 1997. Characters association in brinjal (*Solanum melongena* L.). *Indian J. Horticulturae*. 54(2):171-175.

Recibido: Septiembre 12 de 2009

Aceptado: Febrero 18 de 2010

# TECNOLOGÍAS LOCALES DE PRODUCCIÓN DE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) EN EL MUNICIPIO DE BOYACÁ, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

## LOCAL TECHNOLOGIES OF ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) PRODUCTION AT BOYACÁ, DEPARTMENT OF BOYACÁ

Álvaro Alvarado Gaona<sup>1</sup>, Lyda Ochoa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Desarrollo Rural. Profesor asistente, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Avenida Central del Norte, Tunja. E-mail: alvaro.alvarado@uptc.edu.co.

<sup>2</sup> Ingeniera Agrónoma., Joven Investigadora Grupo CREPIB, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. E-mail: lydaochoa95@yahoo.es.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 125-133, 2010

### RESUMEN

La base de la economía del municipio de Boyacá es la producción agrícola y pecuaria. La arracacha es un producto de gran importancia agro-alimentaria y socio-económica que, alternada con la papa, se cultiva en parcelas de pequeños agricultores, quienes han adquirido tradicionalmente sus conocimientos sobre el sistema de producción. Debido a la demanda del mercado por ciertas variedades, el caso de paliverde y yema de huevo, como se denominan allí, se han dejado de cultivar otras, como la blanca de tarro y la amarilla de tarro, favoreciendo la pérdida de agro-biodiversidad. El objetivo del presente estudio fue describir los aspectos relevantes de este sistema de producción, a partir de la información recopilada sobre materiales cultivados, manejo agronómico y tecnologías locales de cultivo, partiendo del conocimiento acostumbrado de sus agricultores. Se siguió una metodología participativa, mediante la aplicación de encuestas. Los resultados indicaron que en Boyacá se encuentran más de siete materiales genéticos: paliverde, palirusia, palinegra, yema de huevo, yucatana, blanca de tarro y amarilla de tarro (denominaciones locales). Se siembra en asociación con leguminosas y/o gramíneas o intercalada

con frutales, como el tomate de árbol. La incidencia de plagas y de enfermedades es baja; una pudrición de raíz es la más relevante (*Sclerotinia sclerotiorum*). El rendimiento varío entre 2 y 4kg/planta (peso total de la raíz). La arracacha es una especie con gran potencial por sus características nutricionales y usos agro-industriales, por tanto, se deben plantear estrategias, con el objeto de mejorar la rentabilidad del cultivo y conservar y mejorar los materiales genéticos existentes.

Palabras clave: Raíces andinas, manejo agronómico, sistema de producción agrícola, agro-biodiversidad.

### SUMMARY

The economic support of Boyacá Municipality (state of Boyacá) is agriculture and livestock production. "Arracacha" (*Arracacia xanthorrhiza*) is a high value agro-alimentary and socioeconomic product. Its growing is alternately with potato in small fields by local farmers who have acquired their knowledge traditionally through generations. Due to the high market demand for some varieties like "paliverde" and "yema de huevo", as named in the region, farmers have stopped to seed other cultivars such as "blanca de tarro" and "amarilla de tarro", leading

consequently to an agro-diversity loss. The objective of this study was to characterize this production system based on gathering information on cultivated varieties, agronomic management, local crop technologies, and farmers' traditional knowledge. A participatory method through survey collection, interviews and field visits was followed. The results showed that in Boyacá there are more than seven genetic materials: paliverde, palirusia, palinegra, yema de huevo, yucataná, blanca de tarro and amarilla de tarro, as denominated locally. They are produced in association with leguminous and maize crops or with fruit trees as *Cyphomandra betacea* (tomate de árbol). Pest and disease incidence is low. Root rotting (*Sclerotinia sclerotiorum*) is the most notorious disease. The yield varies between 2-4 kg/plant (total root weight). Arracacha has high agro-industrial potentials due to its nutritional characteristics and agro-industrial uses. Therefore, research to improve crop yield must be considered and the existing genetic materials must be preserved and improved as well.

**Key words:** Andean roots, agronomic management, agricultural production system, agricultural biodiversity.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo y el aprovechamiento de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft), datan de la época precolombina. Los únicos indicios son restos de raíces encontradas en tumbas del Perú antiguo, sin indicarse la localización (Safford, 1917 citado por Seminario, 2004). Vásquez *et al.* (2004) refieren a Colombia como parte del centro de diversidad primaria del género *Arracacia*, la cual, se ha mantenido gracias a etnias y culturas indígenas que la cultivan para venta o auto-consumo. Hermann (1997) indica que la arracacha ocupa un lugar secundario en la dieta de cerca de 80 a 100 millones de personas en América del Sur.

La planta de arracacha produce varias raíces laterales, que constituyen la parte comestible, un rizoma central y varios tallos laterales cortos o renuevos, que sirven como propágulos, así como un exuberante follaje. Es una especie perenne, pero se cultiva como anual (Knudsen *et al.* 2006).

La arracacha se produce principalmente en Brasil, en Colombia, en Ecuador y en Venezuela, donde es un

producto regular de los mercados urbanos (Hermann, 1997). En Perú, se conoce con los nombres de racacha y virraca (Seminario, 2004); en Ecuador, como zanahoria del país o zanahoria blanca; en Venezuela, como apio criollo (Jiménez, 2005) y racacha (Amaya & Julca, 2006) y en Brasil, mandioquinha-salsa (Heredia *et al.* 2009) y batata baroa (Amaya & Julca, 2006), entre otros. Knudsen *et al.* (2004) indican que a pesar que se ha llevado repetidamente a otras regiones, no se ha logrado establecer como cultivo comercial, con excepción de Brasil, donde se siembra más arracacha que en cualquier país andino.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR reporta que en Colombia, para el 2008, se cultivaron un total de 6442ha, siendo Tolima el principal productor (3235ha), seguido por Norte de Santander (683ha), Huila (563ha) y Boyacá (517ha). Según esta misma fuente, los rendimientos estuvieron entre 4,76t/ha, en Cauca y 17,4 t/ha, en Antioquia. Ese mismo año en el Departamento de Boyacá, el municipio de Tibaná fue el primer productor, con 2400t, seguido por el municipio de Boyacá, con 1560t (MADR, 2008), siendo uno de los cultivos de mayor importancia en la economía agrícola, junto con la papa (POT Municipal, 2003).

Seminario (2004) refiere que en Perú, la superficie cultivada varía entre 2000 y 4500ha/año, donde el Departamento de Cajamarca representa el 51-80%, con rendimientos que van de 5000 a 6000kg/ha. Bueno (2004) citado por Heredia *et al.* (2009) indica que en Brasil la arracacha se cultiva, principalmente, en las regiones del sur y sureste, en pequeñas áreas, con poco uso de insumos. El área de plantación es de aproximadamente 16.000ha, siendo Paraná y Minas Gerais, los principales estados productores.

A pesar de su alta potencialidad para la agroindustria y sus buenas cualidades nutricionales (Hermann, 1997; Jiménez, 2005; Rodríguez *et al.* 2004) es una especie a la que no se le ha dado suficiente importancia dentro de los planes de desarrollo agrícola, tanto nacionales, como departamentales.

En el municipio de Boyacá, su explotación se concentra en manos de pequeños productores, desarrollando, por décadas, tecnologías de cultivo propias. Algunas veces estas prácticas no son las más adecuadas, pero la conversión hacia una alta tecnificación puede no ser la

mejor alternativa. En la actualidad, la producción agrícola es la principal fuente de ingresos de los productores, quienes cultivan otras especies, como papa, arracacha, maíz, arveja, frutales caducifolios (manzana, durazno, ciruelo), curuba, mora, tomate árbol, entre otros; debido al microfundio existente, la producción es diversificada y asociada, con las siguientes combinaciones: papa-arveja, haba-maíz y arveja, maíz-frijol, arracacha-maíz; la ganadería ocupa el 21% del área y la comercialización de los productos, se realiza, principalmente, los domingos en el municipio y en las localidades cercanas, como Ramiriquí, Jenesano, Tunja y Bogotá (POT Municipal, 2003).

Considerando lo expuesto, los objetivos del presente estudio fueron conocer las tecnologías y las prácticas de manejo de la arracacha a nivel local, teniendo como base la documentación de las experiencias de sus productores y generar un diagnóstico, fundamento para el planteamiento de estrategias de mejoramiento de la productividad y de la reducción de los costos de producción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio, se realizó en el municipio de Boyacá, ubicado en la Provincia de Márquez, centro-occidente del Departamento de Boyacá, a 05°27'15.1" de latitud norte y 073°21'48.6" de longitud oeste. Su temperatura promedio es de 14°C y la altitud oscila entre 2200 y 2900 msnm.

Con el objeto de conocer las experiencias de los productores y las tecnologías de producción, se efectuaron diez visitas de campo, entre diciembre de 2008 y junio de 2009, en las que se reconocieron 36 cultivos en las veredas Pachaquirá (9), Rupaguata (6), Soconzaque Occidente (5), Huerta Grande (5), Vanegas Sur (4), Rique (3), Centro (2) y Huerta Chica (2); se entrevistaron a los propietarios o las personas que conocían el manejo de los cultivos. La encuesta aplicada, se formuló con preguntas abiertas sobre cada uno de los aspectos a evaluar. La unidad de muestreo consistió en una finca, donde se encontraba establecido un cultivo de arracacha. No se halló información que permitiera definir el tamaño y las características de la población objetivo, por tanto, se definieron en el transcurso del trabajo de campo.

Con las visitas y la aplicación de encuestas, se elaboró un diagnóstico participativo, que valorara los conocimientos de los productores y permitiera conocer la problemática que los aqueja. La información recopilada, mediante la encuesta, estuvo enfocada en el sistema de siembra, realización de prácticas culturales, como deshieras y aporque, fertilización, manejo fitosanitario, materiales genéticos cultivados y asistencia técnica. Debido a su complejidad, no se presentan resultados sobre los costos de producción del cultivo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los productores manifiestan que la evolución del sistema de producción de arracacha, también conocida como coya en el municipio de Boyacá, se ha dado desde una perspectiva de agricultores minifundistas, que la cultivaban como producto de pan coger, hacia una explotación de mayores áreas con fines comerciales.

Según los productores, las veredas con mayor área cultivada en arracacha son Rupaguata, Pachaquirá y Rique, aunque en este estudio no se realizó una evaluación cuantitativa al respecto. La mayoría de ellos, la han cultivado toda su vida, pues es una tradición adquirida de sus padres y, a su vez, de ancestros. Cerca del 30% de los encuestados, que corresponde a los productores jóvenes, de edad entre 25 y 40 años, indican que llevan menos de cinco años en la explotación comercial de esta especie.

El área de las fincas visitadas variaba entre 0,5 y 20ha, la mayoría (70%, aproximadamente) con menos de 5ha. El 50% de los cultivos de arracacha tienen menos de 1ha y el 22% entre 1 y 3ha, es decir, se consideran minifundios.

El rango de altitudes en el que se ubican los cultivos visitados oscilan entre de 2200 a 2600msnm. Los productores indican que cuanto más alto se encuentra el lote de siembra, más tarda la cosecha. Uno de los productores manifestó que la variedad yema de huevo, sembrada en sitios a más de 2600m de altitud, tiene un ciclo dos meses más largo (11 meses) respecto a plantaciones ubicadas en altitudes menores a 2300 m (9 meses). Aunque no especifica la duración del periodo vegetativo, Higueta (1968) reporta observaciones similares al comparar cultivos ubicados en el municipio de La Ceja (Antioquia), a 2240msnm y la Sabana de

Bogotá, a 2640msnm, hallando que este último es más largo. En estudios del INIAP (1988, 1989) en la estación Santa Catalina (3050 msnm) en Ecuador, se observó que por encima de 2800m de altitud, la cosecha se presenta muy tardía, llegando hasta 370 días.

**Sistema de plantío.** El estudio mostró que 25% de los productores entrevistados plantan la arracacha como monocultivo y 75% la asocian a especies anuales y/o perennes. Las semestrales y anuales son maíz y leguminosas, como frijol, arveja, garbanzo y haba y las perennes son frutales, como el tomate de árbol, principalmente. Es muy importante el hecho que la arracacha sea cultivada en asociación, ya que su ciclo vegetativo es largo y, de esta manera, se optimiza el uso de la tierra, mejorando la economía familiar y la alimentación.

Se encontró que en la siembra se manejan dos sistemas: el tradicional por surcos y el 'mojoniado'. En este último, cada planta es instalada en una especie de montículo, independiente de las otras. Este sistema es ahora poco empleado, sin embargo, fue habitual hace algunas décadas. La distancia de plantío más frecuente entre surcos fue de 80cm, en 47% de los cultivos visitados, seguida en menor proporción (31%) por distancias entre 40 y 70 cm y otras (22%). La distancia entre plantas, en la mayoría de casos (64%), fue de 40 y 50cm o de 20 a 30cm (14%). Bajo la variabilidad y las posibles combinaciones de distancias encontradas, la densidad de plantío fluctuó entre 21000 y 41000 plantas/ha. Jaramillo (1984) reporta que en Antioquia los cultivos son realizados con distancias de siembra de 1m entre surcos y 0,5m entre plantas, para una densidad de 20000 plantas/ha. De igual forma, Vásquez & Gutiérrez (2000) señalan que para el municipio de Cajamarca (Tolima) estas mismas distancias son óptimas.

No se encontraron épocas del año definidas para realizar el plantío. En todos los meses, se reportaron siembras, lo que indica que no están sometidas a la estacionalidad de las lluvias. Según Higueta (1968), con una precipitación anual de 600mm se pueden establecer cultivos sin necesidad de riego suplementario; por su parte, Jaramillo (1984) reporta requerimientos mínimos de 1000mm. En Perú, Amaya & Julca (2006) señalan que la arracacha es una planta rústica que se puede propagar durante todo el año, aunque la época de inicio de lluvias es más apropiada. Los factores más determinantes sobre

el momento de realizar la plantación son la disponibilidad de material propagativo y de terreno, ya que la arracacha se usa como cultivo de rotación. Usualmente, los productores hacen rotaciones de esta raíz con maíz, papa y leguminosas, como frijol, arveja y garbanzo o dejan 'descansar' el terreno con pastos.

Además de la arracacha, 64% de los encuestados cultiva otras especies, generalmente frutales, como tomate de árbol, uchuva, curuba y caducifolios, leguminosas (arveja, frijol y garbanzo), maíz y papa. Es importante mencionar que en dos de las fincas visitadas se encontraron dos tipos, denominados localmente alverjuelo y lentejuelo, que según los agricultores se han dejado de plantar y tuvieron alguna importancia agrícola y alimentaria para sus antecesores.

**Material de propagación.** El material usado para propagación en campo se denomina localmente colino, que Hermann (1997) refiere como un tallo aéreo compuesto por internudos, nudos y cicatrices dejadas por las hojas que lo recubren. Los colinos, se cortan de plantas sanas alrededor de dos meses antes de la cosecha y se empacan en costales. Los productores refieren que al momento de cortarlos, se deben dejar con la menor cantidad de cepa posible, ya que este material origina, exactamente con estas características, plantas con mayor rendimiento de raíces comerciales. Un trabajo adelantado en Brasil, evaluando el plantío de arracacha con colinos grandes (22,1g), medianos (14,1g), pequeños (9,7g) y muy pequeños (5,7g), demostró que estos últimos presentan mejor rendimiento de raíces comerciales (Heredia *et al.* 2009). La evaluación del peso del colino, en seis cultivos del municipio de Boyacá, permitió establecer como promedio 35g, máximo 51g y mínimo 21g.

Para la propagación, 61% de los productores utilizan colinos de sus propios cultivos, es decir, de la misma finca; 25%, los consiguen en la misma vereda, mientras que 14%, los adquieren en otra vereda.

**Materiales genéticos.** No se referirá aquí el concepto de variedad, ya que en la arracacha no se tiene claridad sobre este aspecto. Diferentes autores mencionan conceptos como cultivar, forma hortícola y accesión (Sánchez & Vásquez, 1996; Higueta, 1968; Jaramillo, 1984; Vásquez *et al.* 2004). Se usa el término 'material genético', que aquí hace referencia a un grupo de plantas

que a simple vista se pueden agrupar de acuerdo con rasgos de color y de forma de sus estructuras y basado en sus características agronómicas.

De acuerdo con los conocimientos locales, se determinó la existencia de siete materiales, cuyos nombres comunes son: paliverde, palirusia o palimorada, palinegra, yema de huevo o cartagenera, blanca de tarro, amarilla de tarro y yucataná. Estos materiales se diferenciaron, principalmente, por el color de las hojas, de los tallos y de las raíces, como se explica en la tabla 1. Estas mismas variables fueron utilizadas por Vásquez *et al.* (2004) en la caracterización morfológica de la colección colombiana de arracacha. Para el caso de la raíz, se encontró que podía ser blanca o amarilla, en algunos materiales, con presencia de un anillo de color morado. Seminario (2004) menciona que existen cuatro tipos de arracacha: de pulpa blanca, de pulpa amarilla, de pulpa blanca con pigmentación púrpura y de pulpa amarilla con pigmentación púrpura. Higuera señala que en 1968, en el C.I. ICA “Tibaitatá” (Mosquera, Cundinamarca), se tenían nueve colecciones de material vegetal de arracacha y que las bases para diferenciarlas eran el color del follaje, de la raíz y del anillo presente en la raíz. En la zona de estudio, se encontraron hojas

de color verde con diferente intensidad, verde-morado o morado intenso y raíces de color blanco y amarillo, con o sin presencia de un anillo de color morado.

De acuerdo con la forma y la estructura de la raíz, los agricultores definen dos clases de materiales: una de las clases agrupa los materiales cuya raíz principal es gruesa, que denominan “tarro”, con raíces secundarias pequeñas, conocidas como apios, dentro de la cual, se encuentran los materiales yucataná, blanca de tarro y amarilla de tarro. Esta clase es conocida vulgarmente como “variedades de tarro”. En la otra, se reúnen los materiales con raíz central más pequeña que la de la primera clase, con grandes y numerosos apios, donde agrupan los materiales paliverde, palirusia, palinegra y yema de huevo, conocidas como “variedades de apio”. Hacia los 50's, se cultivaban solamente los materiales blanca de tarro, amarilla de tarro y palinegra. Posteriormente, se efectuaron introducciones desde Cajamarca (Tolima), de los materiales denominados palirusia y paliverde, por agricultores que trabajaron allí y regresaron al municipio de Boyacá, trayendo material propagativo. Hace diez años o menos, se introdujo la variedad yema de huevo, también desde Cajamarca.

Tabla 1. Color característico de los principales órganos de las plantas de arracacha, en cada uno de los materiales genéticos encontrados en el municipio de Boyacá.

| Nombre común      | Color de la hoja | Color del tallo | Color predominante en la raíz | Presencia de anillo morado en la raíz |
|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Amarilla de tarro | Verde            | Verde           | Amarillo                      | No                                    |
| Blanca de tarro   | Verde            | Verde           | Blanco                        | *                                     |
| Paliverde         | Verde            | Verde           | Amarillo                      | Sí                                    |
| Palirusia         | Verde            | Morado suave    | Amarillo                      | No                                    |
| Palinegra         | Verde- Morado    | Morado          | Amarillo                      | No                                    |
| Yema de huevo     | Verde            | Verde           | Amarillo                      | No                                    |
| Yucataná          | Morado oscuro    | Morado suave    | Amarillo                      | Sí                                    |

\* Con el nombre blanca de tarro los productores identifican dos materiales, uno que presenta anillo morado en la raíz y otro que no lo presenta.



Los materiales de tarro, en la actualidad, no son comerciales, por eso se ha disminuido su área de plantío hasta quedar confinada a pequeños lotes de productores que la mantienen para auto-consumo y para “no dejar perder la semilla”; esta situación preocupa por el riesgo de pérdida de la biodiversidad. El material paliverde es cultivado por su alta producción, aunque en los últimos años se ha impuesto el plantío de yema de huevo, dada su aceptación en el mercado.

De acuerdo con sus experiencias, los agricultores manifestaron que los materiales yema de huevo y blanca de tarro son más precoces, con 12 a 15 meses del plantío a la cosecha; palirrusia, de 12 a 18 meses, lo mismo que paliverde y palinegra, pero pueden llegar a ser cosechadas a los 24 meses, caso poco frecuente.

**Suelos y preparación.** La topografía de la región es quebrada. En los cultivos visitados predominan los suelos de texturas franco-arcillosas y arcillosas, seguidas por la arcillosa y arenosa. Jaramillo (1984) menciona que la arracacha requiere suelos profundos, friables y con alto contenido de materia orgánica; en la zona de estudio, no se observó que la textura fuera una limitante para la producción, a pesar que se señala que en suelos arcillosos a franco-arcillosos, el engrosamiento de las raíces es limitado.

La preparación del suelo para el plantío consiste, generalmente, en arar y rastrillar; el surcado se hace con arados de tiro jalados por caballos y bueyes o con azadón. Cuando el terreno proviene de cultivo de papa, se encuentra en buenas condiciones y tan solo se ara con bueyes o se rastrilla. En Antioquia, Jaramillo (1984) dice que la preparación de los suelos es realizada de forma similar.

**Riego.** Un alto porcentaje de los productores (86%) no dispone de un sistema de riego, el restante 14%, cuenta con riego por aspersión o por gravedad. Lo anterior, se debe a que la mayoría no dispone de fuentes de agua y, aunque no se han determinado los requerimientos hídricos de la especie, las experiencias en campo indican que pueden ser suplidos por precipitaciones entre 600 y 1000mm/año (Higuita, 1968; Jaramillo, 1984). En el municipio de Boyacá, la precipitación promedio anual es de 911mm (POT Municipal, 2003). En el marco del presente estudio, no se realizó evaluación sobre las diferencias de productividad entre cultivos con o sin riego.

**Fertilización.** Casi la totalidad de los entrevistados manifestaron que no realizan análisis de suelo, por tanto, la fertilización se planea de forma empírica. Situación similar es reportada por Vásquez & Gutiérrez (2000), en el municipio de Cajamarca.

En el municipio de Boyacá, 75% de los productores emplea únicamente abonos químicos; 11%, aplica tanto abonos orgánicos como químicos y, 14%, solamente abonos orgánicos. En el caso de los productos químicos, el más empleado es el abono compuesto 15-15-15 y otras fuentes como 18-18-18, 10-30-10 y 13-26-6. Entre los orgánicos, se reportaron el estiércol, el pasto descompuesto, la gallinaza y el humus. De los productores encuestados, 36% abona una sola vez durante el ciclo de cultivo; 39% dos veces y 17%, tres momentos. La distribución de estas aplicaciones está sujeta a las precipitaciones y a la realización de otras labores como la deshierba, ya que con frecuencia estas dos labores se efectúan al mismo tiempo.

No es posible determinar si las dosis y fuentes de nutrientes son adecuadas, debido a la falta de estudios sobre el comportamiento de los materiales genéticos a factores como clima y fertilización. El trabajo de Vásquez y Gutiérrez (2000), concluye que la respuesta de las variedades estudiadas amarilla paliverde y amarilla palirrusia, a diferentes fuentes de fertilización química (urea 46%, fosfato diamónico, superfosfato triple, cloruro de potasio), no fue consistente. Para la Sabana de Bogotá, Jaramillo (1984) reporta que se han obtenido buenos rendimientos, con aplicaciones de 500 a 600kg/ha de abono 10-30-10 más 3t/ha de gallinaza.

**Enfermedades.** La pudrición de raíz fue el problema fitosanitario más frecuente, mencionado por 72% de los entrevistados. Análisis de tejidos de la raíz realizados en el Centro de Diagnóstico en Sanidad Vegetal de la IPTC (Tunja) indicaron que el agente causal es el hongo *Sclerotinia sclerotiorum*, ampliamente reportado como patógeno de la arracacha (Hermann, 1997; Aguirre & Vásquez, 2000; Dos Santos, 2004). El síntoma inicial de su ataque es un marchitamiento del follaje y, posteriormente, al arrancar la planta su raíz presenta pudrición y estructuras del patógeno, llamadas esclerocios. Los agricultores desconocen el manejo de la enfermedad y por eso no realizan ningún tipo de control. Los demás productores hicieron referencia a otras enfermedades, que denominaron ceniza,

Fusarium, enroscamiento de la hoja y arbolado, pero se desconocen los agentes causales, ya que hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio.

**Plagas.** No se reportaron daños de nivel económico, excepto los causados por babosas, no identificadas, cuando atacan al inicio del ciclo, época en que consumen las primeras hojas o la raíz, pudiendo causar la muerte y, por tanto, la pérdida de plantas. Se realiza control, mediante el encalado previo al plantío o la aplicación al suelo de gránulos, de algún producto comercial, a base de metaldehído.

Los agricultores también reportaron el daño de una larva conocida como centella, que consume el follaje. En el Laboratorio de Entomología de la UPTC (Tunja), se identificó como *Papilio polyxenes asterius* Stoll (Lepidoptera: Papilionidae); esta misma especie es reportada por Sánchez & Vásquez (1996), en Cajamarca y por Montaldo (1991), en Venezuela.

Indican la existencia de otras larvas, comedoras de follaje de menor importancia, que durante los recorridos no se observaron. Para el control emplean productos a base de ingredientes activos, como clorpirifos, metamidofos, malathion y profenofos, que son aplicados también a la papa.

**Malezas.** En los cultivos de arracacha, se localizaron diferentes especies de malezas. Dentro de las gramíneas, principalmente kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina* (Hochst. ex Chiov.) H. Scholz y raigrás (*Lolium perenne* L.) y en el grupo de hoja ancha, la romasa (*Rumex* sp.) y el barbasco (*Polygonum segetum* Kunth). Los métodos de control, se fundamentan en el deshierbe manual, tres o cuatro veces en un ciclo de cultivo y la aplicación de herbicidas, en base a diuron y fluazifop-p-butil. En Cajamarca, el control químico también se realiza con productos de diuron y, en forma manual, cuatro y ocho meses después de siembra (Vásquez & Gutiérrez, 2000).

**Cosecha y rendimiento.** Los productores indicaron que, dependiendo de los materiales genéticos, el momento de la cosecha variaba entre 12 y 18 meses, aunque algunos agricultores atrasaban la cosecha, incluso hasta los 24 meses. Se observó que la demora en la cosecha se debía a la espera del productor por mejores precios en el mercado, ya que en determinadas épocas éste se

satura. Por otra parte, la disponibilidad de mano de obra y de transporte les hace optar por demorar unos meses más la cosecha o por realizar la cosecha escalonada, es decir, recolectar y vender pequeñas cantidades periódicamente, hasta cosechar la totalidad del lote.

Quienes están acostumbrados a cosechar tardíamente manifiestan que la calidad de la raíz no disminuye; sin embargo, otros productores consideran que existe mucho riesgo por el ataque de enfermedades y la pérdida de calidad de la raíz que, se torna fibrosa y cambia de sabor.

Ninguno de los productores entrevistados ha calculado el rendimiento obtenido en sus cultivos, por tanto, aquí se reportan datos aproximados. De acuerdo con el 67% de los encuestados, al momento de la cosecha el rendimiento oscila entre 2 y 3kg por planta (peso de raíz); el 14% indicaba que variaba entre 4 y 5kg/planta y los productores restantes (29%) desconocen por completo los rendimientos promedio o potenciales. Debido a este desconocimiento y a las grandes variaciones en la densidad de siembra (21.000 a 41.000 plantas/ha, aproximadamente), no fue posible hacer un estimativo de los rendimientos. El MADR (2008), reporta un rendimiento de 12t/ha en este municipio, siendo el promedio nacional de 11,9t/ha.

**Empaque y sitio de venta.** Para su comercialización la arracacha se empaca en costal de fibra blanco, de 62,5kg. De los encuestados, 92% citaron que venden sus cosechas en las ciudades de Tunja y/o Ramiriquí y, los 8% restantes, en la plaza de mercado de Boyacá o en Bogotá y a intermediarios que la adquieren en el mismo lote. Las cosechas más grandes son llevadas a Tunja, Bogotá y/o Ramiriquí; localmente, en la plaza de Boyacá, se comercializan cantidades más pequeñas. Acerca del uso y destino del producto, 39% indicó que produce solo para la venta y 53% tanto para la venta como para auto-consumo.

**Asistencia técnica.** Ninguno de los encuestados en las veredas productoras de arracacha indicó que ha recibido asistencia técnica para el cultivo de esta especie. Esta situación, se relaciona con la imposibilidad económica de sus cultivadores para sufragar los costos de un asistente técnico y la falta de profesionales con amplios conocimientos sobre esta especie. Se suma a lo anterior,

la falta de costumbre para solicitar asistencia técnica en los cultivos tradicionales cuyas técnicas de producción son mejor conocidas.

En la zona de estudio no existen asociaciones de productores de arracacha; no obstante, la mayoría manifestaron el deseo de asociarse para tener acceso a capacitación, asistencia técnica y mejoras en la comercialización.

En explotaciones pequeñas, la mano de obra, para muchas de las labores, es de tipo familiar. En áreas mayores, se contrata por jornal o por labor, aunque se sigue haciendo uso de la mano de obra familiar.

Como consideraciones finales del trabajo y dada la importancia del sistema productivo de la arracacha, no solo en el municipio de Boyacá, sino en varios municipios del Departamento, se detectó la necesidad de una mayor atención por parte de las entidades encargadas de diseñar y de ejecutar las políticas de desarrollo agrícola.

A pesar de observarse que la tecnificación del cultivo es baja, cálculos basados en los datos de rendimiento, suministrados por los productores, permiten afirmar que el municipio se encuentra entre los de mayor productividad a nivel nacional, por lo cual, se recomienda plantear alternativas de manejo agroecológico, encaminadas a mantener una baja incidencia de plagas y enfermedades.

Financiación. El presente estudio, se realizó en el marco del Convenio 104-08 entre la Corporación PBA y la UPTC, con recursos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Holanda. Conflicto de intereses: Esta investigación y el manuscrito fueron realizados por todos los autores, por tanto, declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de la presente publicación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE, M.; VÁSQUEZ, M. 2000. Evaluación de plantas de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) provenientes de semilla sana y afectada por "argeniado". Rev. ICA Nataima (Colombia). 5:65-72.
2. AMAYA, J.; JULCA, J. 2006. Arracacha, *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Conservación del Medio Ambiente. Gobierno Regional La Libertad. Perú. 15p.
3. DOS SANTOS, F. 2004. Producción de arracacha en Brasil. En: Seminario, J. (ed.). Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) No. 6. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. p.285-287.
4. HIGUITA, F. 1968. El cultivo de la arracacha en la Sabana de Bogotá. Separata Agricultura Tropical (Colombia). 14(3):139-147.
5. HEREDIA, N.; VIEIRA, M.; DIMAS, J.; GONZÁLEZ, P.; BRANDÃO, N.; MAZARON, B. 2009. Produtividade de mandioquinha-salsa sob diferentes densidades de plantio e tamanho das mudas. Ciência e Agro-tecnologia (Brasil). 33(1):139-143.
6. HERMANN, M. 1997. *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft. En: Herman, M.; Hiller, J. eds. Andean Roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. International Potato Center CIP. Lima Perú. p.75-172.
7. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. 1988. Caracterización de 71 entradas de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*), en Santa Catalina. Programa de Cultivos Andinos Ecuador. Informe técnico anual. p.16-17.
8. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. 1989. Evaluación y selección de 10 clones promisorios de zanahoria blanca en Santa Catalina. Programa de Cultivos Andinos Ecuador. Informe técnico anual. p.42-43.
9. JARAMILLO, J. 1984. El cultivo de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). ICA Regional 4. Curso de actualización en tecnología agrícola. Distrito de Rionegro. Documento de trabajo No. 14. p.179-189.

10. JIMÉNEZ, F. 2005. Características nutricionales de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y sus perspectivas en la alimentación. Publicación Virtual Red Peruana de Alimentación y Nutrición. Lima, Perú. 22p. Disponible desde Internet en: <http://www.rpan.org/monografias/monografia002.pdf> (con acceso 12/05/09).
11. KNUDSEN, S.; HERMANN, M.; DOS SANTOS, F.; SORENSEN, M. 2004. Inducción de floración en el cultivo de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). En: Seminario, J. (ed.). Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) No. 6. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. p.197-213.
12. KNUDSEN, S.; ØRTING, B.; SØRENSEN, M. 2006. Multiplicación y conservación de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) y ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi). En: Moraes, M; B. Øllgaard, B; Kvist, P; Borchsenius, F; Balslev H. (ed.) Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. p.483-508.
13. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL MADR. Secretarías de Agricultura Departamentales, Umata. 2008. Arracacha: superficie cosechada, producción y rendimiento obtenido por departamento, años agrícolas 1997 – 2008. Disponible desde Internet en: [www.dnp.gov.co/PortalWeb/LinkClick.aspx?fileticket...tabid=437](http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/LinkClick.aspx?fileticket...tabid=437) (con acceso 08/08/09).
14. MONTALDO, A. 1991. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. 2ª Edición. Editorial Agroamérica. San José de Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 408p.
15. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Boyacá. POT. 2003. Alcaldía Municipal de Boyacá, Departamento de Boyacá. 524p.
16. SEMINARIO, J. 2004. Origen de las Raíces Andinas. En: Seminario, J. (ed.). Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) No. 6. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. p.1-38.
17. RODRÍGUEZ, G.; GARCÍA, H.; CAMACHO, J.; ARIAS, F.; RIVERA, J.; TORRES, F. 2004. La Harina de Arracacha. Manual técnico para su elaboración. Informe de investigación del Programa Nacional de Procesos Agroindustriales, CORPOICA. 24p.
18. SÁNCHEZ, G.; VÁSQUEZ, N. 1996. Manejo de plagas en el sistema de producción de arracacha en el departamento del Tolima. Produmedios. Corpoica Regional 6. p.6-17.
19. VÁSQUEZ, N.; MEDINA, C.; LOBO, M. 2004. Caracterización morfológica de la colección colombiana (Tolima, Huila, Boyacá, Cauca) de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). En: Seminario, J. (ed.). Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) No. 6. Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. p.165-178.
20. VÁSQUEZ, N.; GUTIÉRREZ, D. 2000. Fertilización y distancias de siembra en el cultivo de arracacha en el municipio de Cajamarca, Tolima. Revista ICA Nataima (Colombia). 5:57-64.

Recibido: Septiembre 3 de 2009

Aceptado: Mayo 3 de 2010

# EMPRESAS FAMILIARES EN COLOMBIA: HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN COMERCIAL

## FAMILY BUSINESS IN COLOMBIA: TOWARDS THE CONSTRUCTION OF A COMMERCIAL MANAGEMENT MODEL

Jorge Humberto Sandoval <sup>1</sup>, Doris Emilia Guerrero <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Economista, Mercadotecnista. M.Sc. Docencia Universitaria. Docente investigador, Facultad de Ingeniería Comercial, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A e-mail: josandoval@udca.edu.co <sup>2</sup> Abogada, Filósofa. M.Sc. Estudios Humanísticos. Docente investigador, Facultad de Ingeniería Comercial, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A e-mail: dorisgue@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 135-146, 2010

### RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo adelantar un análisis y diagnóstico de la estructura comercial de algunas empresas familiares colombianas, para la formulación de un modelo de gestión, que les permita enfrentar los retos del mercado. Se tomó como unidad de análisis treinta empresas de diferentes sectores productivos y como unidad de trabajo a tres: Pizano S.A, Corventas de Colombia Ltda. Ferretería Sicar Ltda. Se utilizaron como instrumentos de recolección de la información, la encuesta estructurada y la entrevista personal abierta e histórica. El trabajo de campo arrojó que el 33% de las empresas familiares llegaron a la segunda generación y sólo el 13% alcanzaron la tercera, lo cual, indica su fragilidad al no estar dispuesto al cambio de los procesos empresariales, la dinámica y la flexibilización de la gestión comercial y administrativa. Fueron identificados como factores críticos la escasa investigación de mercados y de planes de mercadeo, la débil incorporación de sistemas de distribución y logística, el uso incipiente de estrategias promocionales y la poca aplicación de sistemas de información comercial. El impacto del clima organizacional en el sistema comercial redujo la posibilidad de crecimiento y la falta de integración de los procesos imposibilitó la identificación y el ofrecimiento de valores agregados de la cadena productiva. A

partir de las debilidades, se formuló un modelo de gestión comercial, con el fin de proponer políticas y estrategias de fortalecimiento, que les permita a las empresas familiares mayores niveles de competitividad y sostenibilidad.

Palabras clave: Familia empresaria, modelo de gestión, sucesión, competitividad.

### SUMMARY

This study had as objective the analysis and diagnose of the commercial structure of some Colombian familiar companies, in order to formulate a management model that allows them to confront the market challenges. As research unit, thirty companies from different productive sectors were employed and as working unit three companies, Pizano S.A. Corventas de Colombia Ltda, Ferretería Sicar Ltda. were selected. A structured survey and an open and historical personal interview were applied for gathering information. Field work showed, that 33% of the familiar companies managed to enter the second generation, while only 13% reached the third one, indicating fragility, if the company is not ready to accept the changes which the modernization of enterprise processes, of dynamics and of shifts in the commercial and administrative management

implies. As critical factors few market and trade scheme research, weak incorporation of logistic distribution systems, incipient use of promotional strategies and scarce application of commercial information were identified. The impact of the organizational climate in its commercial system reduced the growth possibility and the lack of integration of the processes disabled the identification and the offering of added values within the productive chain. Based on these weaknesses, a commercial management model was formulated with the purpose to propose policies and strategies that allow the familiar companies to obtain higher competitiveness and sustainability levels.

Key words: Family business, management model, succession, competitive.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, la investigación sobre la empresa familiar tuvo su génesis hace dos décadas, en el período comprendido entre 1990 al 2000. Expertos en el tema, como Gersick *et al.* (1997), Ginebra (1997) y Leach (1999) resaltaban los factores que contribuyen al éxito o fracaso del emprendimiento familiar. En la última década, se han publicado estudios que las identifican como motor del desarrollo de un país; se estima que el 80% de las empresas del mundo son negocios de familia. En Estados Unidos corresponde al 96%, en España al 71%, en Italia al 99% y en Colombia oscila entre el 70 y 75% entre pequeñas, medianas, grandes empresas (Gaitán & Castro, 2005). Así, se puede afirmar que dentro del conjunto de empresas, las familiares constituyen la espina dorsal del desarrollo económico (Gómez, 2005).

En el ámbito social, la importancia de la empresa familiar es algo más que cifras y estadísticas, pues la transmisión del conocimiento, a lo largo del tiempo, la cultura de la familia emprendedora, como fuente de orgullo y la tradición, se constituyen en elementos que motivan a las siguientes generaciones a comprometerse con el negocio de sus antecesores. Según Serna (2006), no existe una definición generalmente aceptada de empresa familiar, hay quienes consideran que ser o no organización familiar es cuestión de distribución de la propiedad. Otros opinan que depende de quien ejerce el control, la intención de continuidad de la propiedad o la forma de gobierno que se tenga.

La opinión pública tiende a confundir empresa familiar con pequeña, mediana o microempresa, a pesar que las grandes empresas en Colombia son o tuvieron su origen en las organizaciones familiares. No obstante, la multiplicidad de observaciones entorno a su conceptualización, la conciencia de los valores empresariales y familiares, el nexo establecido entre una y otra, definen los supuestos básicos de su actuación permanente y voluntariamente compartida.

Las empresas familiares son sistemas complejos que dependen de infinidad de variables: relaciones y conflictos familiares mezclados, con la actividad empresarial; mercado en el que se desarrolla, marco legal, cultura organizacional, misión y valores, entre otros. Esto destaca la dificultad para involucrar en una definición elementos que homogenicen los comportamientos, las peculiaridades y las tendencias de los entornos familiares, dedicados a la empresarialidad (Serna, 2006). Cada empresa familiar es un caso único e irrepetible, por lo que se podrían determinar algunos rasgos que las identifican, como la resistencia al ingreso de socios no familiares, la preocupación por la transmisión del mando, la persistencia de la cultura corporativa con el deseo de mantener la empresa, vencido cualquier obstáculo. Además, los valores apreciados como honestidad, lealtad, obediencia, respeto a los directivos propietarios, incluso por encima de las competencias requeridas, para un excelente desempeño.

Los diagnósticos realizados a las empresas familiares destacan algunas ventajas comparativas frente a otro tipo de unidades de negocio, entre ellos, el nivel de compromiso que alcanzan los individuos que pertenecen a la familia y a la empresa, el conocimiento profundo que adquieren las personas que laboran en el negocio de familia, la flexibilidad en el trabajo y en el manejo del tiempo, la apreciación y el sentimiento que todo esfuerzo se verá reflejado en el negocio familiar, la rapidez y la confiabilidad para la toma de decisiones (Ronquillo, 2006).

De igual manera, se resalta desventajas como la rigidez de los métodos usados para realizar las actividades empresariales, los cuales, han sido establecidos por el fundador y perpetuados por las generaciones siguientes (Poza, 2004) y la incapacidad para enfrentar desafíos, como la modernización de prácticas empresariales, el manejo creativo de las transacciones, la sucesión en el mando y la convivencia en un mismo tiempo y espacio de los ámbitos familiar y empresarial (Gallo, 2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la identificación y la caracterización de las empresas familiares estudiadas, se adelantó un diagnóstico, con el fin de conocer su funcionamiento y desarrollo. Además, se planteó el diseño de un modelo conceptual apoyado en el análisis de las estructuras legal, productiva, financiera y comercial, lo que facilitó la contrastación del fundamento teórico con la realidad observada. Así, el modelo se propuso con el objetivo de representar o abstraer un grupo de actividades u operaciones comerciales conectadas entre sí, que permitieran la construcción teórica del funcionamiento de los diversos procesos que componen la gestión comercial de las empresas familiares.

El diseño metodológico implementado consistió en comprender la evolución que han tenido los problemas, los hechos o los fenómenos de las empresas familiares y la aplicación de los instrumentos y/o técnicas de recolección de la información. Dichos instrumentos, se aplicaron directamente a la realidad, permitiendo cerciorarse de las verdaderas condiciones en las que se han obtenido los datos. La relación entre el sujeto-objeto, empresas familiares-características, se estableció a partir de una comunicación dialógica, interactiva y

bidireccional, fundamentada en la retroalimentación, permitiendo un juego de roles, es decir, la interacción intencional del objeto de estudio con las variables y categorías que determinan su comportamiento.

De esta manera, se constituyeron las siguientes fases de la investigación:

1. Análisis de la situación problemática y conceptualización teórica entorno a ésta: se identificó como problema el desconocimiento que se presenta acerca de la aplicación de estrategias de gestión comercial en las empresas familiares y su impacto.
2. Estrategia metodológica empleada: se definió la población con base en el inventario de empresas familiares realizado por la Cámara de Comercio de Bogotá (2006), que reporta 1650 empresas familiares en las principales ciudades de Colombia.
3. Posteriormente, se procedió a realizar el diseño muestral, partiendo de una población finita, utilizando el muestreo aleatorio simple, que garantizó que las empresas tomadas, como unidad de análisis, tengan la misma probabilidad de hacer parte de la muestra (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ficha técnica del diseño muestral.

| Indicador                    | Plan de muestreo  | v/r o criterio para el cálculo del tamaño de la muestra  |
|------------------------------|---|--|
| Población objetivo           | Total de empresas familiares inventariadas  | N= 1650  |
| Marco muestral               | Listado de empresas   |  |
| Tipo de muestreo             | Aleatorio por cuanto su selección se hizo al azar y cada empresa tiene la probabilidad de salir seleccionada                              | Muestreo aleatorio para poblaciones finitas  |
| Grado de confiabilidad       | Las estimaciones obtenidas de la muestra seleccionada se encuentran como máximo a una distancia del 10% de la verdadera media poblacional | Z=90%  |
| Variabilidad de la población | Describe la variabilidad encontrada en el total de empresas familiares  | $\delta = 0,16$  |
| Precisión                    | El error absoluto máximo admisible en la estimación de la media   | $\delta = 0,06$  |
| Tamaño de la muestra         | $N = \frac{(Z^2 S^2) / \delta^2}{(1 + 1/N(Z^2 S^2) / \delta^2)}$  | N= 30 empresas tomadas como unidad de análisis y se les aplicó la encuesta estructurada (Cuadro 2), arrojando los resultados que se presentan en la tabla 1 y 2. |

4. Dado que los resultados obtenidos a través del análisis de la aplicación de la encuesta (Cuadro 2), no arrojaron de manera puntual un diagnóstico de la estructura comercial de las empresas familiares, se procedió a definir la unidad de trabajo seleccionado, correspondiente a tres de las treinta empresas indicadas.

Se establecieron para la selección criterios como: tamaño, permanencia en el mercado, conocimiento sobre la aplicación de estrategias de gestión comercial e impacto en su crecimiento y desarrollo. Ulteriormente, se diseñó una entrevista en profundidad, aplicada a los miembros de la familia de fundadores de las empresas indicadas, clientes y personal que labora en ellas (Cuadro 3). Dichas acciones, se llevaron a cabo en sesiones de tres horas en las instalaciones de las empresas seleccionadas: Corventas Ltda, Pizano S.A., Ferretería Sicar Ltda.

Cabe aclarar que durante el proceso se advirtieron limitaciones de orden metodológico derivadas, de una parte, de la heterogeneidad dada por el tamaño, el sector productivo, el manejo administrativo y comercial que implementan las empresas familiares en Colombia, lo que no permitió su estratificación. De otra parte, aunque la unidad de trabajo arrojó análisis particulares de las empresas tomadas en el estudio fueron contrastadas con bibliografía especializada, lo que permitió identificar elementos comunes y diversos de las características de las empresas familiares.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio adelantado permitió identificar en las empresas familiares, los elementos que predominan en ellas, con el propósito de establecer características esenciales.

De los datos obtenidos respecto del período de constitución de las empresas (Tabla 1), se puede concluir que el 20% fueron fundadas con anterioridad a la década de los ochenta, manteniéndose vigentes, consolidándose y logrando un reconocimiento en el mercado. El 73% de las empresas fueron creadas en las últimas tres décadas, lo que demuestra el incremento de la iniciativa empresarial. Sobre el particular, los estudios reflejan que una de las causas fundamentales de la baja expectativa de permanencia en el mercado de los

negocios familiares, se debe a que los directivos toman muy tarde o, sencillamente, no toman decisiones para asegurar la vitalidad de sus compañías en un entorno competitivo, cada vez más dinámico y complejo (Torres & Escobar, 2003).

Respecto al marco legal (Tabla 1), los resultados arrojan que el 60% de las empresas fueron constituidas inicialmente a nombre de una persona natural, en razón a que la legislación tributaria que las rige, decreto 3257 del 2002, establece tarifas progresivas, acorde con las utilidades obtenidas, mientras que a las sociedades se les aplica un porcentaje fijo de contribución. No obstante, su elección inicial, la mayor parte de las empresas de familia están conformadas como sociedades de responsabilidad limitada, seguidas por las sociedades anónimas, lo que confirma la tendencia nacional expresada por Londoño *et al.* (2008).

En cuanto a la actividad económica que desarrollan (Tabla 1), el 50% de las empresas se dedican a la actividad comercial, de las cuales, el 80% fueron creadas en las últimas tres décadas. El 30% de estas organizaciones, se dedica a la prestación de servicios, financieros, comunicación y educación; los restantes sectores constituyen el 20%, además, se identificó que adelanten su actividad en la informalidad. De acuerdo con el estudio de Londoño *et al.* (2008), las empresas de familia en Colombia están presentes en todos los sectores de la economía nacional y su tamaño, oscila desde las pequeñas y/o microempresas, hasta las grandes organizaciones.

La encuesta realizada en relación con el tamaño de las empresas de familia (Tabla 1), reflejó que el 80% son microempresas y/o pequeñas, lo que coincide con los estudios adelantados a nivel nacional, los cuales, establecen que la micro y la pequeña empresa constituyen el 95% del total de empresas existentes en el país; el 3% son medianas y el 1% grandes. De lo que se infiere, que las empresas familiares representan un alto porcentaje de las micro y pequeña empresa (Gaitán & Castro, 2005).

El 40% de las empresas analizadas manifestaron que el principal factor que influye en su conformación es la necesidad de sustento (Tabla 1). El predominio de esta circunstancia se vio reflejado en el período comprendido entre 1987 y 1998, cuyo porcentaje, en relación con el



Cuadro 2. Formato de encuesta aplicada a las empresas tomadas como unidad de análisis.

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.CA  
 ÁREA DE CONOCIMIENTO DE LAS INGENIERÍAS  
 FACULTAD DE INGENIERÍA COMERCIAL  
 NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN: EMPRESAS FAMILIARES EN COLOMBIA.  
 HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN COMERCIAL

Encuesta estructurada: formato definitivo

NOMBRE DE LA EMPRESA: \_\_\_\_\_

Año creación: \_\_\_\_\_ Objeto Social: \_\_\_\_\_

Nombre del encuestado: \_\_\_\_\_ Cargo: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_ Email: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

I. INDICADORES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS EMPRESAS FAMILIARES:

1. ¿De los siguientes factores, cuál o cuáles fueron determinantes para la creación de la empresa familiar?:
  - a. Herencia familiar
  - b. Necesidad económica
  - c. Capacidad económica
  - d. Idea innovadora
  - e. Disponibilidad de tiempo
  - f. Otro: \_\_\_\_\_ ¿Cuál? \_\_\_\_\_
2. El origen o lugar de procedencia de la empresa es:
  - a. Antioquia
  - b. Cundinamarca
  - c. Valle del Cauca
  - d. Otra región \_\_\_\_\_ ¿Cuál? \_\_\_\_\_
3. ¿Cuántos miembros de la familia trabajan en la empresa?
  - a. De 1 a 3
  - b. De 4 a 6
  - c. De 7 a 10
  - d. Más de 10
4. ¿Cuál es el porcentaje de capital logrado a través de la autogestión financiera?
  - a. 0% a 25%
  - b. 26% al 50%
  - c. 51 al 75%
  - d. 76% al 100%

II. INDICADORES Y CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LA GESTIÓN COMERCIAL DE LAS EMPRESAS FAMILIARES:

5. La estructura comercial de la empresa se caracteriza por tener:
  - a. Un Departamento Comercial
  - b. Profesionales altamente capacitados para dirigir la gestión comercial
  - c. Disposición al cambio e innovación en los procesos comerciales
  - d. Tecnología para la gestión comercial
  - e. Flexibilidad y dinámica para la comercialización de sus productos
6. ¿Cuáles de las siguientes estrategias comerciales implementa la empresa?
  - a. Investigación de mercados
  - b. Planes de mercadeo
  - c. Sistemas de distribución dinámicos y flexibles
  - d. Sistema integral de ventas
  - e. Sistema de información comercial (SIC)
  - f. Estrategias de comunicación y publicidad
  - g. Estrategias de promoción y de relaciones públicas

Continuación Cuadro 2:

|  |
|--|
| <p>7. ¿Cuáles considera Ud. que son las mayores debilidades de la empresa en su estructura comercial?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Control en las funciones del área comercial</li> <li>Manejo inadecuado de la información</li> <li>Calidad de la información y comunicación de la empresa</li> <li>Formalidad de la estructura comercial</li> <li>Manejo integral de las estrategias de comercialización</li> <li>Preparación profesional para la gestión comercial</li> </ol> <p>8. ¿Cuáles considera Ud. que son las mayores fortalezas de la empresa en su estructura comercial?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calidad de las relaciones en el área comercial</li> <li>Sentido de pertenencia con la gestión comercial</li> <li>Control del dinero</li> <li>Conocimiento del funcionamiento de la empresa</li> <li>Autonomía para la toma de decisiones</li> </ol> |
|--|

Cuadro 3. Formato de entrevista en profundidad con informantes clave a empresas tomadas como unidad de trabajo.

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.CA<br/>         ÁREA DE CONOCIMIENTO DE LAS INGENIERÍAS<br/>         FACULTAD DE INGENIERÍA COMERCIAL<br/>         NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN: EMPRESAS FAMILIARES EN COLOMBIA.<br/>         HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN COMERCIAL</p> <p>Entrevista en profundidad: formato definitivo</p>  |  |                                     |
| <p>NOMBRE DE LA EMPRESA FAMILIAR: _____</p>   |  |                                     |
| <p>Año creación: _____</p>  |  | <p>Objeto Social: _____</p>         |
| <p>Nombre del encuestado: _____</p>   |  | <p>Cargo: _____</p>                 |
| <p>Dirección: _____</p>   |  | <p>Email: _____ Teléfono: _____</p> |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>¿Con qué periodicidad la empresa realiza investigaciones de mercados y cuáles son los principales objetivos a lograr a través de su realización?</li> <li>¿Contempla en la estructura orgánica de la empresa un Departamento Comercial?</li> <li>¿Cuáles han sido las innovaciones de la gestión comercial que le ha permitido a la empresa mantenerse en el mercado y ser competitiva?, ¿De qué manera?</li> <li>¿La tecnología aplicada a procesos como los sistemas de distribución y logística, los sistemas de información comercial o el sistema de ventas han contribuido a la comercialización efectiva de los productos de la empresa?</li> <li>¿Qué estrategias de comunicación y publicidad utilizadas por la empresa han funcionado de manera efectiva para el posicionamiento de los productos en el mercado?</li> <li>¿Ha participado la empresa en eventos o ferias de tipo comercial?, ¿Cuáles?, ¿Cuáles han sido los resultados?</li> </ol> |  |                                     |

total de empresas creadas en esa época, fue del 40%. Lo anterior indica, que las familias iniciaron su actividad empresarial con el propósito de auto emplearse y de tener la capacidad de generar ingresos para la satisfacción de las necesidades de su núcleo familiar. Otro factor representativo, con el 30%, fue la idea innovadora lo que se presentó con mayor frecuencia, antes de 1990.

El anterior resultado es coincidente con el estudio de Lopera (2006), quien afirma que el gran porcentaje de empresas constituidas en Colombia son motivadas por la necesidad de adquirir recursos económicos, de tal manera que las denomina microempresas de subsistencia.

En cuanto al lugar de origen y operación de los negocios familiares (Tabla 1), el 40% de las empresas son creadas y funcionan en Bogotá y municipios circundantes, cuya actividad principal es de carácter comercial y se caracterizan por vincular de seis a diez miembros de la familia. El resultado obtenido es coherente con el estudio de Gómez (2006), quien resalta el éxito del espíritu emprendedor presente en la ciudad de Bogotá y municipios del departamento de Cundinamarca.

El 25% de los negocios familiares operan en el Departamento del Valle del Cauca, el 20% en Antioquia y el 13% en otras regiones colombianas, como Santander y la Costa Atlántica, constituyéndose, a través de los años, como forjadores de desarrollo económico y social. La ubicación de estas organizaciones en el territorio nacional obedece a muchas variables, como el tamaño del mercado, las costumbres y las características psicológicas y sociológicas de las personas, en cuanto a la disposición y la forma de asociarse para crear empresa, por medio de la familia (Dávila, 2003). De acuerdo con estudios de Gaitán & Castro (2005), más de la mitad de empresas de familia tienen como domicilio la Capital de la República, seguido de Cali, Medellín y Barranquilla, lo que indica, que en estos lugares existe mayor tendencia de las familias a crear empresas y operar bajo este esquema.

Respecto de los miembros de la familia que laboran en las empresas (Tabla 1), el 63% vinculan entre uno y seis trabajadores no pertenecientes al núcleo familiar en su estructura orgánica, lo que contradice la concepción generalizada que los cargos de dirección, de administración y de operación de estas compañías son manejadas por los propietarios o miembros de

la estructura familiar. El proceso de capacitación de gerentes y personal administrativo, no miembro de la familia, es una estrategia organizacional que puede ser efectiva para que las decisiones empresariales se tomen de manera independiente y autónoma.

La mayoría de las empresas familiares (80%) (Tabla 1), han logrado realizar una aceptable gestión financiera, lo que les ha permitido contar con capital de trabajo propio. Sólo el 20% han presentado dificultades de orden financiero, lo que ha exigido recurrir a créditos para financiar la actividad productiva y comercial. No obstante, es importante aclarar que las empresas familiares pueden poseer importantes activos representados en bienes, pero la gran mayoría no tienen flujo de caja, lo que les exige optar por el endeudamiento no planeado y con pocas esperanzas, a corto plazo, de recuperarse económicamente.

El 66% de las empresas que ingresaron en el proceso de cambio generacional no han logrado sobrevivir el relevo (Tabla 1); el 33%, se encuentran en la segunda generación, de tal manera que son compañías dirigidas por los hijos que se prepararon para la sucesión del mando. Estudios bibliográficos, al respecto (Petry & Nascimento, 2009), informan sobre la poca perdurabilidad de las empresas familiares, a nivel mundial, y la escasa flexibilización administrativa para permitir el ingreso de personal ajeno a la empresa, que ocupe cargos directivos.

De otra parte, en cuanto al diagnóstico derivado del análisis de las empresas familiares estudiadas, con el propósito de establecer las debilidades y las fortalezas de su desempeño comercial, no se reportaron, lo que permitiría la contrastación con la realidad estudiada.

En cuanto a la gestión comercial (Tabla 2), el estudio arrojó que la disposición al cambio (93%) que conduzca a la modernización de los procesos comerciales, la dinámica y la flexibilización de la gestión comercial, se identifican como los factores que garantizan a las empresas familiares enfrentar con éxito los retos del mercado y su competitividad. Así mismo, la no existencia de un departamento comercial, en el 90% de los casos, la no implementación de innovaciones tecnológicas para realizar la comercialización de sus productos, reflejan las principales limitaciones de su actividad comercial.

La ausencia de investigación de mercados, de un sistema integrado de ventas y de información para manejar

Tabla 1. Clasificación de las empresas estudiadas.

| Criterios de clasificación   | Descripción del criterio             | Número de empresas que cumplen con el criterio | En valor porcentual |
|--|--------------------------------------|--|---------------------|
| Por año de constitución  | 1900-1963                            | 6  | 20%                 |
|  | 1966-1976                            | 2  | 6,6%                |
|  | 1977-1987                            | 4  | 13,3%               |
|  | 1987-1998                            | 12   | 40%                 |
|  | 1999-2009                            | 6  | 20%                 |
| Tipo de empresa por su marco legal                                 | Persona natural                      | 18   | 60%                 |
|  | Sociedad Anónima                     | 5  | 16,66%              |
|  | Sociedad de Responsabilidad Limitada | 7  | 23,33%              |
| Por el sector productivo al que pertenecen                         | Industrial                           | 4  | 13,3%               |
|  | Agropecuario                         | 2  | 6,6%                |
|  | Servicios                            | 9  | 30%                 |
|  | Comercial                            | 15   | 50%                 |
| Por los factores que determinan su creación                        | Herencia familiar                    | 3  | 10%                 |
|  | Necesidad económica                  | 12   | 40%                 |
|  | Capacidad económica                  | 6  | 20%                 |
|  | Idea innovadora                      | 9  | 30%                 |
| Por la sobrevivencia tras el cambio generacional                   | No sobreviven                        | 20   | 66,6%               |
|  | Lo superan                           | 10   | 33,3%               |
| Por el tamaño  | Grandes                              | 2  | 6,6%                |
|  | Medianas                             | 4  | 13,3%               |
|  | Pequeñas y/o microempresas           | 24   | 80%                 |
| Por el lugar de origen y de operación                              | Cundinamarca                         | 12   | 40%                 |
|  | Valle                                | 8  | 26,6%               |
|  | Antioquia                            | 6  | 20%                 |
|  | Otras regiones                       | 4  | 13,3%               |
| Por el número de miembros de la familia que trabajan en la empresa | De 1 a 3                             | 10   | 33,3%               |
|  | De 4 a 6                             | 9  | 30%                 |
|  | De 7 a 10                            | 6  | 20%                 |
|  | Más de 10                            | 5  | 16,6%               |
| Por la autogestión financiera                                      | 0-25%                                | 2  | 6,6%                |
|  | 26-50%                               | 4  | 13,3%               |
|  | 51-75%                               | 8  | 26,6%               |
|  | 76-100%                              | 16   | 53,3%               |

eficientemente los aspectos técnicos, administrativos, gerenciales de la actividad comercial, son los factores más críticos encontrados. De igual manera, el uso incipiente de estrategias de comunicación, de publicidad, de promoción y sistemas de distribución y logística en un 80% y 70%, muestran la debilidad en los procesos. La carencia de un departamento comercial, con funciones, con estrategias y con políticas definidas evidencia una de las mayores falencias de las empresas familiares. Así mismo, el escaso grado de control y el manejo de la confidencialidad de la información, la mezcla de las relaciones familiares que se trasladan a la empresa, la informalidad en la selección de los cargos incide negativamente en la gestión mercadológica de las unidades de negocio (Tabla 2).

En cuanto a las fortalezas de la estructura comercial (Tabla 2), se obtuvo que de las treinta empresas estudiadas, 28 reconocen la autoridad y crean sentido de pertenencia con sus organizaciones. Se destaca la calidad de las relaciones de trabajo, la autonomía para la toma de decisiones y el conocimiento de la empresa, lo cual, muestra la firmeza de las empresas familiares (Mucci, 2008).

De otra parte, y fruto del análisis de las tres empresas tomadas, como unidad de trabajo, el diagnóstico efectuado arrojó los resultados conducentes a la formulación del modelo de gestión comercial para las empresas familiares. Dicho modelo, se construyó con el propósito de servir de guía a las organizaciones familiares en su gestión comercial, de tal manera, que contribuya a mejorar la eficacia de sus resultados.

En cuanto a las empresas estudiadas como unidad de trabajo, Pizano S.A., Corventas de Colombia Ltda. y Ferretería Sicar Ltda., se logró establecer que son organizaciones guiadas y estructuradas desde la unidad familiar, dirigidas por su fundador y administradas por diferentes miembros de tronco común. Como factores de éxito, se apreciaron el trabajo arduo y persistente de sus miembros; la orientación de los objetivos empresariales a largo plazo; la estabilidad y el compromiso organizacional; la adaptación en momentos de crisis; la mayor flexibilidad y rapidez en la toma de decisiones y el conocimiento del negocio. Cada empresa ha diversificado e innovado sus procesos, a pesar de no contar con argumentos para la planeación estratégica y por la ejecución de prácticas conservadoras e inmatematizadas.

Al consolidar la experiencia vivida por las tres empresas, se identificaron características comunes que tipifican las iniciativas empresariales: la creación de negocio no requiere de grandes inversiones de capital, la unidad familiar es una forma organizada y efectiva para iniciarse en el mundo de los negocios y el empresario requiere de conocimiento, capacidad e innovación para realizar proyectos empresariales.

Fruto de la indagación a la estructura administrativa de las empresas de familia, se pudo establecer que el talento humano es el activo más valioso en este tipo de organizaciones; que las funciones se encuentran concentradas en el gerente y en uno o más miembros del grupo familiar y, además, que se requiere capacitar al personal de ventas, como estrategia para enfrentar los retos del mercado.

Sobre el manejo comercial, se logró identificar la falta de conocimiento técnico-científico en la formulación de planes mercadológicos, comunicativos y publicitarios, la improvisación en la aplicación de procesos comerciales y la carencia de planificación estratégica.

En consecuencia, se propuso el diseño de un modelo, para fortalecer las unidades de negocio, en uno de los componentes más débiles de estas organizaciones: el comercial, de tal manera que se establecieron niveles de entrada y de salida de los elementos, propios de la gestión.

El modelo se definió como un esquema conceptual (Figura 1), que permite representar, de manera formal, un sistema, en el que se establecen relaciones entre diferentes elementos como: actividades, secuencias, procesos, procedimientos, métodos, recursos, controles, los cuales, actúan como insumos o entradas, para la obtención de productos o salidas, con la finalidad de flexibilizar y dinamizar los procesos.

Bajo esta concepción, el punto de partida es el estudio y/o la investigación del mercado técnicamente delimitado, para definir su cobertura, alcance y penetración, lo que hará posible el análisis del consumidor y de la competencia, la obtención de información veraz, confiable y oportuna para la formulación y desarrollo de un plan de operaciones comerciales, en el cual, se identifiquen, se diseñen y se operacionalicen procesos y estrategias proyectadas en el tiempo e integradas a la cadena de valor.

Tabla 2. Indicadores de gestión comercial.

| Criterios de clasificación             | Descripción del criterio                                  | No. empresas que cumplen con el criterio | En valor porcentual |
|--|---|--|---------------------|
| Gestión comercial                      | Existencia Departamento Comercial                         | 3  | 10%                 |
|  | Capacidad profesional para la dirección comercial         | 5  | 16,6%               |
|  | Disposición al cambio de estrategias comerciales          | 28                                       | 93,3%               |
|  | Implementación de tecnología para la gestión comercial    | 8  | 26,6%               |
|  | Flexibilidad y dinámica                                   | 24                                       | 80%                 |
| Implementación estrategias comerciales | Investigación de mercados                                 | 3  | 10%                 |
|  | Planes de mercadeo  | 6  | 20%                 |
|  | Sistemas de distribución, logística dinámicos y flexibles | 9  | 30%                 |
|  | Sistema integral de ventas                                | 3  | 10%                 |
|  | Utilización de sistemas de Información (SIC)              | 3  | 10%                 |
|  | Publicidad y comunicación                                 | 9  | 30%                 |
|  | Promoción y relaciones públicas                           | 6  | 20%                 |
| Debilidades de la estructura comercial | Grado de control en las funciones del área                | 6  | 20%                 |
|  | Manejo confidencialidad de la información                 | 6  | 20%                 |
|  | Calidad de la información y comunicación                  | 9  | 30%                 |
|  | Formalidad de la estructura comercial                     | 3  | 10%                 |
|  | Manejo integral de estrategias                            | 3  | 10%                 |
|  | Preparación profesional                                   | 9  | 30%                 |
| Fortalezas de la estructura comercial  | Calidad de las relaciones en el área comercial            | 26                                       | 86,6%               |
|  | Aceptación de la autoridad                                | 28                                       | 86,6%               |
|  | Sentido de pertenencia con la gestión comercial           | 28                                       | 86,6%               |
|  | Control del dinero  | 20                                       | 66,6%               |
|  | Conocimiento del funcionamiento                           | 22                                       | 73,3%               |
|  | Autonomía para la toma de decisiones                      | 24                                       | 80%                 |

El sistema de distribución y de logística, se constituye en la base esencial de las operaciones comerciales. En su estructura contempla el manejo adecuado de un sistema de informacional comercial (SIC), el diseño de empaques, envases y embalajes, la toma y entrega de pedidos, la facturación y el control de calidad, el almacenamiento y el transporte.

El proceso integrado de venta es un factor primordial que se debe cualificar y cuantificar de manera permanente y precisa; es necesario analizar su línea de operación y desarrollo en lo psicológico, técnico, promocional, administrativo y, en general, se hace necesario efectuar pronósticos y proyección de ventas, para la toma de decisiones.

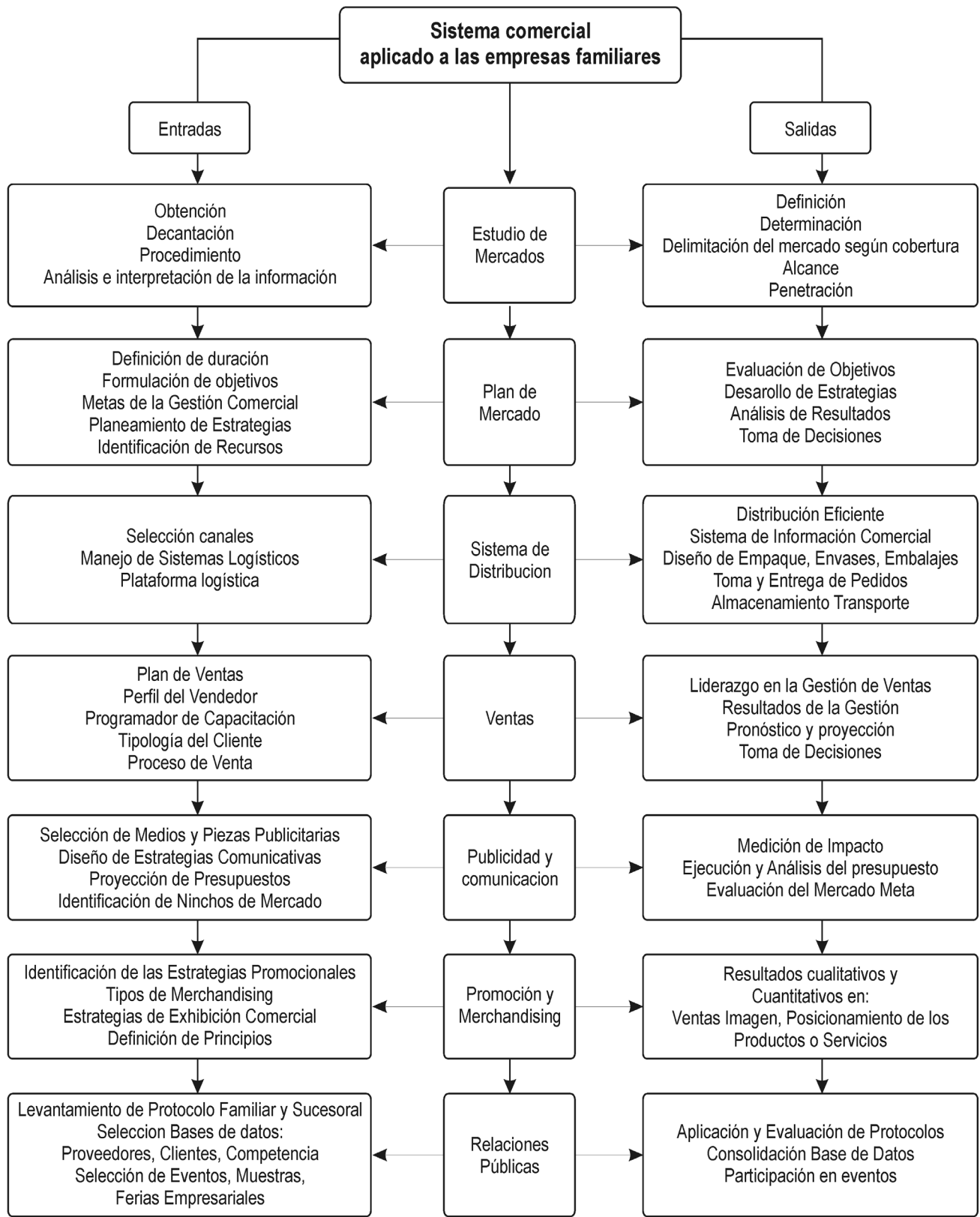


Figura 1. Diagrama de flujo del modelo de gestión comercial para empresas familiares.

Las estrategias de comunicación y de publicidad sustentan la imagen y el posicionamiento de la empresa, por tal razón, la selección de medios, los canales de difusión, la promoción y las relaciones públicas son el soporte estructural de la gestión comercial de las empresas, por tanto, estrategias como el merchandising, el empoderamiento, las alianzas estratégicas; entre otras, se deben constituir como sus herramientas esenciales.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. 2006. Censo empresas familiares Colombia. Ed. La Cámara. Bogotá. 56p.
2. DÁVILA DE GÚEVARA, L. 2003. Empresas y empresarios en la historia de Colombia: siglos XIX-XX. Ed. Norma. Bogotá. 1345p.
3. GAITÁN, A.; CASTRO, J. 2005. Sociedades de familia en Colombia. Ed. Superintendencia de Sociedades. Bogotá. 406p.
4. GALLO, M. 2004. Empresa familiar. Ed. Praxis. Barcelona. 278p.
5. GERSICK, K.; DAVIS, J.; ROSAS, R.; LANSBERG, I. 1997. Empresas familiares: generación a generación. Ed. McGraw Hill. México. 256p.
6. GINEBRA, J. 1997. Las empresas familiares: su dirección y su continuidad. Ed. Panorama. México. 242p.
7. GÓMEZ, G. 2005. ¿Son iguales todas las empresas familiares? Ed. Granica. Barcelona. 321p.
8. GÓMEZ, G. 2006. El éxito en la empresa familiar. Bogotá. Disponible desde Internet en: [www.dinero.com:8080/empresasfamiliares](http://www.dinero.com:8080/empresasfamiliares) (con acceso 20/08/09).
9. LEACH, P. 1999. La empresa familiar. Ed. Granica. Barcelona. 311p.
10. LONDOÑO DE LÓPEZ, L.; CALDERÓN, D.; LEÓN, L. 2008. Empresas familiares: caso departamento del Quindío. Sophia Rev. de Investigaciones U.G.C. 4(4):28-48.
11. LOPERA, J. 2006. La empresa familiar en Colombia: causas y desarrollos. Ed. Banco de la República. Bogotá. 85p.
12. MUCCI, O. 2008. Empresas Familiares: funcionamiento e identidad. Ed. EUIDEM. Mar del Plata. 169p.
13. PETRY, L; NASCIMENTO, A. 2009. Un estudio sobre el modelo de gestión y el proceso de sucesión en empresas familiares. Rev. Contab. Finanç. 20(49):109-125.
14. POZA, E. 2004: Empresas familiares. Ed. Thompson. México. 231p.
15. RONQUILLO, J. 2006. Administración Básica de la Empresa Familiar. Ed. Panorama. México. 129p.
16. SERNA, H. 2006. Empresas de familia. Gestión para su supervivencia. Temis. Bogotá. 400p.
17. TORRES de MARÍN, G.; ESCOBAR, M. 2003. La empresa familiar en Colombia. Ed. Siglo XX. Medellín. 380p.

Recibido: Octubre 27 de 2009

Aceptado: Abril 8 de 2010



# PERSPECTIVA DEL ECOTURISMO EN EL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE PARA CONFORMAR UNA RED LOCAL

## PERSPECTIVE OF ECOTOURISM IN THE CUNDIBOYACENSE HIGHLANDS TO FORM A LOCAL NETWORK

Jairo Alberto Vásquez Bernal<sup>1</sup>, Adriana Posada Arrubla<sup>2</sup>, Pedro Laytón Coy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mercadotecnista, Esp Gestión Social y Ambiental, Docente Investigador Facultad Ingeniería Comercial Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. E-mail: jvasquez@udca.edu.co. <sup>2</sup> Economista Agrícola, M.Sc. Planeación Urbana y Regional, Esp Gestión Social y Ambiental, decana Ingeniería Comercial U.D.C.A. E-mail: aposada@udca.edu.co. <sup>3</sup> Ingeniero Comercial. Especialista en Finanzas, Docente Investigador Ingeniería Comercial U.D.C.A. E-mail: playton@udca.edu.co. Dirección para correspondencia: calle 222 No 55 -37, Bogotá – Colombia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 147-156, 2010

### RESUMEN

El desarrollo del turismo a gran escala ha permitido la sub-clasificación del sector en categorías, tales como el ecoturismo. En Colombia tiene un importante potencial, especialmente, por la existencia de sus innumerables recursos naturales, los que representan atractivos ecoturísticos. Siendo el ecoturismo un concepto relativamente nuevo, con frecuencia las actividades desarrolladas no corresponden a lo normatizado o definido y, además, está asociado con otros términos, lo hizo necesario indagar y contrastar acerca de lo que realmente significa y la manera de implementarse en los municipios del altiplano Cundiboyacense, en Colombia. Este proceso incluyó la revisión bibliográfica, la identificación de la población, la selección de unidades objetivo del estudio, la comunidad, los turistas, los empresarios y las autoridades municipales y, la aplicación de un instrumento para la obtención de datos, del registro y posterior análisis de los mismos. Esto permitió, por una parte, establecer que los habitantes y los turistas no tienen claro lo que es ecoturismo, por lo cual, se llegó a una definición, cuyos aspectos fundamentales corresponden a lo que buscan los usuarios, las actividades que realizan, el propósito por la

preservación de los atractivos naturales y los beneficios para las comunidades y, por otra, para la implementación, se estructuró un esquema de redes, entendiendo que las empresas, los turistas, la comunidad, el atractivo natural, las autoridades municipales y ambientales, se interrelacionan por medio de las actividades ecoturísticas, creando un sistema complejo de servicios, posibilitando a las organizaciones, que componen la red, el crecimiento y el desarrollo sostenible.

Palabras clave: Actividad ecoturística, atractivos naturales, turistas, comercio, esquema de redes.

### SUMMARY

Tourism development has allowed large-scale sub-sector classification in categories such as ecotourism. This category has in Colombia a significant potential, especially, because of the existence of innumerable natural resources, representing eco-touristic attractions. Since ecotourism is a relatively new concept, its activities often do not correspond to normed or defined points of view, and is also associated with other terms; therefore it became necessary to investigate and contrast it means and how to be implemented in the municipalities of the

altiplano Cundiboyacense in Colombia. This process included a literature review, the identification of the population, the selection of target and study units, community, tourists, businessmen and city officials; besides the application of an instrument for data collection, registration and subsequent data analysis was carried out. This allowed, initially, to establish that residents and tourists do not have a clear concept about what is ecotourism, which had as result the proposal of a definition, based on what potential users look for, the activities they accomplish, the purpose of preserving the natural attractions and the benefits for the involved communities. On the other hand, to implement these aspects, a network scheme was constructed, taking into account, that businesses, tourists, community, natural beauty, municipal and environmental authorities are interrelated through ecotourism activities, developing a complex system of services, enabling the organizations that comprise the network, a sustainable growth and development.

Key words: Ecotourism activity, natural attractions, tourists, business, network.

## INTRODUCCIÓN

El ecoturismo es el subsector del turismo que representa más dinámica económica (Puig, 2006) y profundas repercusiones sociales y políticas, por la distribución del acceso y del control sobre los recursos naturales (Kent, 2003), lo cual, se debe al interés por la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad, el conocimiento de culturas y los beneficios que genera.

El ecoturismo es uno de esos conceptos que ha rondado por más de 20 años sin acuerdos generales; su uso, se inició en la década de los 80 y se emplean indistintamente, los términos turismo natural y ecoturismo. Según Pérez de las Heras (2003) es un concepto asociado con turismo rural, de campo, verde, de aventura, agroturismo, entre otros, especialmente, a nivel comercial, con el fin de atraer viajeros conscientes.

Por lo anterior, se indagaron varias fuentes y se encontraron diversas definiciones, desde ópticas diferentes, que no ayudan a la comprensión del término, sino que aportan aspectos puntuales que dificultan su entendimiento, como se establece en los siguientes significados.

Entre las primeras definiciones de ecoturismo, se destaca la elaborada por el arquitecto Ceballos (1991), indicando que es aquella modalidad turística ambientalmente responsable, que consiste en viajar y visitar áreas naturales, a través de un proceso que promueva la conservación, el bajo impacto ambiental y propicia un involucramiento activo y socioeconómico benéfico de las poblaciones locales. Institucionalmente, se destaca la de la Organización Mundial del Turismo OMT (2002), que definió ecoturismo como un fenómeno que engloba toda una serie de opciones, que varían desde un enfoque purista científico hasta la visita de recreo a una zona natural, como actividad de fin semana o como parte de un viaje más importante.

En el país existe la definición en la Ley 300 de 1996 (Colombia, 1996), la cual fue modificada por la Ley 1101 de 22 (Colombia, 2006); allí se establece que ecoturismo es el turismo especializado y dirigido, que se desarrolla en áreas con un atractivo natural especial y se enmarca dentro de los parámetros del desarrollo humano sostenible. Busca la recreación, el esparcimiento y la educación del visitante, a través de la observación, el estudio de los valores naturales y de los aspectos culturales relacionados.

En el siglo XXI, se destacan los conceptos de Lara de Vicente (2005), quien afirma que el ecoturismo se debe al interés por la conservación de ecosistemas, la biodiversidad, la flora, la fauna, el conocimiento de culturas; el de Rhodes (2005), quien establece que es una forma sustentable de turismo basado en recursos naturales y el del Anuario de Turismo y Sociedad (2005), que indica que es una forma de turismo que se desarrolla en áreas con un atractivo natural y se enmarca dentro de los parámetros de desarrollo humano sostenible. También es importante indicar que como actividad originada a partir de la existencia de un atractivo natural y con una dinámica propiciada por la participación del turista, genera un impacto global, no solo en el ambiente sino en la economía y en la sociedad (Cámara *et al.* 2005).

De todas las definiciones existentes, se resaltaron los elementos que ayudan a comprender mejor el ecoturismo y permitieron concretar el marco de trabajo en el contexto del altiplano Cundiboyacense, subregión colombiana de tierras altas y planas, localizadas en la cordillera oriental de los Andes colombianos, agrupada en tres regiones: la Sabana de Bogotá, los valles de Ubaté y Chiquinquirá y los de Duitama y Sogamoso.

Esta región está en la jurisdicción de dos Corporaciones Autónomas Regionales, la CAR y CORPOBOYACA (I .A. v. H., 2004). El altiplano Cundiboyacense es el área geográfica objeto de estudio, en la cual, se localizan los empresarios, los turistas y la comunidad, que requieren comprender el ecoturismo, con un enfoque que incluya lo político, lo ecológico y lo social, para poder establecer una red de turismo.

Es así, como la propuesta del concepto de ecoturismo se apoya en la lingüística, en la cual, se especifica que la definición es la explicación de la complejidad, a través del género que lo superordina y la diferencia específica que lo produce (Rivano, 2005), es decir, es la declaración de las propiedades entre un término y el significado de éste, que corresponden a tipos y técnicas existentes como: la lexicológica, entendida como la definición descriptiva, por que conduce al significado de las palabras, mediante la enumeración de sus características (Brenes & Porras, 2004); la intencional, por el listado de términos que proporcionan todas las propiedades requeridas del objeto, para caer dentro del campo de la palabra definida (Munárriz & Domínguez, 2006) y la estipulativa, como el tipo de definición en la que un término nuevo o bien ya preexistente se le da un nuevo significado (Haba, 2004).

Estas definiciones, entre otras, son las adecuadas para comprender el concepto de ecoturismo, en tanto que permiten la interpretación del término de una manera clara, con fines de aplicación de su significado en las redes ecoturísticas; sin embargo, no son los suficientemente específicas para los actores que participarían en la conformación de la red, por lo cual, se hace necesario redefinir ecoturismo, desde la perspectiva del estudio.

Según Fernández (2005), una red es un sistema coordinado de relaciones de intercambio establecido por empresas mientras configuran su entorno, a través de un sistema integrado, con interdependencias funcionales y una identidad característica; vinculada por medio de acuerdos de cooperación, donde el principio de la red es la autoorganización.

En ese sentido, se pronuncia Galán (2007), cuando define la estructura empresarial, como una red externa organizacional de relaciones entre unidades de trabajo autónomo o semi-autónomo, para entregar un producto o servicio a un cliente. Para abordar lo pertinente a redes de empresas ecoturísticas, Lara de Vicente (2005)

define red de turismo sostenible, como la cooperación e intercambio de información entre actores, con el fin de convertirse en un medio que motive y sensibilice a la creación y el establecimiento de procesos y de acciones dirigidas hacia un desarrollo sostenible del turismo.

Según lo anterior, La Red de ecoturismo se convierte en un mecanismo facilitador de procesos para el intercambio de información y vinculación de actores interesados en el desarrollo de la actividad turística del país (Fred, 2008), lo cual, busca promover espacios de concertación y de reflexión sobre el ecoturismo en el país, impulsando la cultura de la conservación, a través de investigación e intercambio de experiencias.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de indagación sobre diversos conceptos, como el de ecoturismo para generar uno propio, exige posiciones críticas, lo que requiere de un estudio analítico. De igual manera, la determinación de relaciones entre actividades, procesos y sistemas, en este caso el ecoturismo y la sostenibilidad, requiere de una investigación aplicada y cuantitativa, que incluye la clasificación y cruce de variables, el registro, la descripción, el análisis, la interpretación de resultados y, por último, el proceso, desarrollado por la identificación de la población (habitantes, turistas y empresarios) y por la determinación del tamaño de la muestra para cada unidad objeto de estudio, por la distribución muestral de las proporciones. En el caso de los turistas el proceso fue el siguiente:

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q}{E^2}$$

Se realizó una pre-encuesta de tres preguntas, de respuesta dicotómica, con la que se obtuvo que, P (probabilidad porcentual de éxito de un suceso) = 59%; Q (probabilidad porcentual de fracaso de un suceso) = 41%; Z (intervalo de confianza) = 0,83 y E (error) = 5%, con lo que se determinó que la cantidad de unidades de objeto de estudio para turistas fue de 97.

Para la comunidad, el tamaño de muestra se desarrolló con el siguiente procedimiento:

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{E^2(N-1) + Z^2 \times P \times Q}$$

Se aplicó la preencuesta de tres preguntas, de respuesta dicotómica, y de ella, se obtuvo que,  $P = 56,66\%$ ;  $Q = 43,33\%$ ;  $Z = 0,89$ ;  $N$  (tamaño de la población) = 88.828 y  $E$  (error) = 4,5%, dando como resultado que la cantidad de unidades de objeto de estudio para comunidad fue de 96. El tamaño de muestra para las empresas, se obtuvo con la fórmula anterior, cuyos datos son:  $P = 70\%$ ;  $Q = 30\%$ ;  $Z = 1,04$ ,  $N = 155$  y  $E$  (error) = 5%, dando como resultado que la población a estudiar fue de 91.

La selección de las provincias y de los municipios del altiplano Cundiboyacense, se realizó por varios criterios, como la distancia de Bogotá, el número de habitantes, la temperatura, el tipo de turismo, la cantidad de atractivos, los eventos y las actividades ecoturísticas, definiendo para el presente estudio a Alto Ricaurte y Tundaza, en Boyacá y Almeidas y Ubaté, en Cundinamarca.

El proceso de muestreo utilizado fue el probabilístico estratificado proporcional por cada tipo de unidad objeto de estudio: comunidad, empresas y turistas, como se muestra en la tabla 1.

La información primaria, se obtuvo por medio de observación directa Y entrevistas en un formato estructurado directo, donde se interrogaba a los informantes acerca del concepto de ecoturismo,

desarrollo sostenible, el lugar de procedencia, los atractivos de los municipios, los servicios ofrecidos, el tiempo de estadía de los turistas, la frecuencia, la inversión realizada, los impactos y la intención de conformar una red ecoturística. Esta información recopilada, se tamizó, se tabuló y se analizó, de tal forma que se integraron los aspectos, los elementos y las características en una propuesta de aplicación del ecoturismo que permitió reunir las propiedades generales, coherentes y diferenciadores del concepto de ecoturismo, desde la óptica de la comunidad del altiplano. Finalmente, se especifica que la investigación fue propositiva, por que planteó el mejoramiento de las condiciones del subsector, a través de la estructuración de una red, como un sistema complejo conformado por empresas, comunidad, turistas y Estado, interrelacionándose con los atractivos de los municipios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información recopilada y considerando que son los turistas, empresarios, comunidad y autoridades municipales de la región, los interesados en desarrollar ecoturismo y quienes necesitan comprender el concepto, se propone, de una parte, la estructuración del concepto basado en sus opiniones y, de otra, la propuesta para la conformación de la red.

Tabla 1. Proceso de muestreo realizado en el Altiplano Cundiboyacense.

| PROVINCIAS    | MUNICIPIOS  | COMUNIDAD | EMPRESAS | ECOTURISTAS |
|---------------|---|-----------|----------|-------------|
| Alto Ricaurte | Moniquirá<br>Arcabuco<br>Ráquira<br>Sutamarchán<br>Villa de Leyva | 15        | 36       | 49          |
| Tundama       | Paipa<br>Duitama<br>Sogamoso                                      | 39        | 22       | 13          |
| Ubaté         | Ubaté<br>Fúquene<br>Lenguazaque Simijica                          | 34        | 19       | 12          |
| Almeidas      | Villa Pinzón<br>Suesca  | 8         | 14       | 23          |
| TOTAL         |   | 96        | 91       | 97          |

De los resultados de la encuesta a los empresarios, el 80% define ecoturismo como el turismo relacionado con actividades realizadas en la naturaleza, el 13%, como turismo ecológico, que permite preservar el medio ambiente y un 7% admite no conocer el concepto. Así mismo, el 32,58% de la comunidad seleccionada de los municipios que conforman el antiplano Cundiboyacense indicó que no sabe el significado de ecoturismo, el resto expresa muchos términos asociados a la actividad.

Respecto a las respuestas proporcionadas por los turistas, se establece que una parte importante no tiene claro que es el ecoturismo, pero disfrutan de sus actividades, sus funciones, sus servicios y sus beneficios en los atractivos de los municipios; además, se ha vuelto una actividad interesante para muchas personas, pero aun es un subsector incipiente y potencial de la economía. Esta situación hizo necesario indagar en otras fuentes secundarias y, sobretodo, profundizar en el significado de ecoturismo desde otras disciplinas, como son la ecología y la economía: a nivel ecológico, se destaca la definición de la Unión Mundial para la Naturaleza, que indica que es aquella modalidad turística ambientalmente responsable, que consiste en viajar o visitar áreas naturales relativamente sin disturbar, con el fin de disfrutar, de apreciar y de estudiar los atractivos naturales de dichas áreas, así como cualquier manifestación cultural que pueda encontrarse ahí, a través de un proceso que promueve la conservación. Además, añade, que tiene bajo impacto ambiental y benéfico de las poblaciones locales (Centro de Estudios Agropecuarios, 2001).

Otra definición, con enfoque ecologista, es la del Instituto von Humboldt (2000), que sostiene que el ecoturismo es aquel turismo interesado en visitar espacios con valores naturales, entre los que se encuentran áreas protegidas y conocer la flora y la fauna de los destinos visitados.

Obviamente, desde el enfoque ecológico, hay una fuerte propensión por establecer que la actividad turística se desarrolla en o alrededor de los recursos naturales y que son éstos los elementos, nucleares del concepto. Por ello, se encuentran definiciones que utilizan otras denominaciones, como atractivos naturales, espacios con valores naturales, atractivo natural especial, valores naturales, aspectos culturales, naturaleza, áreas naturales relativamente poco alteradas o no contaminadas, atractivo natural especial, paisajístico y cultural, conservación del

medio ambiente, áreas naturales, áreas relativamente vírgenes, medio, tanto natural como cultural y áreas naturales relativamente sin disturbar.

Por su parte, desde el enfoque de la economía y disciplinas afines, algunas de estas definiciones son: el Ecoturismo es aquel sector especializado del turismo que se caracteriza por la marcada propensión a viajar, para estar en contacto con la naturaleza mediante el disfrute de ella, por simple observación o por su estudio sistemático (Díaz, 2001). Adicionalmente, Palafox (2005) incluye la educación, la recreación, la admiración y la interpretación del medio natural, a través de la relación simbiótica entre el turismo, el medio natural y los servicios, con enlaces a los recursos naturales y la gente que habita en el lugar.

Para la economía y disciplinas afines, se enfatiza en la actividad que se ejerce, tal es el caso de la recreación, el esparcimiento y la educación del visitante, el viaje individual y, especialmente, la relación que se genera entre el atractivo natural, la comunidad y los servicios que se derivan de esta dinámica. También, se destaca el hecho de concebir al ecoturismo como un subsector, fenómeno o actividad especializada.

En Colombia, existen declaraciones institucionales sobre ecoturismo, como la de la Ley 300/96 (Colombia, 1996; 2002): Es el turismo especializado y dirigido que se desarrolla en áreas con un atractivo natural especial y se enmarca dentro de los parámetros del desarrollo humano sostenible. Busca la recreación, el esparcimiento y la educación del visitante, a través de la observación, el estudio de los valores naturales y de los aspectos culturales relacionados con ellos.

La definición del Ministerio de Medio Ambiente (Colombia, 2006), en su política para el desarrollo de ecoturismo, lo define como una de las actividades en las que se hace más viable la implantación de modelos de desarrollo sostenible, ofreciendo al visitante la posibilidad de disfrutar de la oferta ambiental de un área geográfica, representada ya sea en su diversidad biológica o ecosistémica y que benefician, en primera instancia, a las comunidades que viven en las zonas de influencia de las áreas protegidas o de otra con atractivos para los visitantes.

En estas definiciones, se señalan viajes responsables, lo que significa que estos deben causar el menor impacto

al área visitada y para ello es necesario crear conciencia acerca de la conservación y la sostenibilidad de los atractivos naturales; adicionalmente, el ecoturismo solo se puede desarrollar en zonas con alto potencial natural, donde se presente la oportunidad para el visitante de admirar la flora y la fauna, generando un sentido de pertenencia. Estos aspectos, se evidencian en lo expresado por la comunidad, los turistas y los empresarios.

Aunque para la comunidad no es claro el concepto de ecoturismo, se conoce las actividades que se realizan y las relaciones que se presentan entre los diferentes actores que participan en la actividad ecoturística; identifican plenamente los recursos naturales existentes y los posibles impactos y los beneficios que se derivan de la misma, es decir, comprenden el proceso general. Falta que establezcan los objetivos, las estrategias y las acciones comerciales que potencialicen el ecoturismo en la región, como sub-sector económico generador de recursos para la sociedad y para el sostenimiento y preservación del atractivo natural.

Se destacan diferentes aspectos para la definición de ecoturismo y se fundamenta, especialmente, en los criterios expuestos por los turistas, los empresarios y la comunidad; así mismo, en los antecedentes establecidos en la revisión documental. Un primer aspecto es la percepción holística del concepto y cómo lo identifican, indicando que es turismo especializado, turismo de naturaleza, servicio especializado y modalidad de turismo; otro aspecto es el lugar donde se desarrolla la actividad y, específicamente, la denominan como un atractivo natural.

Otros aspectos que se tienen en cuenta en la definición propuesta de ecoturismo son los expuestos por los turistas y lo que buscan en la implementación de la actividad, como la recreación, el esparcimiento, la educación, la cultura, la investigación y el deporte. El fin específico es conservar la naturaleza siendo responsable con el ambiente, garantizar la sostenibilidad del atractivo y contribuir al mantenimiento del patrimonio cultural de la región.

Finalmente, coinciden los turistas en qué actividades están relacionadas con el ecoturismo, como naturalismo, senderismo, ciclo-montañismo, surfing, esquí acuático, turismo ecológico, agroturismo, de aventura y ambiental, y que del ofrecimiento de estos se beneficia la comunidad, por la generación de empleo, contribuyendo al impulso

económico por la participación a la economía y a la generación de ingresos.

Por lo anterior, se determinó que las diversas definiciones de ecoturismo puede originar errores conceptuales, las cuales, hacen que las estrategias socio-económicas municipales no sirvan como herramientas útiles para el fomento del ecoturismo y el desarrollo sostenible. Igualmente, es importante tener en cuenta, como lo señala Lagunas (2008), que administrar pensando en el ambiente requiere comprender cómo se vinculan el comercio, la competitividad y los recursos globales.

Con base en esta percepción y buscando que los actores que intervienen en una red de servicios ecoturísticos comprendan y se identifiquen con el concepto, se estable que el ecoturismo es una actividad del sector turístico en áreas, con atractivos naturales, en donde se realizan actividades específicas, que buscan la conservación y la interrelación de los turistas con los recursos naturales, el beneficio social y económico de la comunidad.

En Colombia, la actividad ecoturística se viene desarrollando lentamente y, en algunos lugares, de manera más organizada que en otros, pero aun es un subsector potencial de la economía y, en este contexto, tal potencial hace necesario su implementación en las regiones y subregiones colombianas, con el fin de poder darle salida a una posibilidad de progreso, propia de las condiciones naturales y culturales.

Otro resultado de este trabajo es la propuesta para aplicar el concepto de ecoturismo, a través de la estructuración de la red de servicios ecoturísticos, estableciendo algunos parámetros para su conformación, que garanticen, de una parte, la sostenibilidad de los atractivos y, de otra, la rentabilidad de los servicios ofrecidos por cada unidad empresarial.

Respecto a los resultados relacionados con el mercado del ecoturismo, la comunidad del altiplano Cundiboyacense consideró que los atractivos de los municipios son el paisaje y el clima (18,55%), los volcanes y nacimientos de agua (17,74%), los santuarios de flora y fauna (15,32 %); también indicaron que las actividades que realizan son turismo de naturaleza (28,43%), gastronómico (28,43%) y de aventura (15,69%). Finalmente, el 86,46% de la comunidad afirmó que participaría en programas de ecoturismo.

Los empresarios expresaron que los servicios más importantes ofrecidos en el altiplano son hospedaje (38,46%), comercio (25,27%) y alimentación (20,88%) y que los impactos positivos del ecoturismo son el aumento en las ventas (41,76%) y el desarrollo socio-económico, (29,67%); respecto a los impactos negativos, la inseguridad es la que sobresale con un 23,08%. Trasciende en el estudio que un 95,6% de los encuestados participaría en la conformación de una red de ecoturismo. Ellos tienen claro el funcionamiento del ecoturismo, como actividad económica y el ofrecimiento de servicios que se derivan del mismo, pero las costumbres y la cultura regional limitan la posibilidad de conformar una red. De acuerdo a lo que informaron están en capacidad de atender en promedio por día a 26 personas y el ingreso que genera cada uno de ellos es de \$ 33.516, lo cual, muestra que es un mercado potencialmente clave en la economía de los municipios.

Los turistas que frecuentan el altiplano Cundiboyacense, lo visitan por recreación y deporte (25,77%) y para realizar actividades ecoturísticas (23,71%). Los servicios más utilizados son alimentación (23,71%) y hospedaje (15,46%); también expresan que no tienen una época fija para visitar los municipios (58,76%) y que viajan en familia (52,58%).

Los resultados permiten inferir, primero, que los turistas desarrollan actividades propias del ecoturismo y que utilizan servicios complementarios, que son los elementos vitales con los atractivos naturales para la conformación de una red de ecoturismo y, segundo, que el flujo de visitantes se presenta en grupos y periódicamente durante el año, evidenciando un escenario óptimo para establecer convergencias y unificación conceptual y de servicios alrededor del ecoturismo.

Ahora bien, los turistas resaltan la posibilidad de disfrutar un mayor número de atractivos naturales, diversidad cultural y mejores precios en el altiplano (96,9%), si se compara con el eje cafetero, en donde prevalece la organización y la diversidad de servicios complementarios (12,5%).

Para el establecimiento de redes, Sandoval (2007) llevó a cabo una propuesta de integración de servicios a las empresas operadoras realizando acciones responsables que propendan por el desarrollo sostenible. Por su parte, Morrison, citado por Andreu & Parra (2005), propone un

sistema de relaciones formales entre los elementos del servicio, generando al destino y a las empresas turísticas una capacidad competitiva y sostenible.

Según Lovelock & Wirtz (2009), poner en contacto personas cuyos intereses son similares, permiten el desarrollo de redes con clientes, con distribuidores, con proveedores, con medios masivos, con consultores, con asociaciones de comercio y con agencias gubernamentales. Muñoz (2005) expresa que cuando una persona adquiere un servicio, no lo elige de acuerdo a la versión del todo, sino que lo descompone en características o partes y comprueba si coinciden con las que va buscando. La relación existente entre las actividades complementarias que ofrezcan la red y el aprovechamiento del atractivo no es vista en conjunto por el turista, sino que la percepción de organización y la posibilidad de ir empleando los diferentes servicios, de manera coordinada, es lo que genera un grado mayor de satisfacción.

Ahora, la comprensión del ecoturismo desde la perspectiva del servicio implica entenderlo como un sistema complejo conformado por las actividades ecoturísticas y los servicios complementarios, integrada por la comunidad, los turistas, el Estado, interrelacionándose con los atractivos de los municipios, en donde cada participante, mantiene su autonomía e independencia, para la toma de decisiones.

Los atractivos naturales son el elemento funcional de la red, sobre los cuales, se desarrolla el ecoturismo y son el fundamento que permite la interrelación; para la preservación del mismo, se deben tener en cuenta varios factores, como la capacidad de carga, el papel de turista y la clasificación de los atractivos del altiplano, como montaña, laguna, río, caverna, parque natural, parque temático, santuario de flora o fauna, entre otros.

La empresa es la base donde se estructura la red, que cuenta con las funciones de producción, de finanzas, de comercialización y de administración del talento humano y clasificada de acuerdo a sus actividades complementarios de alojamiento, de alimentación, de transporte, de operadores de atractivos y de comercio, especialmente, de suvenires.

El Estado como parte de la red, lo conforman las entidades gubernamentales como el Vice-ministerio de turismo y las secretarías departamentales y municipales

que promueven el turismo y los organismos de control, cuyo apoyo sería solicitado por las empresas conformantes de la red.

El turista es el principal factor de la red de ecoturismo; la forma en que interactúe con el medio y su percepción determina su experiencia: el turista puede ser espectador, actor o actor-observador.

Se identificó que los componentes necesarios para la conformación de una red en el altiplano Cundiboyacense son los turistas, las empresas, la comunidad y el Estado, que interactúan en torno a los atractivos naturales y que responden cada uno a necesidades específicas, de acuerdo a los servicios ofrecidos. La red, se sintetiza en la figura 1.

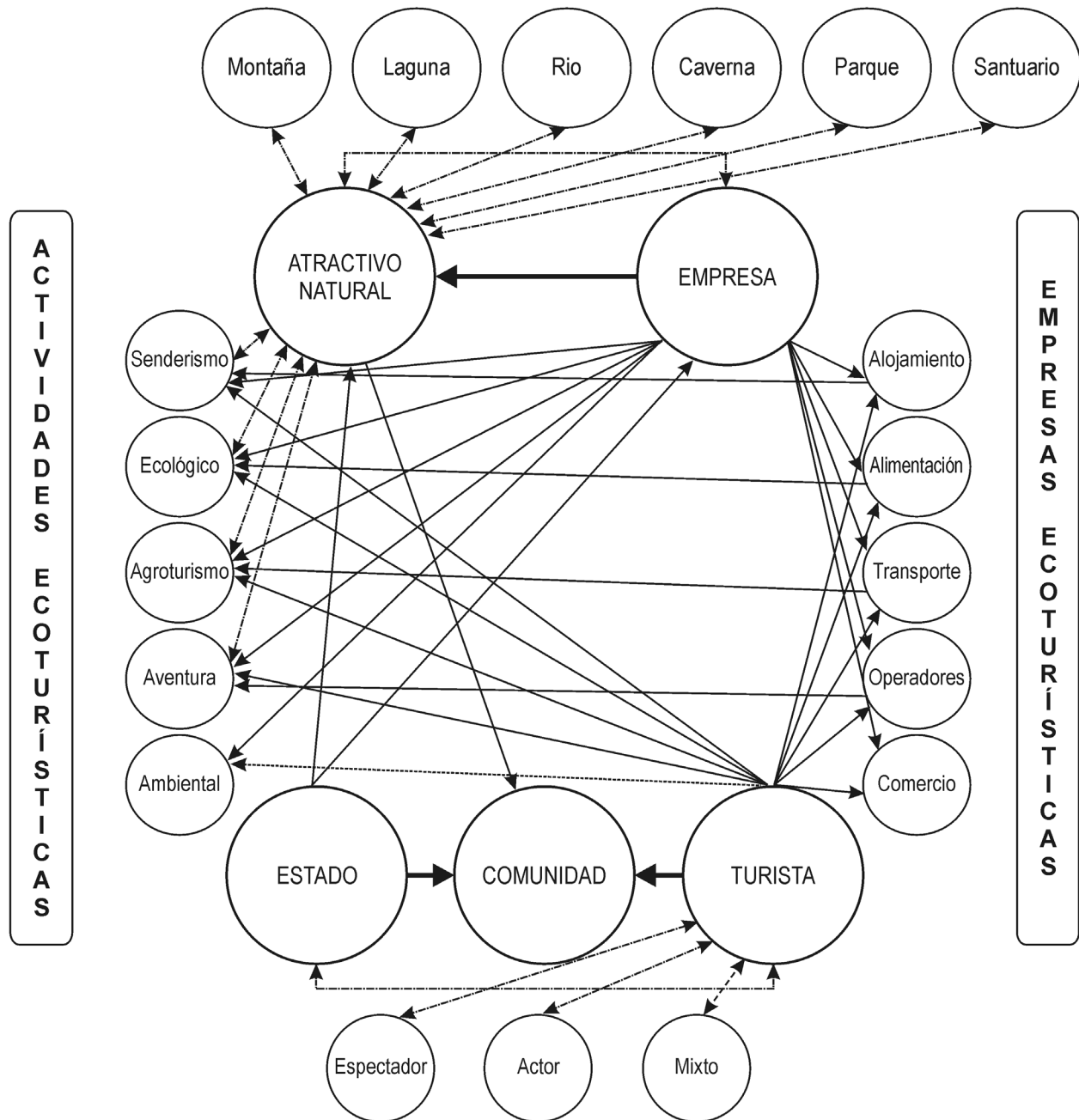


Figura 1. Propuesta de red para la actividad eco-turística.



Es por esto, que se hace necesario sensibilizar a la comunidad del altiplano para que participe en la conformación de la red e, igualmente, proponer una estrategia de comunicaciones que de a conocer la región como un todo, que resalte las fortalezas de la integración y las actividades que se pueden realizar en los atractivos naturales, promoviendo los servicios complementarios, ofrecidos por las empresas de la red

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANDREU, L.; PARRA, E. 2005. Gestión de Redes en Empresas y Destinos Turísticos. Turismo y Patrimonio Cultural (España). 5(3):399-402.
2. ANUARIO TURISMO Y SOCIEDAD, UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA. 2005. Islas de Providencia y Santa Catalina, Presente y Futuro. La Institución (Bogotá). 185p.
3. BRENES, E.; PORRAS, M. 2004. Teoría de la Educación. Ed. Universidad Estatal a Distancia UNED. (España). 505p.
4. CAMARA, R.; MARTINEZ, B.J.; DÍAZ DEL OLMO, F. 2005. Desarrollo sostenible y medio ambiente en República Dominicana. Universidad de Sevilla. (España). 280p.
5. CEBALLOS, H. 1991. Tourism, eco-tourism and protected areas. In: Kusler, J.A. ed. Eco-tourism and Resource Conservation (Switzerland). 120p.
6. CENTRO DE ESTUDIOS AGROPECUARIOS. SERIE DE AGRO NEGOCIOS. 2001. Turismo rural y ecoturismo. Grupo Editorial Iberoamericana (México). 111p.
7. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 1996. Ley 300 de julio 26 de 1996. Por la cual se expide la Ley General de Turismo y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 46.461 fecha publicación. 30 de julio de 2006. Bogotá, Colombia. Imprenta Nacional, 41p.
8. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL 2006. Ley 1101 de 22 de noviembre de 2006 Por la cual se modifica la Ley 300 de 1996 - Ley General de Turismo y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 46.461 fecha publicación. 23 de noviembre de 2006. Bogotá, Colombia. Imprenta Nacional, 11p.
9. DÍAZ, J. 2001. Propuesta para el desarrollo de un producto ecoturístico en el sector 1 "Los Pinos" el Parque Nacional Natural Sumapaz. (Bogotá). Universidad Externado de Colombia. 156p.
10. FRED, D. 2008. Conceptos de administración estratégica. Pearson Educación (México). 416p.
11. FERNÁNDEZ, E. 2005. Estrategia de innovación. Thomson Ed. (España). 615p.
12. GALÁN, I. 2007. Diseño Organizativo. Thomson Ed. (España). 375p.
13. HABA, P. 2004. Elementos Básicos de Axiología General. Ed. Universidad de Costa Rica. (Costa Rica). 402p.
14. INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT Y PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA Y TERRITORIO. 2004. Caracterización Biofísica del Altiplano Cundiboyacense (Bogotá). 456p.
15. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. 2000. Biocomercio: estrategias para el desarrollo sostenible en Colombia. Quiceno Mesa, M.P. (ed.). Instituto v. Humboldt (Bogotá). 271p.
16. KENT, M. 2003. Ecotourism, environmental preservation and conflicts over natural resources. Horizon Anthropological. 9(20):185-203.
17. LAGÚNAS, D. 2008. Antropología y turismo: claves culturales y disciplinares. Ed. Plaza Valdes (México) 260p.

18. LARA DE VICENTE, F. 2005. Turismo Sostenible, un enfoque Multidisciplinario. Universidad de Córdoba (España). 139p.
19. LOVELOCK, C.; WIRTZ, J. 2009. Marketing de servicios, personal, tecnología y estrategia. 6ª ed. Pearson Educación (México). 647p.
21. MUNÁRRIZ, L.; DOMÍNGUEZ, E. 2006. La conciencia humana Perspectiva cultural. Anthropos Editorial. (España). 303p.
22. MUÑOZ, M.A. 2005. Logística y turismo. Ed. Díaz de Santos. (España). 168p.
23. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE TURISMO OMT. 2002. OMT- PNÚMA - Documento conceptual - Año internacional del ecoturismo. Disponible desde Internet en: [www.cinu.org.mx/eventos/.../doc\\_conceptual.htm](http://www.cinu.org.mx/eventos/.../doc_conceptual.htm) (con acceso 15/02/10).
24. PÉREZ DE LAS HERAS, M. 2003. La Guía del Ecoturismo: o cómo conservar la naturaleza a través del turismo. Ed. Mundi-Prensa Libros. (España). 290p.
25. PALAFOX, A. 2005. Turismo: teoría y praxis. Plaza y Valdez Eds. (España). 338p.
26. PUIG, A. 2006. Los nuevos negocios turísticos. Valleta Ediciones, Argentina. 430p.
27. RHODES, A. R. 2005. Definiendo Ecoturismo. Disponible desde Internet en: [www.ecoturismolatino.com](http://www.ecoturismolatino.com) (con acceso 30/11/09).
28. RIVANO, J. 2005. Lógica Elemental. 2ª Ed. Ed. Universitaria el Saber y la Cultura. Chile. 221p.
29. SANDOVAL, S. 2007. Ecoturismo: operación técnica y gestión ambiental. Ed Eduforma (España), 237p.

Recibido: Noviembre 23 de 2009

Aceptado: Abril 11 de 2010

# NOCIONES DE REACCIÓN QUÍMICA EN EDUCACIÓN INICIAL MEDIANTE ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

## CHEMICAL REACTION NOTION IN INITIAL EDUCATION USING LABORATORY ACTIVITY

Wilmer López<sup>1</sup>, José Escalona<sup>2</sup>, Yelitza Guillén<sup>3</sup>, Yuly Lema<sup>4</sup>, Mayra Ponce<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Magister Química Analítica, profesor agregado Facultad de Humanidades y Educación, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, lgwilmer@yahoo.com; <sup>2</sup>Magister Química Orgánica, profesor agregado Facultad de Humanidades y Educación, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, cieduc@ula.ve; <sup>3</sup>Licenciado Educación Preescolar, docente Ministerio de Educación, yelitza\_82\_5@hotmail.com; <sup>4</sup>Licenciado Educación Preescolar, docente Ministerio de Educación, ylema@hotmail.com; <sup>5</sup>Licenciado Educación Preescolar, docente Ministerio de Educación, mayraponce\_21@yahoo.com.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (1): 157-162, 2010

### RESUMEN

Abordar la investigación sobre la influencia de los métodos activos en el aprendizaje, se justifica por su impacto en la transformación didáctica. La presente investigación tuvo como objetivo estudiar la formación de nociones químicas en niños de cinco a seis años, usando la experimentación. Metodológicamente, se empleó un paradigma crítico e interpretativo, por tanto, el estudio fue de estilo cualitativo y realizado con diez menores participantes. Los resultados muestran que la actitud del grupo de niños cambia durante la actividad empírica y son capaces de describir algunos fenómenos propios de las reacciones químicas. Finalmente, se concluyó que la experimentación facilita la construcción de la noción de reacción química y favorece el proceso de aprendizaje.

Palabras clave: Nociones, didáctica de la química, estrategias, reacción química, aprendizaje.

### SUMMARY

Focusing the research on the influence of the active methods in learning is justified due to their impact on teaching transformation. The objective of the present study was to assess the formation of chemical notions in children five and six years old, through the use

of experimentation. Methodologically, a critical and interpretative paradigm was applied; therefore, the research had a qualitative style and was conducted with ten participants. Results show that in the group, the children's attitudes change during the task-experimentation, and that they are capable of describing some phenomena which are characteristic of chemical reactions. Finally, it was concluded that experimentation not only facilitates the construction of the notion of chemical reaction but also enhances the learning process.

Key words: Notions, didactics of the chemistry, strategies, chemical reaction, learning.

### INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de las ciencias naturales supone un gran desafío, tanto para el docente como para el alumno, puesto que las distintas áreas que la conforman son impartidas de forma abstracta, parcelada y ajena a las situaciones que se viven cotidianamente, es decir, sin establecer relaciones con ciertos fenómenos propios del ambiente, en el cual, se desenvuelven los niños y niñas.

De esta manera, procesos como el aprendizaje significativo, por ejemplo, se ve coartado por este

proceder. Novak (1988) afirma que un aprendizaje significativo posibilita la adquisición de grandes cuerpos integrados de conocimiento y para ello, es necesario que el aprendiz transforme y estructure los datos; este proceso permite que la información exterior se interrelacione e interactúe con los esquemas de conocimientos previos, por tanto, el aprendizaje implica una reestructuración activa de las percepciones. A partir de lo planteado, la enseñanza de las ciencias, se debe concebir como un proceso de aprendizaje significativo, en el que se tomen en cuenta las ideas previas de los estudiantes (Harlen, 1999; Osborne & Freyberg, 1998; Trinidad & Garritz, 2003; Bello, 2004) y considerar que la discusión de conceptos tiene como característica formar nuevas relaciones de significados (Bruner, 2001). Estas relaciones organizadas son las que permiten ampliar la noción científica de los fenómenos cotidianos de las ciencias.

El presente estudio, da como resultado que niñas y niños forman ideas conceptuales referidas a la noción de reacción química, a partir de actividades experimentales, en las cuales, tienen la oportunidad para que manifiesten oralmente sus ideas respecto a cada experiencia y fenómenos observados, como manifestación del mundo micro (Gómez, 1996). Es necesario destacar que tomando en cuenta el nivel de abstracción de la muestra en estudio es que se ha planteado la construcción de la noción de reacción química, de manera que niñas y niños puedan ir progresivamente modificando, tanto su estructura cognitiva como los nuevos elementos que la transforman, mediante los procesos de acomodación y asimilación (Sosa, 2004). Sin embargo, es en la reflexión activa, aunada a una intensa operación mental entre los conocimientos previos y los nuevos que el individuo va construyendo sus conceptos científicos, realizando un esfuerzo intelectual para darle coherencia y sentido a sus nuevas ideas (Campanario & Otero, 2000), fundamental en el tan ansiado cambio conceptual (Garritz, 2001; Carretero, 1997; Pozo, 2007) y que se espera logren los estudiantes de posteriores niveles de escolaridad. Y este cambio conceptual, se espera sea alcanzado durante la práctica educativa, con una adecuada supervisión y actuación docente, en situaciones que implican la toma de decisiones didáctico-éticas, que tienen que ver con la forma de abordar los problemas para hacerlos más reales, cercanos y con un alto grado de responsabilidad del estudiante (Martínez & Fandiño, 2009). Por ello, pensamos que el tema de la transformación didáctica para un mejor aprendizaje pasa por el hecho de asumir

una forma diferente de pensar el proceso educativo, en otras palabras, un modelo diferente de los valores éticos en la didáctica.

Por esta razón, planteamos que abordar la formación de nociones científicas desde temprana edad debería conducir a la disminución de la tendencia de tener futuros estudiantes con una cantidad considerable de ideas erróneas sobre acontecimientos naturales y cotidianos. Esto último, nos habla claramente de un proceso ético-didáctico, donde la actividad científica no solamente se piensa para niñas y niños, sino que además se concibe para que sean ellos quienes la desarrollen. En este sentido, en el Currículo de Educación Inicial del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2005), se señala que en la educación preescolar la enseñanza de las ciencias está dirigida a que los niños y niñas identifiquen los elementos de su entorno, explicándose progresivamente los acontecimientos sociales y naturales, a través de la observación, la experimentación, la formulación y la comprobación de hipótesis, de manera que desplieguen capacidades efectivas y valorativas, como ser integrante del ambiente. Y este es un objetivo prioritario en la actividad y en el enfoque didáctico de los maestros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de este trabajo fue estudiar el proceso de aparición de las nociones de reacción química, mediante la experimentación con niñas y niños, de cinco a seis años de edad.

El carácter de la investigación fue de tipo exploratorio-descriptivo y con enfoque de naturaleza cualitativa. En este marco, los datos pueden combinar fracciones cuanti-cualitativas para hacer una descripción exhaustiva del contexto en estudio (Bisquera, 1989). Se hace notar que la naturaleza del problema constituye un condicionante de la metodología (Arnal *et al.* 1992). Se considera al proceso de investigación descriptiva como un sistema interpretativo donde diversos elementos actitudinales, conceptuales y procesuales determinan un contexto histórico (Best, 1981). Así pues, queda en evidencia que se optó por este enfoque, dada la posibilidad que ofrece para presentar sistematizaciones diversas sobre la situación en estudio (Feliz & Ricoy, 2003). Además, la investigación cualitativa es un proceso que involucra varios elementos, como exploración de

aspectos sociales, explicación de interrogantes que surgen en la situación de estudio y aplicación de los resultados para mejorar los conocimientos sobre nuestro problema (Huber, 2003). De este modo, el método queda plenamente referenciado hacia el contexto de las respuestas suministradas por los participantes y sus posiciones frente a la temática estudiada.

El diseño de campo, se basó en la experimentación y en el patrón del antes, durante y después del desarrollo de las actividades experimentales. Bajo esta concepción, la investigación es propicia para reconocer cómo se adelanta el proceso de aprendizaje de las nociones químicas y de qué forma la muestra se manifiesta, puesto que existe la posibilidad de mostrar el por qué de algunos eventos cotidianos, a través de experiencias, en las que los procesos, tales como la observación, la formulación de hipótesis, entre otros, pueden incentivar a niñas y niños al estudio y disfrute por la química.

Para realizar este estudio, se seleccionó una muestra de diez menores, en edades comprendidas entre cinco y seis años, del nivel de educación inicial, pertenecientes a una población de cien estudiantes de una institución pública del Estado Mérida - Venezuela. A fin de sistematizar la información, se realizaron seis actividades experimentales (Vancleave, 2001), una por día; niñas y niños fueron codificados con números del uno al diez; así mismo, se grabaron las opiniones que ellos aportaron antes, durante y finalizada cada actividad experimental, para su posterior análisis y discusión.

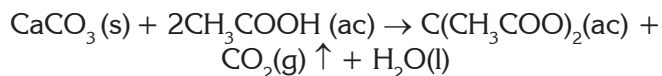
## DESCRIPCIÓN DE LAS EXPERIENCIAS

Experiencia 1. La bebida espumosa: Para realizar esta actividad, se llenó un frasco pequeño a la mitad con bebida carbonatada, se le agregó una cucharadita de sal, formando burbujas y aparentando espuma sobre la superficie de la bebida; cada burbuja se llena de dióxido de carbono, dado que la sal (sólida) desplazó al gas dióxido de carbono; a este proceso se le llama efervescencia. En este caso, cabe recordar que existe una reacción química de descomposición donde:



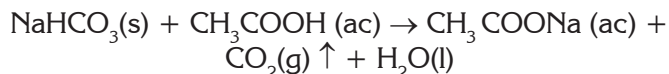
En esta reacción, se puede notar el desprendimiento de dióxido de carbono, y, por tanto, es posible su posterior desplazamiento por el sólido.

Experiencia 2. El huevo desnudo: Se colocó un huevo crudo en el frasco de vidrio; luego, se agregó vinagre hasta cubrirlo totalmente y se observó durante las 24 horas siguientes. Inmediatamente, comenzó a formarse burbujas sobre la superficie del cascaron y su número aumentó al pasar el tiempo. Después de un día, el cascarón desapareció y partes de él quedaron flotando en la superficie del vinagre, mientras que el huevo permaneció intacto, porque está recubierto con una membrana transparente. Lo observado, se debe a que existe una reacción química entre el ácido acético (vinagre) y el carbonato de calcio (compuesto de la concha del huevo) con desprendimiento de dióxido de carbono, representado de la manera siguiente:



Experiencia 3. El color desaparece: Primeramente, se llenó un frasco a la mitad con agua y se agregaron dos gotas de colorante rojo para alimentos. Luego, se adicionó una gota de blanqueador a la mezcla anterior y, por último, se añadió una o dos gotas del mismo tinte. El agua de color rojo se decoloró a medida que el blanqueador traspasó. Posteriormente, se le volvió a agregar una gota del colorante produciéndose un efecto interesante, donde éste desapareció, es decir, que la estructura química del colorante se ve afectada por el poder oxidante del blanqueador, a través de una reacción química.

Experiencia 4. El corcho saltará: Se colocó vinagre en una botella, agregándole bicarbonato y cubriéndolo con un tapón de corcho, el cual, no se ajustó demasiado. Al producirse dióxido de carbono dentro de la botella, la presión se incrementó y el corcho saltó con bastante fuerza. Cabe destacar que la producción de dióxido de carbono se explica cuando reacciona el bicarbonato con el vinagre de la manera siguiente:



Experiencia 5. La escritura mágica: Esta actividad consistió en recortar un pedazo de papel donde se escribió un mensaje, empleando un pincel mojado con jugo de limón. Luego, se dejó secar y, finalmente, se sumergió en una solución de tinte de iodo. Como resultado, se formó color azul (almidón-iodo) por fuera

de la escritura y ésta permaneció incolora (ácido del limón-iodo). En esta reacción, la celulosa del papel se une con el yodo formando un complejo de color azul y en la zona ácida, no.

**Experiencia 6. Volcán en erupción:** Para desarrollar la última actividad, se mezcló polvo para hornear y vinagre teñido con colorante (rojo) para alimentos en una botella de bebida, que se cubrió con tierra húmeda en forma de volcán. Se observó efervescencia química por el dióxido de carbono (reacción química de la experiencia 4).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Experiencia 1.** En este primer experimento, los diez menores, al comenzar la actividad, expresaron que al abrir la bebida gaseosa se produjo un sonido, que denominaron “gas”. Esta expresión demuestra que han estado en contacto con ciertas experiencias en su vida cotidiana, para llegar hacer tal afirmación. También se observó que la mayoría de respuestas se limitaron a describir la situación sin ir más allá de lo que sucedía. En este sentido, Harlen (1999) señala lo siguiente: “los niños de cinco a siete años se centran en un sólo aspecto del objeto o situación y su idea de causa efecto se funda en la presencia de algunas características u objetos sin extenderse a un mecanismo”.

En esta actividad los niños y niñas no fueron más allá de lo observado concretamente durante la experiencia; también se evidenció la tendencia de la muestra en hacer asociaciones que iban de lo particular a lo particular. Por ejemplo, tres menores manifestaron, al observar la bebida gaseosa, que las “burbujas, suben y bajan, y hay chispitas que salen por arriba”, esto es lo que Piaget denominó “Procesos Transductivos” (Shaffer, 2000; Wiener & Dulcan, 2006). Ocho de los diez niños y niñas expresaban que “al refresco le salía espuma, porque se le colocó sal” y, en cierto modo, esto era lo que sucedía a simple vista; no obstante, hasta ese momento, los estudiantes no contaban con los elementos necesarios para dar una explicación con mayor profundidad al fenómeno observado.

**Experiencia 2.** Durante esta experiencia, diez niñas y niños realizaron comparaciones coherentes entre dos situaciones, el antes y después del ensayo e hicieron uso del término flotación, además, la mayoría de las afirmaciones (ocho niños y niñas), se basaron en que

había ocurrido un cambio, hecho que se demuestra en respuestas como: “está grande y la concha se le salió por el vinagre”, “se ve grande y está desnudo”, “la concha se va disolviendo por el vinagre y parece una pelota grande de goma”, entre otras. De esta manera, al introducir la noción de cambio en las respuestas, se produce un importante paso hacia lo que significa reacción química.

**Experiencia 3.** Ante este experimento, diez menores respondieron que la desaparición del color se debía a la colocación de un blanqueador a la solución. Por ejemplo: “está cambiando de color como la ropa”, “cambió de color porque le echamos mucho cloro”; en estas afirmaciones, se pone en evidencia la idea de causa y efecto, que es peculiar a esta edad, que se funda en la presencia de alguna característica u objeto sin extenderse a un mecanismo (Harlen, 1999), es decir, las respuestas estuvieron acordes a la edad y desarrollo cognitivo.

Además, respuestas como “el blanqueador se comió el color”, se encuentran dotadas de uno de los elementos propios del pensamiento infantil, como lo es el “animismo”, que consiste en la tendencia de atribuir a los objetos y a los hechos físicos las características de las entidades biológico-psicológica, es decir, a dotarlos de vida, de consciencia, de voluntad, entre otros (CINA – UPEL, 1993). Pero aún cuando sus afirmaciones son animistas en el fondo tienen presente que el cloro debe contener una sustancia que actúa sobre el color haciendo que éste desaparezca.

**Experiencia 4.** En el desarrollo de esta experiencia se les preguntó a los niños y niñas ¿qué sucederá si se une el vinagre y el bicarbonato? En sus respuestas, cuatro predijeron que “el corcho se dispararía”; tres dijeron que “estallaría” al unirse estos dos elementos; un niño señaló que “estallaría porque tiene gases” y dos de ellos señalaron que el corcho “volaría”, es decir, tienen la noción sobre la producción de gases, lo que hace que el corcho se dispare con fuerza.

En esta experiencia hay una reacción química donde se produce  $\text{CO}_2$ , que comienza a ser descrita por niñas y niños, al expresar lo que sucedía: uno de ellos manifestó que era producto de los “gases”; cinco niños y niñas “por las burbujas que habían en la botella” y cuatro menores “porque se unió el bicarbonato con el vinagre

y al agitarlo se disparó el corcho”. Todo ello evidencia un incremento sustancial de predicción al ir agregando elementos significativos, que van complementando la construcción de su estructura conceptual, sobre la noción de reacción química.

**Experiencia 5.** Se puede inferir que niñas y niños atribuían a la zona impregnada con limón una característica de transparencia, afirmando, ocho de ellos, que “no se escribió nada” y dos niños y niñas “escribimos pero no se ve nada, porque el color del jugo es claro”. Luego, se les preguntó qué sucedería si la hoja se sumerge en agua con iodo; la mayoría de ellos afirmaron que se mancharía o se pintaría. Así mismo, se indagó también por qué sumergida la hoja en iodo se pudo observar las grafías que se hicieron con el jugo de limón y las respuestas estuvieron basadas en el uso de limón y colorante, tales como: “se ven las letras”, “se ven puras manchas”, “se ve manchado”, “las letras no se pintaron porque tenían jugo de limón”, es decir, asignándoles características específicas a éste. Esto indica que los menores saben que el espacio cubierto por limón no se colorea con el iodo aunque no puedan dar una explicación más compleja, debido al nivel de su desarrollo cognitivo.

**Experiencia 6.** En esta actividad experimental antes de mezclarse los ingredientes, niños y niñas hicieron algunas afirmaciones, tales como: “saldrá espuma”, “estallará”, “al unirse el vinagre con el polvo saldrá espuma”, “pasará lo mismo que con el corcho saltarán”, entre otras. Al igual que la experiencia cuatro, la reacción del bicarbonato con el vinagre produce dióxido de carbono, el cual, es un gas que se desprende produciendo el burbujeo o espuma, como fue descrito por los menores. En consecuencia, se puede decir que la muestra hizo una predicción en cuanto a que se iba a producir un cambio en los materiales, todo ello con base a los elementos conceptuales internalizados, a partir de las experiencias previas.

Basado en el análisis de las experiencias anteriores, se puede afirmar que en la medida que se ejecutaron las actividades experimentales niñas y niños fueron incorporando, progresivamente, nuevos elementos lingüísticos que suponen la aparición de noción de reacción química; tal es el caso del experimento tres y cuatro, en donde los niños manifestaron que la unión del bicarbonato y el vinagre produce cambios químicos.

Otra tendencia importante que se evidenció fue que niñas y niños, haciendo uso de sus propios elementos de lenguaje y en el marco de su nivel de abstracción científica, trataron de dar explicación a algunos hechos que observaron en las actividades desarrolladas, como es el caso del experimento número dos, en el que un niño manifestó que “la concha se le va saliendo porque se le echó vinagre”. En el experimento seis algunos participantes expresaron “porque se unieron todos los ingredientes”, lo que evidencia que la muestra procuró una explicación a los fenómenos observados, de acuerdo a su capacidad cognitiva y nivel de abstracción.

También se advirtió que niñas y niños realizaron comparaciones en la medida que transcurría y se desarrollaba una nueva experiencia demostrativa, como fue el caso de la práctica seis, en la que dos niños manifestaron: “Lo mismo pasó con el corcho saltarán cuando le echamos el bicarbonato al vinagre”, lo cual, hace evidente que realizan una generalización sobre los fenómenos, algo muy típico del razonamiento inductivo en las ciencias.

Igualmente, se descubrió que la capacidad de predicción se incrementó a partir de los experimentos realizados, destacando que la muestra distinguió las propiedades de los materiales antes y después de mezclados, cuando pronosticaron la posibilidad de producción de burbujas o de una explosión (Experiencia 4), es decir, consideraron un cambio en los materiales, característica intrínseca en una reacción química.

Así, queda en evidencia que a partir de la puesta en práctica de actividades experimentales se ayuda considerablemente a abordar, de una manera sencilla y divertida, temas relacionados con química, lo cual es importante para formar una estructura conceptual básica, que se irá transformando y enriqueciendo en la medida que niñas y niños van incorporando nuevos elementos en sus siguientes años escolares.

**Conflicto de intereses:** Hacemos constar que el manuscrito fue revisado y preparado por los autores quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARNAL, J.; DEL RINCÓN, D.; LATORRE, A. 1992. Investigación Educativa. España: Editorial Labor. 219p.
2. BELLO, S. 2004. Ideas Previas y Cambio Conceptual. Educación Química. 15(3):210-217.
3. BEST, J. 1981. Cómo investigar en educación. España: Editorial Morata. 178p.
4. BISQUERA, R. 1989. Métodos de una investigación educativa. España: Ed. CEAC. 312p.
5. BRUNER, J. 2001. El Proceso Mental en el Aprendizaje. España: Editorial Narcea, S.A. 425p.
6. CAMPANARIO, J.; OTERO J. 2000. Más allá de las Ideas Previas como Dificultades de Aprendizaje; Las pautas del Pensamiento, las Concepciones Epistemológicas y las Estrategias Metacognitivas. Enseñanza de las Ciencias. 18(2):155-169.
7. CARRETERO, M. 1997. Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales. 2<sup>da</sup> Edición. Argentina: Editorial, Aique, 387p.
8. FELIZ, T.; RICOY, M. 2003. El descubrimiento de la dimensión cualitativa de la investigación a través de un foro educativo. En: Medina, A.; Castillo, S. (Coord). Metodología para la realización de proyectos de investigación y tesis doctorales. España: Ed. Universitas, p.131-165.
9. GARRITZ, A. 2001. Veinte años de la teoría del cambio conceptual. Educación Química. 12(3):123-126.
10. GÓMEZ, M. 1996. Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química. Alambique. 3(7):37-44.
11. HARLEN, W. 1999. Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias. España, Editorial Morata S.L. 415p.
12. HÜBER, G. 2003. Introducción al análisis de datos cualitativos. En: Medina, A.; Castillo, S. (Coord). Metodología para la realización de proyectos de investigación y tesis doctorales. España: Editorial Universitas, p.91-129.
13. MARTÍNEZ, L.; FANDIÑO, V. 2009. Implicaciones éticas que enfrenta el docente al supervisar la práctica clínica de estudiantes de enfermería Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 12(1):33-41.
14. MINISTERIO DE EDUCACIÓN CULTURA Y DEPORTE. 2005. Currículo de Educación Inicial. Venezuela: Imprenta Nacional. 523p.
15. NOVAK, J. 1988. Constructivismo Humano: un consenso emergente. Enseñanza de la Ciencias. 6(3): 213-223.
16. OSBORNE, R.; FREYBERG, P. 1998. El Aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la "Ideas Previas" de los Alumnos. 3<sup>era</sup> Edición. España: Ediciones NARCEA, S.A. 301p.
17. POZO, J.I. 2007. Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia. Volumen CLII colección Aprendizaje. Madrid: A. Machado Libros, S.A. 311p.
18. SHAFFER, D. 2000. Psicología del desarrollo: infancia y adolescencia. México: Internacional Thomson Editores. 641p.
19. SOSA, P. 2004. Química Aritmética. Un primer paso hacia el cambio conceptual. Educación Química. 15(3):248-255.
20. TRINIDAD, R.; GARRITZ, A. 2003. Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de Secundaria sobre la estructura de la materia. Educación Química 14(2):72-85.
21. UNA – UPEL. 1993. Psicología del Desarrollo. Volumen 1. El Desarrollo Cognoscitivo del Niño en Edad Preescolar. Venezuela: Editorial UNA. 192p.
22. VANCLEAVE, J. 2001. Química para Niños y Jóvenes. México: Ed. Limusa-Noriega, 201p.
23. WIENER, J.; DULCAN, M. 2006. Tratado de Psiquiatría de la Infancia y la Adolescencia. España: Ed. Masson. 397p.

Recibido: Octubre 12 de 2009

Aceptado: Mayo 4 de 2010